

Aus dem Institut für Tierernährung und Stoffwechselfysiologie  
der Christian-Albrechts-Universität Kiel

---

**Kinetik des ruminalen *in situ*-Nährstoffabbaus von  
Grünlandaufwüchsen des Alpenraumes unterschiedlicher  
Vegetationsstadien sowie von Maissilagen und Heu - ein Beitrag  
zur Weiterentwicklung der Rationsgestaltung für Milchkühe**

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät  
der Christian-Albrechts-Universität Kiel

---

vorgelegt von  
**Susanne Kirchhof**  
aus Flensburg

Kiel 2007

Gedruckt mit Genehmigung der Agrarwissenschaftlichen Fakultät  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Dekan:	Prof. Dr. J. Krieter
Erster Berichterstatter:	Prof. Dr. K.-H. Südekum
Zweiter Berichterstatter:	Univ.-Doz. Dr. L. Gruber
Tag der mündlichen Prüfung:	08.02.2007

Die Anfertigung der Dissertation wurde dankenswerterweise von der H. Wilhelm Schaumann  
Stiftung mit einem Stipendium unterstützt.

meiner Familie

Susanne Kirchhof

## **Research into the kinetics of ruminal *in situ* nutrient degradation of grassland forage from Alpine regions harvested at different stages of maturity and of maize silage and hay - a contribution towards improvements of ration formulation for dairy cows**

The nutritive value of forages is partly determined by their chemical composition, which may vary considerably and is influenced by different genetic and environmental factors like climatic conditions and cultivation methods. Furthermore Alpine meadow and pasture vegetation shows a wide diversity of species and special vegetation characteristics. The aim of this study was to investigate the maturity-related changes in ruminal degradation and feeding value of Alpine region forages of three growths in seven different stages of maturity. Rumen degradation characteristics were determined with synthetic fibre (polyester) bag incubations for 0, 2, 4, 6, 8, 16, 24, 48, 72, 336 h. In addition, samples of hay ( $n = 7$ ) and maize silage ( $n = 7$ ) and two different kinds of concentrates (rapidly and slowly degradable carbohydrates) were incubated. Disappearance of dry matter (DM), organic matter (OM), crude protein (CP), neutral detergent fibre (NDF), acid detergent fibre (ADF) and hemicelluloses (HEM) were calculated from residues of bags after incubation and corrected for small particle losses. The CP losses were corrected for residual microbial contamination using the ND-insoluble N (NDIN) method. Ruminant degradation parameters were fitted to an exponential model and the following parameters were estimated:  $a$  = soluble fraction,  $b$  = insoluble, but ruminally degradable fraction,  $c$  = degradation rate of fraction  $b$ ,  $d$  = potentially degradable fraction ( $a + b$ ) and lag phase, which describes the delay between the beginning of rumen incubation and microbial degradation. The effective degradation was estimated based on these parameters and assuming passage rates of 2, 5 and 8 %  $h^{-1}$ . Stage of maturity significantly affected the extent and rate of ruminal degradation of DM, OM, CP, NDF, ADF and HEM. Changes in ruminal degradability characteristics of forages with advancing maturity as a result of increasing lignification of cell walls were explained by increasing stem and decreasing leaf fraction of plants. Influence of growth number on degradation characteristics was ascribed to climatic change during vegetation period, which has also a remarkable impact on cell wall compounds. Interactions between stage of vegetation and growth number were also observed. No significant relationships between chemical cell wall composition and ruminal degradation characteristics could be detected.

The CP fractions according to the Cornell Net Carbohydrate and Protein System were analysed with the goal of a more detailed characterization of the influence of maturation and growth number on ruminal CP degradation kinetics. An attempt was made to estimate *in situ* ruminally undegraded CP (RUP) values assuming passage rates of 2, 5 and 8 %  $h^{-1}$  on the basis of chemical composition of the grassland forages and of hay and maize silages. The multiple linear regression equations included CP fractions and NDF and ADF contents and explained about 51, 54 and 56 % of the variation of *in situ* UDP values.

The ratio of amounts of N to OM fermented in the rumen per hour and additionally an index of synchrony of ruminal CP to carbohydrate degradation were calculated. Mature forages showed a higher degree of synchrony than younger material. The CP content of forage was not related to the degree of synchrony in three time intervals (0 - 2, 2 - 10 and 10 - 16 h after start of incubation). Balanced supply of CP and energy for microbial synthesis in the rumen was calculated for assumed rations with varying amount of concentrate (25 or 50 % of diet DM) and different degradation rates (rapidly vs. slowly fermentable). Amount of concentrate in the ration was found as the main factor for the degree of synchrony. Diets with 50 % rapidly degradable concentrate showed the highest index of synchrony. However, 10 - 16 h after incubation started, the highest degree of synchrony was observed for the rations with slowly degradable concentrate. In conclusion, an exclusive classification of ruminal synchrony of rations by synchrony index is inadvisable. The results of this study indicate that stage of maturity as well as growth number have to be taken into account for accurate estimation of the feeding value of forage from Alpine regions and of rations based on these forage type.

## Inhaltsverzeichnis

Kapitel	Seite
Abkürzungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht	3
2.1 Der Pansen und seine Mikroflora	3
2.2 Pansenmetabolismus	4
2.2.1 Strukturkohlenhydrate	4
2.2.2 Stabilisierung des Pansenstoffwechsels durch Strukturkohlenhydrate	5
2.2.3 Rohprotein	6
2.3 Struktur und Bestandteile der pflanzlichen Zellwand	9
2.4 Ruminale Abbaubarkeit der Zellwandbestandteile	12
2.5 Einfluss des Vegetationsstadiums auf Zusammensetzung und physiologische Eigenschaften von Wiesenfutter	14
2.6 Einfluss der Pflanzenart auf Zusammensetzung und physiologische Eigenschaften von Wiesenfutter	15
2.7 Einfluss von Klima und Nutzungsintensität auf Zusammensetzung und physiologische Eigenschaften von Wiesenfutter	16
2.8.1 Synchronismus	17
2.8.2 Quantifizierung des Synchronismus	17
2.8.3 Physiologische Aspekte einer Synchronisation der Freisetzung von Energie- und N-liefernden Substanzen im Pansender Rationsgestaltung	18
2.8.4 Synchronismus und Rationsgestaltung - ökologische Aspekte	20
3 Material und Methoden	22
3.1.1 Der Vegetationsversuch des Instituts für Viehwirtschaft und Ernährungsphysiologie der landwirtschaftlichen Nutztiere der HBLFA Raumberg-Gumpenstein	22
3.2 Eigene Untersuchungen	25
3.2.1 <i>In situ</i> -Methode	25
3.2.2 Analysen und Kalkulationen	28
3.2.2.1 Analysen	28
3.2.2.2 Kalkulationen	30

4	Ergebnisse	37
4.1	Inhaltstoffe der untersuchten Futtermittel	37
4.2	<i>In situ</i> Abbauparameter der untersuchten Futtermittel	42
4.2.1	Abbauparameter der Grünlandaufwüchse	42
4.2.2	Abbauparameter der Rationsergänzungskomponenten	56
4.3	Multiple lineare Regression zur Kalkulation des UDP-Gehaltes von Grobfuttermitteln	58
4.4	Untersuchungen zum synchronen Abbau von N und OM	67
4.4.1	Synchronismus der Einzelfuttermittel	67
4.4.2	Synchronismus der Rationen	69
5	Diskussion	75
5.1	<i>In situ</i> -Methode	75
5.2	Chemische Zusammensetzung der Grünlandaufwüchse	79
5.2.1	Einfluss des Vegetationsstadiums auf die chemische Zusammensetzung der Grünlandaufwüchse	80
5.2.2	Rohproteinfraktionen nach dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System	82
5.3	Einfluss des Vegetationsstadiums auf den ruminalen Abbau der Grünlandaufwüchse	84
5.3.1	Ruminaler Abbau von Trockenmasse und organischer Masse	84
5.3.2	Ruminaler Abbau der Zellwandfraktionen	86
5.3.3	Beziehungen zwischen den Inhaltsstoffen und dem ruminalen Abbau der energieliefernden Stoffgruppen	89
5.3.4	Ruminaler Abbau des Rohproteins	91
5.3.5	Beziehungen zwischen dem Rohproteingehalt, den Rohproteinfraktionen und den <i>in situ</i> -Abbauparametern	94
5.4	Bewertung des ruminalen Rohproteinabbaus aus Grobfuttermitteln	95
5.4.1	Schätzung des <i>in situ</i> UDP-Anteils am Futter-Rohprotein aus den Rohproteinfraktionen	95
5.4.2	Bewertung der <i>in situ</i> UDP-Gehalte	98
5.5	Untersuchungen zum Synchronismus	101
5.5.1	Einfluss des Vegetationsstadiums auf den Synchronismus der Grünlandaufwüchse	101
5.5.2	Synchronismus der Rationen	106
6	Zusammenfassung	112
7	Anhang	114
8	Literaturverzeichnis	120

**Abkürzungsverzeichnis**

Abb.	-	Abbildung
ADF	-	Säure-Detergenzienfaser
ADL	-	Säure-Detergenzienlignin
bzw.	-	beziehungsweise
CNCPS	-	Cornell Net Carbohydrate and Protein System
d	-	Tag
DADF	-	abbaubare Säure-Detergenzienfaser
DNDF	-	abbaubare Neutral-Detergenzienfaser
EADF	-	effektiv abgebaute Säure-Detergenzienfaser
EHEM	-	effektiv abgebaute Hemizellulose
ENDF	-	effektiv abgebaute Neutral-Detergenzienfaser
EOM	-	effektiv abgebaute organische Masse
ERP	-	effektiv abgebautes Rohprotein
et al.	-	und andere (et aliis)
ETM	-	effektiv abgebaute Trockenmasse
h	-	Stunde
HEM	-	Hemizellulose
INDF	-	nicht abbaubare Neutral-Detergenzienfaser
IADF	-	nicht abbaubare Säure-Detergenzienfaser
KH	-	Kohlenhydrate
LI	-	Lignifizierungsindex
NDF	-	Neutral-Detergenzienfaser
NDIN	-	in neutralem Detergenz unlöslicher Stickstoff (Neutral Detergent Insoluble Nitrogen)
NPN	-	Nicht-Protein-Stickstoff
nXP	-	nutzbares Rohprotein am Duodenum
OM	-	Organische Masse
R <sup>2</sup>	-	Bestimmtheitsmaß
RP	-	Rohprotein
RNB	-	Ruminale N-Bilanz
SI	-	Synchronismusindex
Tab.	-	Tabelle
TM	-	Trockenmasse
vs.	-	versus
z. B.	-	zum Beispiel
ZELL	-	Zellulose

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle	Titel	Seite
Tabelle 2.1	Auswirkung synchroner und asynchroner Rationen auf die mikrobielle Rohproteinsynthese im Pansen von Milchkühen	18
Tabelle 3.1	Versuchsplan für die Erntetermine	23
Tabelle 3.2	Beprobte Aufwüchse des Vegetationsversuches	23
Tabelle 3.3	Komponenten der Konzentratfuttermittel	24
Tabelle 3.4	Zusammensetzung der Rationen (TM-Basis)	24
Tabelle 3.5	Beutelanzahl je Inkubationszeit	27
Tabelle 3.6	Rohproteinfraktionen von Futtermitteln nach dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System	30
Tabelle 4.1.1	Mittelwerte der Gehalte an Trockenmasse (TM), Rohasche (RA), Rohprotein (RP), Neutral-Detergenzienfaser (NDF), Säure-Detergenzienfaser (ADF), Säure-Detergenzienlignin (ADL), Hemizellulosen (HEM), Zellulosen (ZELL) und Lignifizierungsindex (LINDF und LIADF) in den Grünlandaufwüchsen	39
Tabelle 4.1.2	Mittelwerte der Rohproteinfraktionen der Grünlandaufwüchse	40
Tabelle 4.1.3	Mittelwerte der Gehalte an Trockenmasse (TM), Rohasche (RA), Rohprotein (RP), Neutral-Detergenzien Faser (NDF), Säure-Detergenzien Faser (ADF), Säure-Detergenzien Lignin (ADL) und dem Lignifizierungsindex auf Basis NDF bzw. ADF ( $LI_{NDF}$ bzw. $LI_{ADF}$ ) der Rationskomponenten Heu, Maissilage und Konzentratfutter, schnell fermentierbar (KFS) sowie Konzentratfutter, langsam fermentierbar (KFL)	41
Tabelle 4.2.1	Effekte des Versuchsjahres auf die <i>in situ</i> Abbauparameter der Trockenmasse (TM), organischen Masse (OM), des Rohproteins (RP), der Neutral-Detergenzienfaser (NDF), der Säure-Detergenzienfaser (ADF) und der Hemizellulosen (HEM)	42
Tabelle 4.2.2	Mittelwerte der <i>in situ</i> Abbauparameter der Trockenmasse TM (a = lösliche Fraktion, b = unlösliche abbaubare Fraktion, c = Abbaurrate von b, d = a + b, lag = Verzögerungsphase bis Abbaubeginn) und der effektive TM-Abbau bei einer angenommenen Passagerate von 5 %/h (ETM5)	44

Tabelle 4.2.3	Mittelwerte der <i>in situ</i> Abbauparameter der organischen Masse OM (a = lösliche Fraktion, b = unlösliche abbaubare Fraktion, c = Abbaurrate von b, d = a + b, lag = Verzögerungsphase bis Abbaubeginn) und der effektive OM-Abbau bei einer angenommenen Passagerate von 5 %/h (EOM5)	45
Tabelle 4.2.4	Mittelwerte der <i>in situ</i> Abbauparameter der Neutral-Detergenzienfaser NDF (a = lösliche Fraktion, b = unlösliche abbaubare Fraktion, c = Abbaurrate von b, lag = Verzögerungsphase bis Abbaubeginn), die nichtabbaubare NDF (INDF), der Gehalt an abbaubarer NDF in der TM (DNDF) und der effektive Abbau der DNDF bei einer angenommenen Passagerate von 5 %/h (ENDF5)	48
Tabelle 4.2.5	Mittelwerte der <i>in situ</i> Abbauparameter der Säure-Detergenzienfaser ADF (a = lösliche Fraktion, b = unlösliche abbaubare Fraktion, c = Abbaurrate von b, lag = Verzögerungsphase bis Abbaubeginn), die nichtabbaubare ADF (IADF), der Gehalt an abbaubarer ADF in der TM (DADF) und der effektive Abbau der DADF bei einer angenommenen Passagerate von 5 %/h (EADF5)	51
Tabelle 4.2.6	Mittelwerte der <i>in situ</i> Abbauparameter der Hemizellulose HEM (a = lösliche Fraktion, b = unlösliche abbaubare Fraktion, c = Abbaurrate von b, lag = Verzögerungsphase bis Abbaubeginn), die nichtabbaubare HEM (IHEM), der Gehalt an abbaubarer HEM in der TM (DHEM) und der effektive Abbau der DHEM bei einer angenommenen Passagerate von 5 %/h (EHEM5)	52
Tabelle 4.2.7	Mittelwerte der <i>in situ</i> Abbauparameter des Rohproteins RP (a = lösliche Fraktion, b = unlösliche abbaubare Fraktion, c = Abbaurrate von b, d = a + b, lag = Verzögerungsphase bis Abbaubeginn) und der effektive RP-Abbau bei einer angenommenen Passagerate von 5 %/h (ERP5)	55
Tabelle 4.2.8	Mittelwerte und Standardabweichungen der <i>in situ</i> Abbauparameter der organischen Masse und der effektiv abgebauten organischen Masse bei einer angenommenen Passagerate von 5%/h (EOM5) der Rationsergänzungsfuttermittel Heu Mais Konzentratfutter, schnell fermentierbar (KFS) und Konzentratfutter, langsam fermentierbar (KFL)	57
Tabelle 4.2.9	Mittelwerte und Standardabweichungen der <i>in situ</i> Abbauparameter des Rohprotein und dem effektiv abgebauten Rohprotein bei einer angenommenen Passagerate von 5 %/h (ERP5) der Rationsergänzungsfuttermittel Heu Mais Konzentratfutter, schnell fermentierbar (KFS) und Konzentratfutter, langsam fermentierbar (KFL)	58

Tabelle 4.3.1	<i>In situ</i> UDP der alpinen Grünlandaufwüchse sowie der Heu-Varianten und Maissilagen bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (UDP2, UDP5, UDP8)	59
Tabelle 4.3.2	Rohproteinfraktionierung der Grünlandaufwüchse, der Heuvarianten und der Maissilagen nach dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS)	62
Tabelle 4.3.3	Parameter des statistischen Modells, deren Signifikanzen und Bestimmtheitsmaße der Regressionsgleichungen zur Schätzung des UDP bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (UDP2, UDP5, UDP8) aus der chemischen Fraktionierung des Futter Rohproteins nach dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) von Grundfuttermitteln	64
Tabelle 4.3.4	Differenzen zwischen dem <i>in situ</i> UDP und den anhand der chemischen Fraktionierung mittels multipler linearer Regression geschätzten UDP Werten von Grünlandaufwüchsen des Alpenraumes unterschiedlicher Vegetationsstadien sowie verschiedener Heu-Varianten und Maissilagen unter Annahme der Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (UDP2, UDP5, UDP8)	65
Tabelle 4.4.1	Mittelwerte des durchschnittlich stündlich <i>in situ</i> freigesetzten N in g je kg fermentierter organischer Masse (OM) in drei Zeitintervallen nach Beginn der Inkubation sowie der Synchronismusindex (SI)	68
Tabelle 4.4.2	Durchschnittlich stündlich freigesetzter N je kg OM der Rationsergänzungskomponenten Heu, Maissilage, Konzentratfutter, schnell fermentierbar und Konzentratfutter, langsam fermentierbar in drei Zeitintervallen nach Beginn der Inkubation sowie der Synchronismusindex (SI)	69
Tabelle 4.4.3	Die statistischen Effekte Aufwuchs (Aufw), Woche (Wo), Konzentratfutterart (Art), Konzentratfuttermenge (Menge) und Interaktionen des durchschnittlich stündlich freigesetzten N je kg fermentierter OM in den Rationen	72
Tabelle 4.4.4	Synchronismusindizes (SI) der Rationen als Mittelwerte des Effektes (Woche * KF-Menge)	73
Tabelle 4.4.5	Irrtumswahrscheinlichkeit der statistischen Effekte Aufwuchs, Woche Konzentratfutterart (KF-Art), Konzentratfuttermenge (KF-Menge) und die Interaktionen der Haupteffekte sowie der prozentualer Anteil an der Gesamtvarianz des Synchronismusindex (SI)	74
Tabelle 5.1	Effektiver Rohprotein-Abbau ausgewählter Grünlandaufwüchse bei einer angenommenen Passagerate von 5%/h (ERP5)	78

Tabelle 5.2	Durchschnittliche Niederschlagsmenge (NS), Lufttemperatur (T) und Sonnenscheindauer (SD) zu den Aufwüchsen 1-3	79
Tabelle 5.3	Korrelationskoeffizienten (r) der Abbauraten der Neutral-Detergenzienfaser (NDFc), der Säure-Detergenzienfaser (ADFc) und der Hemizellulose (HEMc)	88
Tabelle 5.4	Korrelationskoeffizienten des Zusammenhangs des RP-Gehaltes der Grünlandaufwüchse und der Abbauraten der Trockenmasse (TMc) der organischen Masse (OMc), der Neutral-Detergenzienfaser (NDFc), der Säure-Detergenzienfaser (ADFc) der Hemizellulosen (HEMc) und der Rohprotein (RPc)	94
Tabelle 5.5	Mittelwerte (MW) und Variationskoeffizienten (CV) der Rohproteinfraktionen des Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) des eigenen Datensatzes (Grobfutter) sowie des Datensatzes von Shannak et al. (2000) (Konzentratfutter) mit A = NPN-Fraktion, B1 = wahres Protein, schnell abbaubar, B2 = wahres Protein, mittelschnell abbaubar, B3 = wahres Protein, NDF-assoziiert, C = Lignin assoziiertes Protein, nicht abbaubar, $p$ NDF = Neutral Detergenzienfaser, durch Papierfilter filtriert, $p$ ADF = Säure Detergenzienfaser, durch Papierfilter filtriert	97
Tabelle 5.6	Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen der Abbaurate des Rohprotein (RPc) und den Abbauraten der organischen Masse (OMc), der Neutral-Detergenzienfaser (NDFc), der Hemizellulose (HEMc) und der Säure-Detergenzienfaser (ADFc)	98
Tabelle 5.7	Differenzen zwischen den <i>in situ</i> UDP-Gehalten und dem NDF-assoziierten Protein	100
Tabelle 5.8	Vergleich der Mittelwerte des durchschnittlich stündlich <i>in situ</i> freigesetzten N (g) je kg fermentierter organischer Masse (OM) (g N/kg OM)/h) in drei Zeitintervallen nach Beginn der Inkubation aus den Grünlandaufwüchsen (A) und den Grundfutterrationen (GF)	106
Tabelle 7.1	Pflanzenbestände der Stainacherwiese der Jahre 2000 und 2004, botanische Aufnahme nach Braun-Blanquet	114
Tabelle 7.2	Pflanzenbestände der Thalhammerwiese der Jahre 2000 und 2004, botanische Aufnahme nach Braun-Blanquet	116
Tabelle 7.3	Mittelwerte der <i>in situ</i> effektiv abgebauten Trockenmasse bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (ETM2, ETM5, ETM8)	117
Tabelle 7.4	Mittelwerte der <i>in situ</i> effektiv abgebauten organischen Masse bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (EOM2, EOM5, EOM8)	117

## VIII

Tabelle 7.5	Mittelwerte des <i>in situ</i> effektiv abgebauten Rohprotein bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (ERP2, ERP5, ERP8)	117
Tabelle 7.6	Mittelwerte der <i>in situ</i> effektiv abgebauten Neutral-Detergenzienfaser bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (ENDF2, ENDF5, ENDF8)	118
Tabelle 7.7	Mittelwerte der <i>in situ</i> effektiv abgebauten Säure-Detergenzienfaser bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (EADF2, EADF5, EADF8)	118
Tabelle 7.8	Mittelwerte der <i>in situ</i> effektiv abgebauten Hemizellulosen bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (EHEM2, EHEM5, EHEM8)	118
Tabelle 7.9	Mittelwerte und Standardabweichung der <i>in situ</i> -Abbauparameter der Trockenmasse (TM) und der effektiv abgebauten Trockenmasse bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (ETM2, ETM5, ETM8) der Rationsergänzungskomponenten Heu, Maissilage, Konzentratfutter schnell fermentierbar (KFS) und Konzentratfutter langsam fermentierbar (KFL)	119
Tabelle 7.10	Mittelwerte und Standardabweichungen der <i>in situ</i> -Abbauparameter der Neutral-Detergenzienfaser (NDF) und der effektiv abgebauten NDF bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (ENDF2, ENDF5, ENDF8) der Rationsergänzungskomponenten Heu, Maissilage, Konzentratfutter schnell fermentierbar (KFS) und Konzentratfutter langsam fermentierbar (KFL)	119
Tabelle 7.11	Mittelwerte und Standardabweichungen der <i>in situ</i> -Abbauparameter der Säure-Detergenzienfaser (ADF) und der effektiv abgebauten ADF bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (EADF2, EADF5, EADF8) der Rationsergänzungskomponenten Heu, Maissilage, Konzentratfutter schnell fermentierbar (KFS) und Konzentratfutter langsam fermentierbar (KFL)	119

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung	Titel	Seite
Abbildung 2.1	Die Fraktionen der Zellwandkohlenhydrate (nach GOERING & VAN SOEST, 1970)	5
Abbildung 2.2	Vereinfachte Darstellung des ruminalen Rohproteinumsatzes	7
Abbildung 2.3	Schichtenbau der pflanzlichen Zellwand	9
Abbildung 2.4	Zusammensetzung der Zellwandfraktionen von Luzerne- und Welsches-Weidelgras-Heu	10
Abbildung 2.5	Die vorherrschenden Monomere des Lignins	11
Abbildung 2.6	Bindungen der p-Cumarsäure und der Ferulasäure an die anderen Zellwandbestandteile	12
Abbildung 3.1	Bestimmung der ruminalen Abbaubarkeit durch die <i>in situ</i> -Methode	26
Abbildung 3.2	Lineare Beziehung zwischen nicht korrigierten und um die mikrobielle Kontamination korrigierten Werten des Rohprotein-(RP-) Abbaus der Wiesenaufwüchse	32
Abbildung 4.4.1	Durchschnittlich freigesetzter N in (g/kg OM)/h in den Rationen	71
Abbildung 5.1	Die unkorrigierten (NK) und mittels Analyse auf NDF-gebundenen N (NDIN) um die mikrobielle Kontamination der Residuen korrigierten (KORR) Rohprotein-(RP)-Verluste zweier Grünlandaufwüchse mit unterschiedlichen Gehalten an RP und Neutral-Detergenzienfaser (NDF)	77
Abbildung 5.2	Durchschnittliche <i>in situ</i> RP-Verluste (%) der Grünlandaufwüchse	101



## 1 Einleitung

Der im folgenden beschriebene Versuch steht in Ergänzung zu einem Fütterungsversuch mit Milchkühen, der in der HBLFA Raumberg - Gumpenstein, Österreich\*, von 2000 - 2003 durchgeführt wurde und dessen Hauptanliegen die Erforschung der Strukturwirkung von Grünlandaufwüchsen unterschiedlichen Alters war.

Die Vegetation der Wiesen und Weiden des Alpenraumes weist aufgrund der Standort- und Bewirtschaftungsverhältnisse eine besondere Artenvielfalt und einen charakteristischen Vegetationsverlauf auf. Das alpenländische Grünlandfutter unterscheidet sich daher nicht nur in Hinblick auf die chemische Zusammensetzung, sondern auch bezüglich des ruminalen Abbaus und damit des Futterwertes von den weidelgrasbetonten und oftmals in höherer Düngung stehenden Pflanzenbeständen der milderen Gunstlagen (UNIVERSITÄT HOHENHEIM - DOKUMENTATIONSSTELLE, 1997). Die Variabilität der ruminalen Abbaukinetik artenreicher Pflanzengesellschaften zu einem gegebenen Zeitpunkt hängt neben den klimatischen Verhältnissen zum einen von der botanischen Zusammensetzung des Bestandes, zum anderen von den Proportionen der verschiedenen Pflanzenorgane in Abhängigkeit von der individuellen Entwicklung - dem Vegetationsstadium - der jeweiligen Pflanze ab.

Eine dem genetischen Potential der Milchkuh zu immer höheren Milchleistungen angepasste Rationsgestaltung erfordert eine exakte Bewertung der eingesetzten Futtermittel hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung und ruminalen Abbaucharakteristika. Dabei ist bei einer Zusammenstellung der Ration auf Basis von sehr heterogenem Grundfutter, wie es frisches Wiesenfutter darstellt, den sich mit dem Vegetationsstadium verändernden Abbaueigenschaften durch Kombination mit geeigneten Konzentratfuttermitteln Rechnung zu tragen.

Der Milchproduzent steht neben der Orientierung auf Leistungsoptimierung ebenso vor der Aufgabe, die Gesunderhaltung des Tieres zu gewährleisten und außerdem eine Umweltbelastung durch Nährstoffausscheidung zu minimieren. Die Untersuchung der ruminalen Abbaukinetik von Futtermitteln erfordert zeit- und kostenintensive Versuche.

\*Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, 8952 Irdning, Österreich

So liegen den Angaben der DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer (UNIVERSITÄT HOHENHEIM - DOKUMENTATIONSSTELLE, 1997), nach denen in Deutschland und auch Österreich zur Zeit üblicherweise eine Futterbewertung erfolgt, Daten aus *in situ*- und *in vivo*-Versuchen zu Grunde.

Die im vorliegenden Versuch mittels *in situ*-Methode untersuchten Grünlandaufwüchse sowie die Rationsergänzungskomponenten Heu, Maissilage und die Konzentratfuttermittel unterschiedlicher Fermentationsgeschwindigkeiten stammen aus dem Fütterungsversuch der HBLFA. Auf Ergebnisse dieses Versuches wird allerdings nur insofern eingegangen, als es für die Bearbeitung der dem Versuch vorangestellten Fragestellungen relevant ist.

Die vorliegende Arbeit wurde mit dem Ziel erstellt,

1. den Einfluss des Vegetationsstadiums von Grünlandaufwüchsen des Alpenraumes auf Ausmaß und Geschwindigkeit des ruminalen Abbaus der Faserfraktionen und des Rohproteins zu untersuchen. Besonderes Augenmerk lag dabei auf dem synchronen Abbau von N- und energieliefernden Substanzen gemäß der Annahme, dass ein synchroner Abbau einen Einfluss auf die Effizienz der mikrobiellen Proteinsynthese im Pansen hat, und damit unter Berücksichtigung der Minimierung der N-Ausscheidung eine Möglichkeit darstellt, Wiederkäuerrationen tier- und umweltgerecht zu gestalten.
2. Möglichkeiten zur Schätzung des ruminalen Rohproteinabbaus anhand von chemischer Fraktionierung des Rohproteins gemäß dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System zu prüfen, und
3. Aussagen über eine mögliche Optimierung der Futterration auf Basis von Grünlandaufwüchsen unterschiedlicher Vegetationsstadien durch Kombination mit variierenden Mengen von Konzentratfuttermitteln unterschiedlicher Fermentationsgeschwindigkeiten bezüglich synchronen Abbaus von N- und energieliefernden Substanzen zu treffen.

Ferner bietet das bearbeitete Probenmaterial eine umfangreiche Datenbasis für die Bearbeitung weiterer physiologischer und methodischer Fragestellungen.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Der Pansen und seine Mikroflora

Die Ausbildung der Vormägen, insbesondere des Pansens, bei den Wiederkäuern führt zu wesentlichen Besonderheiten im Hinblick auf deren Verdauungsphysiologie. Die wiedergekaute Nahrung erfährt im Pansen in beträchtlichem Umfang mikrobielle Ab- und Umbauprozesse bevor sie im Intestinaltrakt einem dem Monogastrier vergleichbaren Abbau unterliegt (VAN SOEST, 1994). Diese Prozesse führen zu vielfältigen offenen Fragen, was die Bewertung eines Futtermittels in Hinblick auf die physiologische und wirtschaftliche Effizienz anbelangt, da Energie- und Proteingewinn aus dem Futtermittel eng mit den mikrobiellen Fermentationsprozessen im Pansen verknüpft sind (CZERKAWSKI, 1986; CLARK et al., 1992). Voraussetzung für die mikrobiellen Ab- und Umbauprozesse sind in erster Linie die im Pansen zur Verfügung stehenden Substrate. Die Population der Pansenmikroorganismen besteht aus Bakterien, Protozoen, Pilzen sowie Archaeen und Bakteriophagen (CZERKAWSKI, 1986). Die weitaus größte und sehr heterogene Gruppe stellen die Bakterien dar, welche in strukturkohlenhydratfermentierende und in nichtstrukturkohlenhydratfermentierende Bakterien unterteilt werden können. Erstere nutzen allein  $\text{NH}_3$  als N-Quelle zum Aufbau eigener Körpersubstanz, während die Bakterien, welche Nicht-Strukturkohlenhydrate fermentieren, ihren N-Bedarf zusätzlich durch Aufnahme von Peptiden decken. Nährstoffquelle der Protozoen sind nicht nur die Futterpartikel, sondern auch Bakterien, Pilze und andere Protozoen. Eine erhöhte Protozoenpopulation durch steigenden Gehalt an leicht fermentierbaren Kohlenhydraten in der Ration kann daher mit einer abnehmenden Fermentation von Strukturkohlenhydraten einhergehen (DIERCHEN et al., 1982; RUSSELL et al., 1992). Die Anzahl der Mikroorganismen und deren chemische Zusammensetzung variiert in Abhängigkeit von der Art des Futtermittels bzw. von der Zusammensetzung der Ration, dem Fütterungsregime und dem Zeitpunkt der Probenahme der Mikroorganismen in Bezug zum Fütterungszeitpunkt (CZERKAWSKI, 1986). So ist z. B. bei rauhfutterreichen Rationen eine sehr vielfältige Gesamtflora anzutreffen. Bei kraftfutterreicher Fütterung kann zwar die Keimzahl erhöht, die Artenvielfalt jedoch stark reduziert sein (PFEFFER, 1987). Diese Tatsachen müssen bei der Wahl der Futtermittel Berücksichtigung finden, da die Intensität des Abbaus und damit

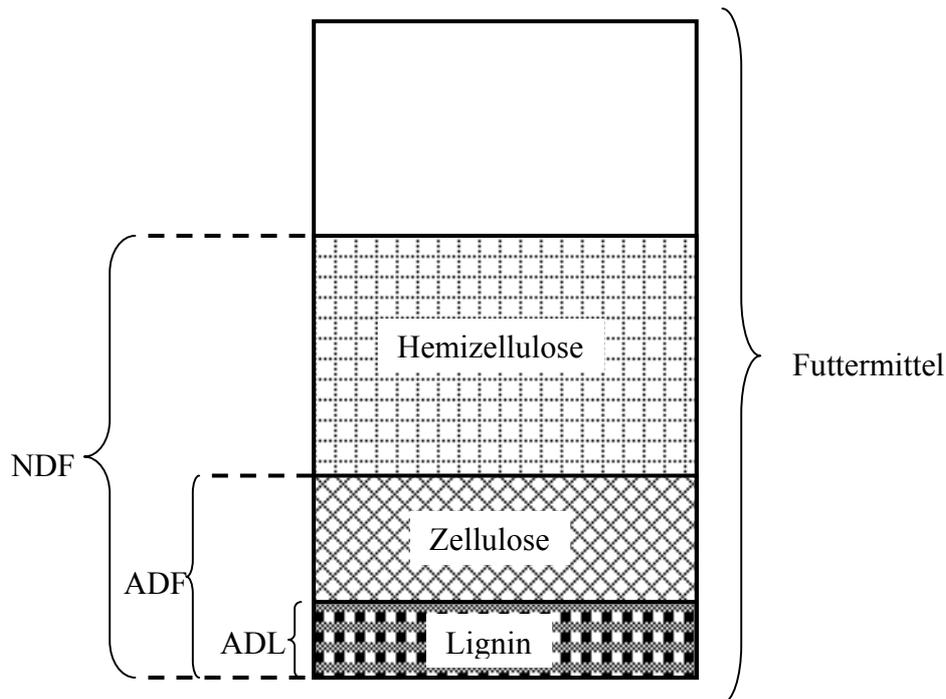
die Effizienz der eingesetzten Futtermittel in hohem Maße von der Effizienz des mikrobiellen Abbaus im Pansen abhängen (BLANK et al., 1998; SÜDEKUM, 1999).

## **2.2 Pansenmetabolismus**

### **2.2.1 Strukturkohlenhydrate**

Kohlenhydrate stellen die größte Nährstofffraktion in der Wiederkäuerration dar, welche in Nicht-Struktur- und Struktur-Kohlenhydrate unterschieden werden (STOKES, 1997). Den größten Teil der Kohlenhydrate in Wiederkäuerrationen stellt die Fraktion der Strukturkohlenhydrate der pflanzlichen Zellwand (Zellulose, Hemizellulose und Pektin). Die Möglichkeit, diese Strukturkohlenhydrate zur Energiegewinnung zu nutzen, begründet die einzigartige ökologische Nische der Wiederkäuer. Dabei sind die Wiederkäuer bei der Energiegewinnung aus den Zellwandbestandteilen auf die hydrolytische Spaltung derselben durch die Pansenmikroorganismen angewiesen. (CHESSON & FORSBERG, 1988; CLARK et al., 1992). Der Abbau der Kohlenhydrate verläuft über Monomere, Puryvat bis hin zu kurzkettigen Fettsäuren (v.a. Acetat, Propionat und Butyrat). Diese stehen dann sowohl dem Wiederkäuer als auch den Pansenmikroorganismen als Energiequelle zur Verfügung. Chemisch analytisch werden die Zellwand- (Struktur-) kohlenhydrate von Futtermitteln entweder mittels der Weender-Analyse (Rohfaser) oder mittels der NDF-Methode nach GOERING & VAN SOEST (1970) (NDF, ADF) erfasst. Die NDF (Neutral Detergent Fiber) umfasst Hemizellulose, Zellulose und Lignin, während die ADF (Acid Detergent Fiber) lediglich Zellulose und Lignin enthält (Abbildung 2.1).

Obwohl der größte Teil der Zellwandkohlenhydrate im Pansen fermentiert wird, kann in gewissem Umfang die NDF auch noch im Dickdarm in Analogie zur Verdauung der Monogastrier abgebaut werden. Die dort gebildeten flüchtigen Fettsäuren sind zum Energiegewinn durch den ruminalen Zellwandabbau zu addieren. Diese Erkenntnisse liegen auch dem „Nordic Dairy Cow Model - Karoline“ zugrunde (DANFAER et al., 2006), welches bei der Bewertung der Futtermittel bezüglich des NDF-Abbaus zwei Orte der Strukturkohlenhydratfermentierung berücksichtigt, den Pansen und den Dickdarm. Neuere Forschungsarbeiten beschäftigen sich in ausführlicher Form mit Ort und Ausmaß der Strukturkohlenhydratverdauung.



**Abbildung 2.1:** Die Fraktionen der Strukturkohlenhydrate (nach GOERING & VAN SOEST, 1970)

HUHTANEN et al. (2006) untersuchten den NDF-Abbau im Dickdarm unter suboptimalen ruminalen Bedingungen. Dabei wurde eine weitaus höhere Effizienz der Pansenbakterien bei der Fermentation von Strukturkohlenhydraten im Vergleich zu der Dickdarmpopulation festgestellt. Die Bedeutung des Pansen als größter und effizientester Ort der Strukturkohlenhydratfermentation wurde damit bestätigt, allerdings ist gerade bei hochleistenden Milchkühen vor allem in der frühen Laktation jeder Energiegewinn von Bedeutung und damit zu berücksichtigen (DANFAER et al., 2006).

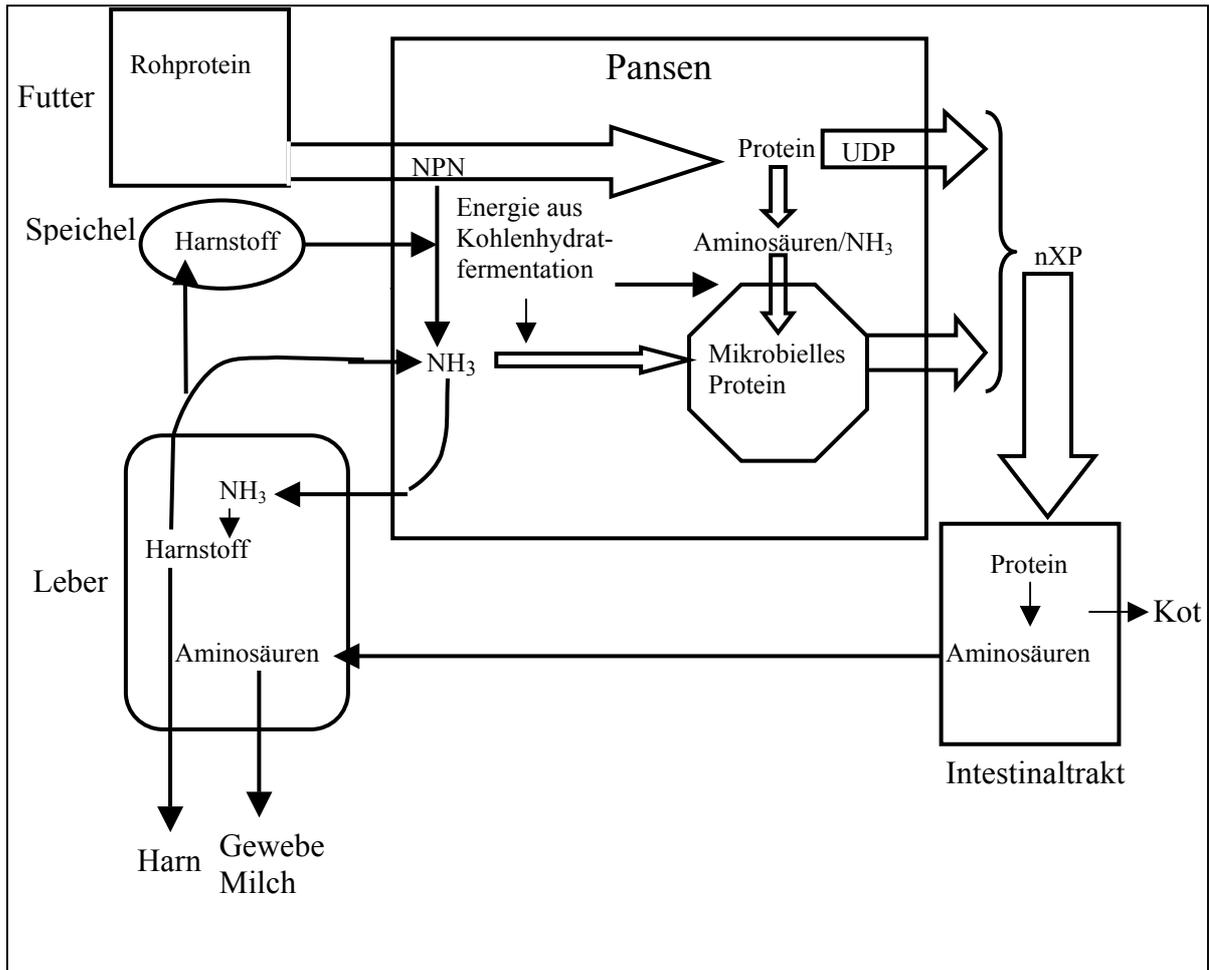
### 2.2.2 Stabilisierung des Pansenstoffwechsels durch Strukturkohlenhydrate

Dem Gehalt an Strukturkohlenhydraten in der Ration kommt über die Bereitstellung von Energie hinaus eine entscheidende Bedeutung für die Stabilität des Pansenmilieus und damit einhergehend die Gewährleistung einer hohen Futteraufnahme zu (SÜDEKUM, 1999). Strukturfaserreiche Futtermittel stimulieren die Kau- und Wiederkauaktivität des Tieres (ØRSKOV, 1986). Der aus der intensiven Kau- und Wiederkauaktivität resultierende Speichelfluss ist für die Stabilität des Pansenmilieus unverzichtbar. Da die Kauaktivität der Wiederkäuer von dem Fasergehalt des Futtermittels abhängig ist, ist die Strukturwirkung von Futtermitteln somit positiv korreliert mit dem Fasergehalt. Der Fasergehalt eines

Futtermittels wird durch den Anteil an Strukturkohlenhydraten definiert und chemisch-analytisch als Rohfaser bzw. NDF und ADF beschrieben (SÜDEKUM, 1999). Ein hoher Gehalt von schnell verfügbaren Kohlenhydraten, also Nicht-Strukturkohlenhydraten, aus stärkehaltigen Konzentratfuttermitteln in der Ration führt zu einem pH-Abfall im Pansen (ALDRICH et al., 1992). Tiefe pH-Werte wiederum haben eine deutliche Reduktion der Anzahl an zellulolytisch aktiven Bakterien und einem entsprechend verminderten Abbau von Strukturkohlenhydraten zur Folge (MOULD & ØRSKOV, 1983; VERBIC, 2002). CONE (1991) führte dies zum einen direkt auf die kompetitive Hemmung der Bakterien durch das begrenzt vorhandene Substratangebot, zum anderen indirekt auf den reduzierten pH-Wert zurück. Bei sinkendem pH-Wert kommt es zudem zu einer Anlagerung von  $H^+$ -Ionen an die Gerüstkohlenhydrate und damit zu einer Verschlechterung der Haftbedingungen für die zellulolytischen Mikroben an den Zellwänden (VAN SOEST, 1994), was den negativen Einfluss konzentratfutterreicher Rationen mit geringem Strukturfasergehalt auf den Zellwandabbau verstärkt. Eine Abnahme der zellulolytisch aktiven Bakterienpopulation bei einem NDF-Gehalt  $< 20\%$  im Futtermittel wurde von RUSSELL et al. (1992) festgestellt, wobei die Bakterienpopulation mit jedem Prozentanteil weniger NDF um 2,5 % abnahm. SAIRANEN et al. (2005) beobachteten eine Abnahme der NDF-Verdaulichkeit im gesamten Verdauungstrakt mit zunehmenden Anteilen an KF in der Gesamtration. Bei der Rationsgestaltung muss aber andererseits berücksichtigt werden, dass ein erhöhter Strukturanteil in der Ration zu einer verringerten Passagerate und einem damit einhergehenden Rückgang der Milchleistung führt (BOSCH et al., 1991).

### 2.2.3 Rohprotein

Der ruminale Rohprotein- (RP-) Umsatz ist vereinfacht in Abb. 2.2 dargestellt. Der über das Futter den Pansen erreichende Stickstoff stammt aus Proteinen und NPN-Verbindungen (freie Aminosäuren, Nitrat, Harnstoff, Harnsäure). Zur Stickstoff-Versorgung der Vormagenmikroorganismen tragen aber neben dem Futter in einem gewissen Umfang auch endogene Sekrete (Mucoproteine und abgeschilferte Epithelzellen) und über die Pansenwand rezirkulierter Harnstoff bei. Bis zu 16 % ihres N-Bedarfs können die Pansenmikroorganismen aus endogenen N-Quellen decken (KLUTH et al., 2000). Über mikrobielle Proteasen werden die Proteine enzymatisch bis zu Oligo- und Dipeptiden sowie Aminosäuren und ein Großteil dieser Verbindungen weiter zu  $NH_3$  abgebaut. Auch die NPN-Verbindungen werden im Pansen relativ schnell zu Ammoniak abgebaut.



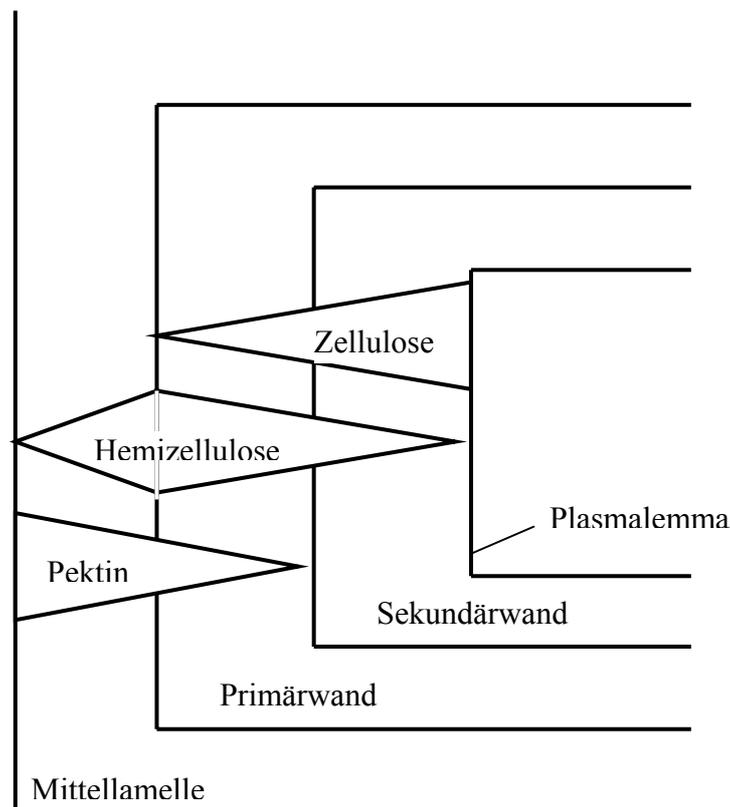
**Abbildung 2.2:** Vereinfachte Darstellung des ruminalen Rohproteinumsatzes (Eigene Darstellung)

Die Synthese von mikrobiellem Protein ist für den Wiederkäuer von hoher physiologischer Bedeutung, da dieses einen wichtigen Beitrag zur Versorgung der Kuh mit hochwertigem Mikrobenprotein leistet (SÜDEKUM, 1999; SCHWARZ, 2000). Es kann sogar davon ausgegangen werden, dass nach dem Verbot von Futtermitteln tierischer Herkunft es keine alternative Proteinquelle für den Wiederkäuer gibt, die dessen Proteinbedarf in vergleichbarem Umfang deckt (VERBIC, 2002). Während die zur Proteinsynthese notwendige Energie aus dem Abbau der Kohlenhydrate gewonnen wird, nutzen die Bakterien in erster Linie NH<sub>3</sub> aus dem Proteinabbau und im geringen Maße auch Peptide zum Aufbau von Körpersubstanz. Das am Intestinaltrakt anflutende Protein besteht demzufolge zum einen aus dem Mikrobenprotein, zum anderen aus dem im Pansen unabgebauten Futterprotein (UDP) und wird im deutschen Proteinbewertungssystem als nXP (nutzbares Rohprotein am Duodenum) bezeichnet (GFE, 1997). Selbst bei hohen Anteilen an im Pansen

unabbaubarem oder unabgebautem Rohprotein stellt das mikrobielle Rohprotein immer mehr als 50 % des gesamten nXP (SÜDEKUM, 2006). Nach Aussagen von CLARK et al. (1992) ist das Mikrobenprotein mit einem durchschnittlichen Anteil von 59 % an dem in den Dünndarm gelangenden Nicht-Ammoniak-Stickstoff die wichtigste Proteinquelle für die Milchkuh. Neuere Arbeiten belegen einen gewissen Anteil an NPN-Verbindungen, welche den Pansen unverändert verlassen (VOLDEN et al., 2002). Allerdings betragen diese Mengen nach Aussage von AUFRÈRE et al. (2002) nur zwischen 7 und 11 % des sofort löslichen RP. So kann davon ausgegangen werden, dass bei Futtermitteln mit relativ geringem RP-Gehalt und gleichzeitig geringem Anteil an sofort löslichem RP den absoluten Mengen keine übermäßig hohe Bedeutung zukommt. Das nXP ist folglich die Proteinmenge, die ausschließlich dem Wiederkäuer für die Erhaltung und Leistung zur Verfügung steht. Zu einer Abschätzung der Menge und Qualität des nXP müssen demzufolge zuverlässige Angaben über Menge und Qualität sowohl des UDP des Futtermittels als auch des mikrobiell synthetisierten Proteins vorliegen. FLACHOWSKY et al. (2000) zeigten, dass für die Mehrzahl von Milchkuhrationen die Energieversorgung den begrenzenden Faktor darstellt, bei Leistungen ab 40 kg/d jedoch in zunehmendem Maße die Proteinversorgung (nXP) kritisch wird. Ähnliche Ergebnisse sind einer Übersichtsarbeit zum Weidegang von hochleistenden Milchkuhen von KOLVER et al. (1998) zu entnehmen, die bei einer Steigerung der Kraftfuttergabe zu energetisch möglichen Mehrleistungen eine Limitierung der Leistung durch die Proteinversorgung feststellten. Ein effizienter Einsatz von Futtermitteln ist daher zum einen zur Erhöhung der Effizienz der mikrobiellen Proteinsynthese anzustreben, wobei diese futtermittelabhängig in einem weiten Bereich variiert (VERBIC, 2002). Da die mikrobielle Proteinsynthese mit steigenden Milchleistungen bezogen auf den steigenden nXP-Bedarf unterproportional zunimmt (SPIEKERS & RODEHUTSCORD, 1999), kommt dem UDP-Gehalt mit zunehmenden Milchleistungen eine immer größere Bedeutung zu, um Versorgungsengpässen und den daraus resultierenden Stoffwechselstörungen vorzubeugen (SÜDEKUM, 1999). Für zahlreiche Futtermittel sind die Daten zum ruminalen Rohproteinabbau in Futterwerttabellen dokumentiert. Allerdings sind diese Daten nur mit erheblichem experimentellem Aufwand *in vivo* oder *in situ* Versuchen ermittelbar. Daher ist eine Etablierung von Schnellmethoden zur Schätzung des ruminalen Proteinumsatzes anzustreben (SÜDEKUM, 2002).

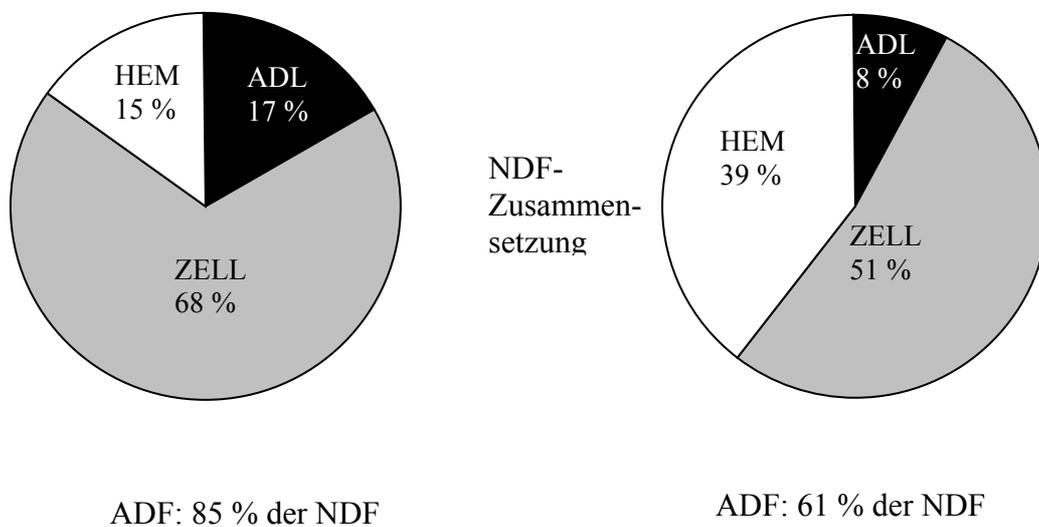
### 2.3 Struktur und Bestandteile der pflanzlichen Zellwand

Die Veränderungen der Futterqualität von Grundfuttermitteln im Laufe der Vegetation sind eng an die Struktur der pflanzlichen Zellwand gebunden. Die pflanzliche Zellwand besteht zum größten Teil aus Kohlenhydraten sowie Protein (Glykoproteide) und veränderlichen Lignin-Anteilen. Die Kohlenhydrate der Zellwand liegen in hochpolymerer Struktur als Zellulose, Hemizellulosen und Pektinen vor und werden als Strukturkohlenhydrate bezeichnet (VAN SOEST, 1994). Die Zellwand setzt sich aus der Mittellamelle, der Primär- und Sekundärwand zusammen. Im Verlaufe des Pflanzenwachstums werden zuerst die Mittellamelle und die Primärwand angelegt, anschließend erfolgt das Wachstum der Sekundärwand in das Innere der Zelle hinein. Der schematische Aufbau der Zellwand und die Verteilung der Kohlenhydrate ist in Abbildung 2.3 dargestellt.



**Abbildung 2.3:** Schichtenbau der pflanzlichen Zellwand (vereinfacht, nach FRANZ, 1991)

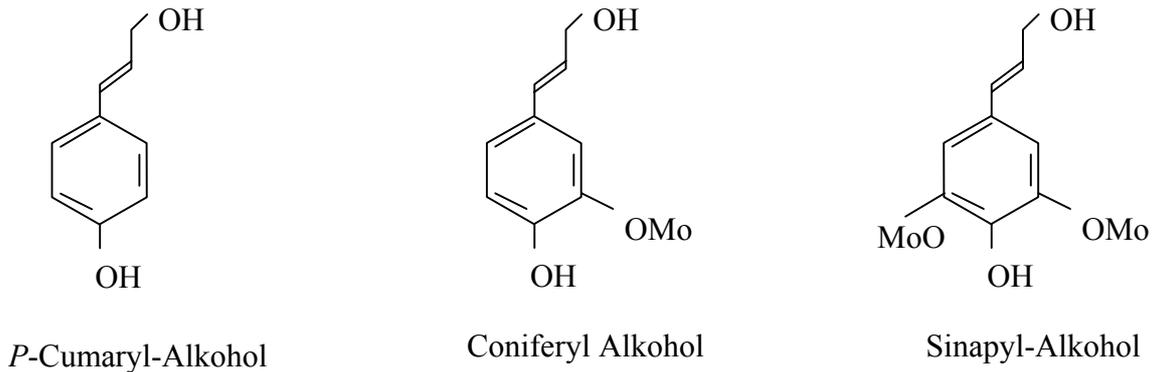
Nach BIDLACK et al. (1992) besteht die Primärwand zu 9 - 25 % aus Zellulosemikrofibrillen, zu 25 - 50 % aus Hemizellulosen, zu 10 - 35 % aus Pektinen und etwa 10 % aus Proteinen. Die relativen Anteile der Zellwandfraktionen der Sekundärwand werden mit 40 - 80 % Zellulose, 10 - 40 % Hemizellulose und 5 - 25 % Lignin angegeben. Die Verteilung und der Gehalt der Kohlenhydratpolymere in der pflanzlichen Zellwand ist allerdings von der Pflanzenart (Abb. 2.4) und vom Entwicklungsstadium der Pflanze abhängig (ANDRIGHETTO et al., 1999; CHEN et al., 2002).



**Abbildung 2.4:** Anteile der Zellwandfraktionen von Luzerne- und Welsches Weidelgras-Heu. NDF = Neutral-Detergenzienfaser, ADF = Säure-Detergenzienfaser, ADL = Säure-Detergenzienlignin, HEM = Hemizellulose, ZELL = Zellulose (nach ANDRIGHETTO et al., 1999)

Zellulose ist ein lineares Polymer aus Glukosemonomeren, welches aus unverzweigten Molekülketten mit Kettenlängen von 10 000 - 15 000 Glukoseeinheiten besteht, die  $\beta$ -1.4-glycosidisch miteinander verknüpft sind. Das Zellulosemolekül ist in Fibrillen organisiert. In der sekundär veränderten Zellwand ist Zellulose im allgemeinen mit Ligninen assoziiert. Die Einlagerung von Lignin in die Zellwand während des Alterungsprozesses der Pflanze wird als limitierend für das Ausmaß des ruminalen Zelluloseabbaus diskutiert (JUNG & ALLEN, 1995; SÜDEKUM et al., 1995). Hemizellulose ist ein heterogenes Gemisch aus Polysacchariden, Grundbausteine sind Pentosane (Xylose, Arabinose) und Hexosane (Glukose, Galaktose, Mannose), die zu kurzen und teilweise verzweigten Ketten verknüpft sind. Dabei variieren diese Verknüpfungen je nach Pflanzenart (MAEK, 2000). Lignin ist

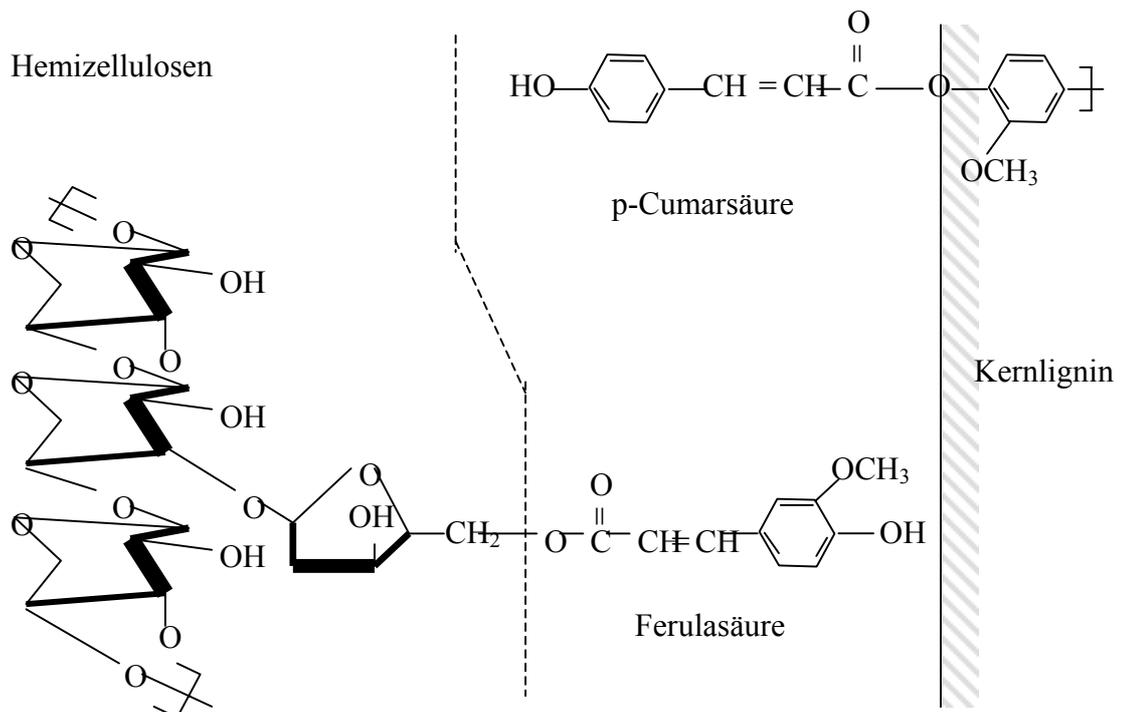
ein phenolisches Makromolekül aus verschiedenen Monomerbausteinen und zählt neben den Zellwandkohlenhydraten zu den Gerüstsubstanzen. Die Zusammensetzung des Lignin variiert pflanzenartabhängig in den prozentualen Anteilen der Grundbausteine. Die drei Grundmoleküle des Lignins sind der Coniferyl-, Sinapyl- und p-Cumaryl-Alkohol (Abb. 2.5).



**Abbildung 2.5:** Die vorherrschenden Monomere des Lignins (nach BOERJAN et al., 2003)

Die hochkondensierten Phenylpropan-Einheiten des Lignins werden als „Kern-Lignin“ bezeichnet. Für die Quervernetzungen der Phenylpropan-Einheiten mit den Zellwandkohlenhydraten sorgen phenolische Säuren, deren Hauptvertreter - Ferulasäure und p-Cumarsäure (p-Hydroxyzimtsäure) - als Nicht-Kern-Lignin bezeichnet werden (OESTMANN et al., 1995). P-Cumarsäure und Ferulasäure sind bifunktional und können über die beiden funktionellen Gruppen (Hydroxylgruppe und Carboxylgruppe) gleichzeitig Ester- und Etherbindungen eingehen. Bei der Quervernetzung besteht zu Lignin eine Etherbindung über die phenolische Gruppe und über die Carboxylgruppe eine Esterbindung mit den Hemizellulosen (JUNG, 1989) (Abb. 2.6). Die Bildung von Lignin erfolgt bei zunehmender Alterung der Pflanze zur Stabilisierung der Zellwände in erster Linie der Stängel, bei Gräsern auch der Blattmittelrippe (HIRST et al., 1959). Lignin wird während des Alterungsprozesses in erster Linie in die Sekundärwand eingelagert. Die Diversität und Komplexität der Bindungen zwischen Ligninmonomeren und Hemizelluloseresten zu Lignin-Hemizellulose-Komplexen macht eine Generalisierung der Sekundärwandstruktur für alle Pflanzenarten außerordentlich schwierig. In dieser Vielfalt der Bindungsarten sind auch die Unterschiede in der ruminalen Abbaubarkeit und Abbauraten der Struktur-

kohlenhydrate (NDF) zwischen Leguminosen bzw. Dikotyledonen und Gräsern begründet (BUXTON, 1991; BIDLACK & BUXTON, 1992; SÜDEKUM et al., 1995; MAEK, 2002; BRUINENBERG, 2003).



**Abbildung 2.6:** Bindungen der p-Cumarsäure und der Ferulasäure an die anderen Zellwandbestandteile (JUNG, 1989)

## 2.4 Ruminale Abbaubarkeit der Zellwandbestandteile

Im Pansen ist Zellulose in Reinform mehr oder weniger komplett durch Mikroorganismen fermentierbar (AKIN, 1986; VAN SOEST, 1994). Die zunehmende Einlagerung von Lignin in die Zellwände, welche im pflanzlichen Stoffwechsel mit zunehmendem Alter einhergeht, wird allgemein als Ursache für die abnehmende Verdaulichkeit von Rauhfutter im fortgeschrittenen Vegetationsstadium angenommen (VAN SOEST, 1994; SÜDEKUM et al., 1995). WILSON et al. (1993) untersuchten verschiedene Zelltypen der Stängel von Sorghum auf ihre *in vitro*-Verdaulichkeit. Sie fanden enge Beziehungen zwischen Ligningehalt und *in vitro*-Verdaulichkeit der Zellwandresiduen. Nach GRABBER (2005) vermindert eine

Einheit Lignin den Abbau von zwei Einheiten Zellulose, wobei nach Beobachtungen von JUNG & VOGEL (1986) der den Abbau hemmende Effekt von Lignin mit höheren Ligningehalten abnimmt und der Abbau der Trockenmasse in einem geringeren Ausmaß behindert ist als der Abbau der Zellwandbestandteile. Diese Feststellung spricht im Gegensatz zu den oben beschriebenen Beobachtungen allerdings gegen eine lineare Beziehung von Ligningehalt und Fermentationsgeschwindigkeit. BUXTON & BRASCHER (1991) stellten bei einer Untersuchung der Verdaulichkeit der Zellwandkohlenhydrate von Gräsern und Leguminosen fest, dass die potentiell abbaubare Zellulose mit zunehmendem Alter in den Stängeln von Gräsern stärker abnahm (53 %) als in Leguminosen (22 %). Desweiteren fanden die Autoren die geringste Abbaubarkeit für Xylose im Gegensatz zur Arabinose, die auch in hoch lignifizierten Geweben noch gut abgebaut wurde, woraus die Autoren schlossen, dass die Arabinose nur zu geringen Anteilen an das Lignin gebunden ist. Die Fermentierbarkeit der Hemizellulosen variiert also in Abhängigkeit von ihrer Struktur, ein hoher Anteil an Xylose wirkt sich negativ auf die Fermentierbarkeit aus. Die Hemizellulose der Stängel enthält mehr schlecht abbaubare Xylose, die über Acetylgruppen an Lignin gebunden und damit schwerer abbaubar ist, während in den Blättern vornehmlich besser abbaubare Arabinose und Glucose vorkommen (JUNG & CASLER, 1991; SÜDEKUM et al., 1995).

Eine Hemmung des Zelluloseabbaus durch zunehmende Lignifizierung ist nicht allein auf eine physikalische Barriere zurückzuführen, welche durch die Lignin-Hemizellulose-Komplexe der Primärwand das Vordringen der relativ immobilen zellulolytisch aktiven Bakterien zu der zellulosereichen Sekundärwand behindert.

JUNG (2003) stellte eine Einlagerung von Lignin in die Zellwand während des gesamten Zellwachstums fest und konnte entgegen früheren Annahmen (AKIN, 1986) ein Polysaccharid-Lignin-Crosslinking mittels Ferulaten ebenfalls in der Sekundärwand der pflanzlichen Zelle nachweisen. Insofern wird die Verdaulichkeit der Sekundärwand nicht nur passiv durch die Einlagerung von Lignin behindert, sondern auch aktiv durch chemische Bindung des Lignins an die Zellulose. Als weitere Ursache für die Hemmung des Abbaus der Zellwandkohlenhydrate bei zunehmender Lignifizierung wird von SÜDEKUM et al. (1995) eine toxische Wirkung der beim Abbau von den Hemizellulosen abgespaltenen phenolischen Monomere auf die zellulolytisch aktiven Mikroorganismen diskutiert. HARTLEY & FORD (1989) bestätigten ebenfalls einen negativen Einfluss von phenolischen Säuren auf den Abbau der Zellwandpolysaccharide. VAREL et al. (1991)

unternahmen den Versuch, den Abbau von lignifizierten Zellwänden durch einen Zusatz von Bakterienspezies, die in der Lage sind, phenolische Verbindungen aufzuspalten, zu fördern. Das Ergebnis zeigte jedoch keine Verbesserung des Abbaus der Zellwandkohlenhydrate.

Während die nicht lignifizierten Zellwände des Mesophylls der Blätter im Pansen von außen nach innen abgebaut werden können, ist bei den zunehmend lignifizierten Stängelparenchymzellen der Mittellamelle und der Primärwand aufgrund der physikalischen Ligninbarriere ein Abbau von innen nach außen nur nach Eindringen der zellulolytisch aktiven Bakterien in die Zelle möglich. Der Abbau von Zellwandkohlenhydraten lignifizierter Zellwände hängt daher stark von der Intensität der Zerkleinerung des Futters ab (BUXTON & READFARN, 1997; WILSON & HATFIELD, 1997). Die Einlagerung von Lignin in die Zellwand verkleinert zudem die angreifbare Fläche innerhalb der Zelle und führt zu einem Verhältnis von Zellwandfläche zu Zellwandvolumen in den Stängeln, das 100-mal niedriger ist als in Mesophyllzellen. Die Lignifizierung ist damit sowohl bei Gras als auch bei Leguminosen die limitierende Größe für den ruminalen Abbau der Zellwände (AKIN et al, 1990; JUNG & ALLEN, 1995; WEIMER, 1996; SCHUBINGER & LEHMANN, 2001).

## **2.5 Einfluss des Vegetationsstadiums auf Zusammensetzung und physiologische Eigenschaften von Wiesenfutter**

Im Verlauf einer Vegetationsperiode finden grundlegende morphologische und chemische Veränderungen in der Futterpflanze statt. Zum einen erhöht sich der Stängelanteil auf Kosten des Blattanteils (UGHERUGHE, 1986; OKAJIMA, 1996), zum anderen erfährt der Stängel noch mehr als die Blätter durch zunehmende Bildung von Gerüstsubstanzen und deren Lignifizierung einen starken Rückgang der Verdaulichkeit nicht nur der Zellwand selbst sondern auch des Zellinhaltes (MINSON, 1990; VAN SOEST, 1994; HUHTANEN & JAKKOLA, 1994; SÜDEKUM et al., 1995; GRUBER et al., 2000, TAMMINGA & SÜDEKUM, 2000). Die Gehalte der Pflanze an abbaubaren Inhaltsstoffen sind damit weitestgehend vom Schnittzeitpunkt abhängig. Dabei ist die Veränderung der Zellwände mit zunehmendem Alter als Hauptursache für den Einfluss des Vegetationsstadiums anzunehmen, während der Zellinhalt im allgemeinen schnell und vollständig abgebaut werden kann (BOUDON et al., 2002). Die Proteine des Zellinhaltes finden sich weitestgehend vollständig im Rubisco-Komplex und unterliegen im Gegensatz zu dem zellwandassoziierten Protein einem

schnellen und vollständigen Abbau durch die Pansenmikroorganismen (TAMMINGA & SÜDEKUM, 2000). Das zellwandassoziierte Protein, ist grundsätzlich abbaubar, das Ausmaß des ruminalen Abbaus hängt jedoch wesentlich mit der Abbaugeschwindigkeit der Zellwand zusammen. Durch eine Bindung von Aminosäuren (Phenylalanin und Tyrosin) an das Lignin können außerdem etwa 1,5 - 2 % des Gesamt-N in der TM von Leguminosen und Gräsern als unverdaulich angesprochen werden (CERKAWSKI, 1986, VAN SOEST, 1994).

Bei der Bewertung des ruminalen Proteinabbaus müssen folglich ebenso wie bei den Zellwandbestandteilen saisonale Effekte berücksichtigt werden, da sich die Zellwandbeschaffenheit in Abhängigkeit vom Vegetationsstadium verändert (BODINE et al., 1999). Die Rohproteinfraktionierung des Cornell Net Carbohydrate and Protein Systems (CNCPS) (LICITRA et al., 1996) ermöglicht analog zur Fraktionierung der Kohlenhydrate die Charakterisierung des pflanzlichen Rohproteins. So untersuchten MICHAUD et al. (2001) die Zusammensetzung des Rohproteins in den Blättern und Stängeln von Luzerne. Die Autoren fanden einen höheren Anteil der A- und B1-Fraktion (löslich) in den Stängeln als in den Blättern. Hingegen dominierte in den Blättern die B2-Fraktion. B3- und C-Fraktion unterschieden sich nicht in Blättern und Stängeln. Eine Veränderung der Abbaucharakteristika des Proteins mit zunehmendem Alter und den damit einhergehenden morphologischen Veränderungen von Pflanzen ist daher erklärlich.

Neben dem Vegetationsstadium der Pflanzen wird die Futterqualität über die botanische Zusammensetzung des Grünlandbestandes sowie durch klimatische Effekte wie Temperaturhöhe und -amplitude, Niederschlag, Tageslänge, u.a. beeinflusst, so dass diese bei der Bewertung von Grünlandaufwüchsen berücksichtigt werden müssen (KÜHBAUCH, 1987).

## **2.6 Der Einfluss der Pflanzenart auf Zusammensetzung und physiologische Eigenschaften von Wiesenfutter**

Leguminosen unterscheiden sich grundsätzlich von den Gräsern bezüglich ihrer chemischen Zusammensetzung. Die Stängel der Leguminosen unterteilen sich in nahezu vollständig abbaubare Zellen der Rinde und des Marks und nicht abbaubare Zellen des Xylems, deren Sekundärwand einer starken Lignifizierung unterliegt. Im Gegensatz dazu unterliegen beim Gras die Sekundärwände aller Stängelzelltypen einer mit zunehmendem Alter zunehmenden Lignifizierung (WILSON & HATFIELD, 1997). Da die Einlagerung des Lignins in die

Sekundärwand nicht in allen Zellen des Stängels in gleichem Maße erfolgt, ist die Veränderung der Abbaubarkeit mit zunehmendem Alter in Leguminosen nicht so stark ausgeprägt wie in Gräsern, woraus auf über einen längeren Zeitraum konstante Futtereigenschaften bei Leguminosen geschlossen werden kann (ALERT & ECKARDT, 1996).

Leguminosen zeichnen sich daneben durch geringere HEM-Gehalte aus (ANDRIGHETTO et al. 1999), die aus oben genannten Gründen im Vergleich zu der HEM der Gräser besser abbaubar sind. Von HOFFMAN et al., (1993) werden höhere NDF-Abbauraten für Leguminosen im Vergleich zu Gräsern beschreiben. Die Zusammensetzung von Zellwand und Rohprotein wird nach ELIZALDE et al. (1999) stärker von der Pflanzenart beeinflusst, die Gehalte an NDF und RP in der Pflanze dagegen stärker von dem Vegetationsstadium.

Leguminosen weisen im Vergleich zu Gräsern höhere Rohproteingehalte auf, was auf die Fähigkeit, über die Knöllchenbakterien  $N_2$  aus der Luft zu fixieren, zurückzuführen ist (VAN SOEST, 1994).

## **2.7 Einfluss von Klima und Nutzungsintensität auf Zusammensetzung und physiologische Eigenschaften von Wiesenfutter**

Die meisten Futterpflanzen des gemäßigten Klimas sind Langtagpflanzen. Die Anlage der reproduktiven Triebe wird unter den Bedingungen des Kurztags (kurzer Tag, lange Nacht), wie es in unseren Breitengraden im Herbst und Winter der Fall ist, ausgelöst (Vernalisation), die Umsteuerung von vegetativem zu reproduktivem Wachstum findet bei Beginn der Langtagbedingungen (Tageslänge  $> 14$  h) statt. Nach VAN SOEST (1994) kann die Vegetationsperiode in drei Abschnitte unterteilt werden, und zwar den Frühling, wo die Veränderung von Tageslänge und Temperatur gleichzeitig mit der Alterung der Pflanzen einhergeht, den Hochsommer, wo die Temperaturen relativ konstant sind, die Tageslänge jedoch bereits wieder abnimmt, und den Herbst, wo sowohl Tageslänge als auch Temperatur zurückgehen. Nach einer Schnittnutzung zeigen die meisten Futtergräser aufgrund des fehlenden Vernalisationsreizes nur noch eine geringe Neigung zur Ausbildung reproduktiver Triebe und bilden in erster Linie vegetative Triebe. GROOT et al. (1999) fanden nach einem Schnitt bei Gräsern verminderte Blattbildungsraten und geringere Blattmasse, woraus ein geringerer OM-Gehalt in den Folgeaufwüchsen resultierte. Die Folge einer Schnittnutzung ist daher auch ein relativer Rückgang der Gräser in einer gemischten Pflanzengesellschaft (GRUBER et al., 2000). Die Stoffwechsel-

vorgänge in der Pflanze werden ebenso durch Niederschläge, Temperatur und Sonnenscheindauer beeinflusst. Während sich Niederschlagsereignisse zunächst in einer Verringerung des TM-Gehaltes auswirken und zu einer relativen Erhöhung des Zellinhaltvolumens führen, wirkt sich die Sonnenscheindauer ursächlich in einer Ansammlung von Photosyntheseprodukten - löslichen Kohlenhydraten - in der Zelle aus. Die Temperatur wiederum hat einen entscheidenden Einfluss auf die Geschwindigkeit der Verstoffwechslung der Photosyntheseprodukte. Das bedeutet, dass Pflanzen unter dem Einfluss hoher Temperaturen einer schnelleren Alterung mit damit einhergehender höheren Lignifizierung unterliegen (FORD et al., 1979).

Das Vegetationsstadium sowie die klimatischen Verhältnisse zum Schnittzeitpunkt beeinflussen nicht nur den Gehalt an Zellwandbestandteilen, sondern auch das Rohprotein:energie-Verhältnis im Wiesenfutter (UNIVERSITÄT HOHENHEIM – DOKUMENTATIONSSTELLE, 1997; BUCHGRABER et al., 1998) sowie die ruminalen Abbauraten und die Abbaubarkeit der Stickstoff und Energie liefernden Substrate (STEG et al. 1994; SCHÄFER, 1996; CASSIDA et al., 2000). Dies bedeutet, dass sich die Zusammensetzung des Nährstoffangebotes aus dem Rauhfutter an die Pansenmikroorganismen während des Vegetationsverlaufs stark verändert.

## **2.8 Synchronismus**

### **2.8.1 Quantifizierung des Synchronismus**

Unter Synchronismus in Bezug auf die Stoffwechselfvorgänge im Pansen ist die zeitgleiche (synchrone) Freisetzung von N- und energieliefernden Substanzen in einem bestimmten Verhältnis zueinander zu verstehen. Diese synchrone ruminale Freisetzung von Energie und N-liefernden Substanzen wird schon lange als Möglichkeit zur Optimierung der Stoffwechselfvorgänge im Pansen und zur Erhöhung der Effizienz der eingesetzten Futtermittel teilweise sehr kontrovers diskutiert (SCHWARZ, 1967; RUSSELL et al., 1983; HERERA-SALDANA & HUBER, 1989; SCHÄFER, 1996; BLANK et al., 1998; KASWARI, 2004). Die Synchronisation des Abbaus von Kohlenhydraten und N-Verbindungen soll gewährleisten, dass die Pansenmikroorganismen jederzeit ausreichend mit Energie und N versorgt sind. SINCLAIR et al. (1993) etablierten zur Definition des zeitlichen Ablaufes der Fermentationsvorgänge von N- und energieliefernden Substanzen einen Synchronismusindex, der die Menge der abgebauten Kohlenhydrate bzw. die Menge der abgebauten OM

als Bezugsbasis für den ruminalen N-Abbau hat und aus Daten von *in situ*-Inkubationen abgeleitet ist. Als optimales Verhältnis wird 25 g N je kg fermentierter OM/h (CERKAWSKI, 1986) bzw. 32 g N je kg fermentierter Kohlenhydrate/h (SINCLAIR et al., 1993) angegeben. Der Synchronismusindex quantifiziert den Grad des synchronen Abbaus über einen Zeitraum von 24 h. Damit ist ein Vergleich von Futtermitteln oder Rationen anhand des Synchronismusindex grundsätzlich möglich. Um aber die Rationsgestaltung in Hinblick auf Synchronismus sinnvoll vornehmen zu können, muss der konkrete Zeitpunkt, wann ein relativer N-Überschuss bzw. Mangel besteht, genau bekannt sein. Daher ist zunächst eine Untersuchung der Einzelfuttermittel auf synchronen Abbau zu einzelnen Zeitintervallen nach Fütterung sinnvoll, ein Vergleich der unterschiedlichen Rationen mittels Synchronismusindex ist danach vorzunehmen.

## 2.8.2 Physiologische Aspekte einer Synchronisation der Freisetzung von N und Energie liefernden Substanzen im Pansen

Während SINCLAIR et al. (1993, 1995) in Versuchen mit asynchronen vs. synchronen Rationen bei den synchronen Rationen eine höhere mikrobielle Syntheseleistung nachweisen konnten, wurde bei *in vivo* Versuchen an pansen- und labmagenfistulierten Schafen von HENNING et al. (1993) lediglich bestätigt, dass eine gleichmäßige Freisetzung von Energie sich signifikant positiv auf den mikrobiellen Rohproteintrag auswirkte, eine synchrone Freisetzung von N und Energie im Pansen jedoch keinen Einfluss zeigte. Nach KELLER et al. (2002) hingegen lässt sich die mikrobielle Syntheseleistung durch eine synchrone Versorgung der Mikroorganismen mit Energie und N-Verbindungen verbessern (Tab. 2.1).

**Tabelle 2.1:** Auswirkung synchroner und asynchroner Rationen auf die mikrobielle Rohproteinsynthese im Pansen von Milchkühen (KELLER et al., 2002)

Rationstyp	Rationsgestaltung	Mikrobielles Rohprotein (g N/kg VOM <sup>1</sup> )
Maissilage <sup>2</sup>	Synchron	21,5
	Asynchron	14,6
Grassilage <sup>3</sup>	Synchron	21,4
	Asynchron	17,1

1 Verdauliche organische Masse

2 Synchron mit langsam fermentierbaren Konzentratfutter- (KF) Komponenten; Asynchron mit schnell fermentierbaren KF-Komponenten

3 Synchron mit schnell fermentierbaren KF-Komponenten; Asynchron mit langsam fermentierbaren KF-Komponenten

WEISBJERG et al. (1998) führten Versuche zum Einfluss des N-Angebots im Pansen auf den Abbau von Zellwandkohlenhydraten durch, indem sie Rationen mit einem hohen Defizit an ruminal verfügbarem Protein mit Harnstoff ergänzten. Das Resultat waren erhöhte NDF-Abbauraten.

RUSSELL et al. (1992) stellten eine mit der Abbaurate der Kohlenhydrate proportional zunehmende Wachstumsrate der Mikroorganismen fest, solange der benötigte Stickstoff in ausreichender Menge zur Verfügung stand. Aufgrund der Tatsache, dass praxisübliche Empfehlungen für die Rationszusammensetzung eine positive ruminale N-Bilanz von bis zu 50 g N/d aufweisen, untersuchten KLUTH et al. (2003) den Einfluss eines N-Überschusses im Pansen auf die Milchleistung. Anhand ihrer Ergebnisse kamen die Autoren zu dem Schluss, dass ein N-Überschuss in der Milchkuhfütterung grundsätzlich nicht notwendig ist, wenn die nXP-Versorgung bedarfsdeckend ist. Zu ähnlichem Ergebnis kamen KÖNIG et al. (2005), welche für Rationen mit einem zwischenzeitlichen leichten relativen N-Mangel keine signifikanten Unterschiede in Futteraufnahme, Milchmenge und -zusammensetzung im Vergleich zu Rationen mit ausgeglichener RNB nachwiesen. KASWARI (2004) untersuchte den Einfluss einer Synchronisation der Ration auf die mikrobielle Proteinsynthese und konnte keinen signifikanten Zusammenhang feststellen. Ebenfalls keine Effekte einer Synchronisation der Ration auf die mikrobielle Proteinsynthese fanden KIM et al. (1999). Dagegen konnten CHUMPAWADEE et al. (2006) nach Untersuchung von Rationen unterschiedlichen synchronen Abbaus steigende durchschnittliche Tageszunahmen bei Brahman-Rindern sowie ansteigende *in situ*-Verdaulichkeit von TM, OM, NDF und ADF mit zunehmendem Synchronismus der Ration feststellen. Außerdem verzeichneten die Autoren eine tendenziell größere Mikroorganismenpopulation im Pansen und bei den Rationen mit niedrigerem Synchronismusindex wurde aufgrund eines relativen N-Überschusses eine höhere Ammoniakkonzentration im Pansen, sowie höhere Harnstoffgehalte im Blut gemessen. Insofern ist eine synchrone Rationsgestaltung auch vor dem Hintergrund der Tiergesundheit und dem Bestreben, eine Belastung der Leber durch zu hohe Ammoniakgehalte zu vermeiden, zu sehen. HERRERA-SALDANA & HUBER (1989) konnten in einem Fütterungsversuch durch Rationen mit synchron- und schnellabbaubaren Konzentratfüttermitteln höhere Milchleistungen erzielen im Vergleich zu Rationen mit synchron- und langsam abbaubaren bzw. asynchronen Konzentratfüttermitteln. In einem Folgeversuch stellten die Autoren fest, dass die

Geschwindigkeit des Stärkeabbaus einen höheren Einfluss auf die Ausnutzung der Nährstoffe hat als die Abbaubarkeit des Proteins.

CABRITA et al. (2006) diskutierten in einer ausführlichen Übersichtsarbeit die Möglichkeiten, mittels unterschiedlicher Fütterungsstrategien synchrone Verhältnisse im Pansen zu erreichen, und wägen anhand der zitierten Literatur den möglichen Nutzen einer Synchronisation von Wiederkäuerrationen ab. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass aufgrund des bisherigen Kenntnisstandes der Vorteil einer Synchronisation von N- und Energie-Angebot im Pansen bezüglich Erhöhung der Effizienz der mikrobiellen Proteinsynthese und Maximierung der Milchleistung widersprüchlich bewertet werden muss. Eine weitere ausführliche Auflistung von Versuchen zum Synchronismus findet sich in der Dissertation von KASWARI (2004), auf die an dieser Stelle verwiesen sei.

### **2.8.3 Synchronismus und Rationsgestaltung - ökologische Aspekte**

Verschiedene Untersuchungen beschäftigten sich in der Vergangenheit mit der Möglichkeit, die von der Milchviehhaltung ausgehenden negativen Einflüsse auf die Umwelt zu quantifizieren (BØRSTING et al., 2003; AUERSWALD et al., 2005) und zu minimieren (KUIPERS & MANDERSLOOT, 1999; TAMMINGA, 2003). BØRSTING et al. (2003) untersuchten Faktoren, welche die N-Flüsse und den N-Überschuss in der N-Bilanz eines landwirtschaftlichen Betriebes beeinflussen. Demnach sind tierische N-Ausscheidungen eine wichtige Einflussgröße auf den N-Turnover eines Betriebes. Eine Studie zu den  $\text{NH}_3$ -Verlusten von landwirtschaftliche Betrieben von AUERSWALD et al. (2005) belegte, dass das Ausmaß der Verluste zu zwei Drittel mit der Intensität der Tierhaltung positiv korreliert ist und die betriebsspezifischen Gegebenheiten wie z. B. Haltungsform und damit auch die Fütterung zu einem Drittel für die Variation der Verluste verantwortlich sind. Negative Auswirkungen eines hohen N-Überschusses in der intensiven Tierhaltung sind zum einen gasförmige Verluste von  $\text{NH}_3$  während der Güllelagerung und -ausbringung, zum anderen die Auswaschung von Nitrat ins Grundwasser oder die Emission von  $\text{N}_2\text{O}$  nach Gölledüngung (LEICK, 2003; LAMPE et al. 2006). Der Problematik des N-Überschusses kann unter anderem durch eine Optimierung der Ration begegnet werden (TAMMINGA, 2003), da eine optimale Ausnutzung des Futter-Stickstoffs die N-Ausscheidung durch die Wiederkäuer reduziert und damit einen wesentlichen ökologischen Aspekt hat (ROTZ et al., 1999). Gehalt und Abbaubarkeit des RP in der Ration haben zwar keinen Einfluss auf den N-Gehalt im Kot, wohl aber auf den N-Gehalt im Harn

(CASTILLO et al., 2001). TAMMINGA (1996) forderte ein umweltverträgliches Management der Wiederkäuerrationsgestaltung durch verstärkte Beachtung einer ausgeglichenen ruminalen N-Bilanz und damit Verringerung der N-Verluste mit dem Harn. Als eine weitere Möglichkeit, die N-Ausscheidungen von Rindern zu verringern, wird die optimale Ausnutzung des Futter-N durch Synchronisation des Abbaus von N- und energieliefernden Substanzen im Pansen vorgeschlagen (TAMMINGA, 1996).

### **3 Material und Methoden**

#### **3.1 Der Vegetationsversuch des Instituts für Nutztierforschung der HBLFA Raumberg-Gumpenstein**

##### **Versuchsanlage**

Dauergrünland mit einem homogenen Pflanzenbestand wurde in drei Abschnitte geteilt, um den Vegetationsverlauf des Wiesenfutters in drei Aufwüchsen verfolgen zu können. Die botanische Zusammensetzung der Grünlandaufwüchse über alle Versuchsjahre bestand durchschnittlich zu folgenden Anteilen aus

Gräsern	52 %
Leguminosen	20 %
Kräutern	28 %

Eine detaillierte Beschreibung der botanischen Zusammensetzung des Pflanzenbestandes findet sich im Anhang in den Tabellen 7.1 und 7.2.

Jeder Aufwuchs wurde von „Beginn der Weidereife“ (etwa 4 Wochen Aufwuchsdauer) bis zum Stadium „überständig“ für die Dauer von sieben Wochen geerntet und in frischem Zustand für die Versuche herangezogen. Die Wiese wurde im Herbst mit 13 m<sup>3</sup>/ha Gülle (korrigiert auf 10 % Trockenmasse, 4,48 g N/kg) gedüngt, zum 2. und 3. Aufwuchs wurden jeweils 54 kg N/ha (200 kg Kalkammonsalpeter (NAC)) verabreicht. Eine möglichst homogene Zusammensetzung des Pflanzenbestandes wurde durch Nachsaat mit einer Dauerwiesensaatgutmischung im Frühjahr erreicht. Um klimatisch bedingte Unterschiede im Vegetationsverlauf zwischen den Jahren zu berücksichtigen, wurde der Versuch insgesamt über drei Jahre (2000 - 2002) durchgeführt. Durch Extremwitterung (Hagel, Überschwemmungen) bedingte Ausfälle einzelner Aufwüchse in den Jahren 2000 und 2002 wurden durch erneute Beerntung der Versuchsflächen im Jahre 2003 wettgemacht.

**Tabelle 3.1:** Versuchsplan für die Erntetermine

1. Aufwuchs				2. Aufwuchs				3. Aufwuchs						
Versuchsfütterung 1. Aufwuchs				1. Schnitt: 4. Maiwoche  Versuchsfütterung 2. Aufwuchs				1. Schnitt: 4. Maiwoche  2. Schnitt: 4. Juliwoche  Versuchsfütterung 3. Aufwuchs						
Mai		Juni												
2	3	4	1	2	3	4	Juli		August					
				1	2	3	4	1	2	3	A*			
								4	September			Okt*		
									1	2	3	4	1	2

\* August, Oktober

Aus diesem Versuchsaufbau ergaben sich 21 Erntetermine je Versuchsjahr.

Die Ernte erfolgte mit einem Frontmäherwerk (Pöttinger) mit einer eingestellten Schnitthöhe von 6 cm.

Einen Überblick über die beprobten Aufwüchse gibt Tabelle 3.2.

**Tabelle 3.2:** Beprobte (X) Aufwüchse des Vegetationsversuches

Jahr	1. Aufwuchs	2. Aufwuchs	3. Aufwuchs
2000	X	verhagelt	X
2001	X	X	X
2002	X	X	überschwemmt
2003		X	X

### Fütterungsversuch mit Kühen in der HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Das Wiesenfutter wurde täglich frisch geerntet und an 15 Milchkühe verfüttert. Die Grundfütterration bestand zu 75 % aus dem Grünfutter (= Testfutter), die Energie- und Strukturergänzung erfolgte mit 10 % Heu und 15 % Maissilage (TM-Basis). Der Versuchsplan sah deshalb außerdem zwei Konzentratfütterungsniveaus (25 % und 50 % der Gesamtration auf

TM-Basis) bei zwei unterschiedlichen ruminalen Abbauraten der Nährstoffe (schnell fermentierbar und langsam fermentierbar) im Konzentratfutter in einem zweifaktoriellen Ansatz vor. Die Komponenten der beiden Konzentratfuttermittel sind in Tabelle 2.3 dargestellt.

**Tabelle 3.3:** Komponenten der Konzentratfuttermittel (KF)

KFL <sup>1</sup>	KFS <sup>2</sup>
45 % Mais	25 % Gerste
30 % Sorghum (Hirse)	25 % Weizen
10 % Sojaschalen	25 % Roggen
10 % Trockenschnitzel	25 % Hafer
5 % Weizenkleie	

<sup>1</sup> Konzentratfutter, langsam fermentierbar

<sup>2</sup> Konzentratfutter, schnell fermentierbar

Das Konzentratfutter wurde in der Mahl- und Mischanlage des Versuchsbetriebes der HBLFA hergestellt und unpelletiert verfüttert.

Tabelle 3.4 zeigt die Zusammensetzung der untersuchten Rationen.

**Tabelle 3.4:** Zusammensetzung der Rationen (TM-Basis)

Kraftfutterart	S		L	
	25 %	50 %	25 %	50 %
Grundfutter (Wiesenfutter 75 %, Maissilage 15 %, Heu 10 %)	<b>KFS25<sup>1</sup></b>	<b>KFS50<sup>2</sup></b>	<b>KFL25<sup>3</sup></b>	<b>KFL50<sup>4</sup></b>

<sup>1</sup> Ration, bestehend aus 75 % Grundfutter und 25 % schnell fermentierbarem KF

<sup>2</sup> Ration, bestehend aus 50 % Grundfutter und 50 % schnell fermentierbarem KF

<sup>3</sup> Ration, bestehend aus 75 % Grundfutter und 25 % langsam fermentierbarem KF

<sup>4</sup> Ration, bestehend aus 50 % Grundfutter und 50 % langsam fermentierbarem KF

## **3.2 Eigene Untersuchungen**

Repräsentative Stichproben der in Österreich gefütterten Grünlandaufwüchse sowie der Rationsergänzungskomponenten Heu, Maissilage und Konzentratfuttermittel wurden mittels der *in situ*-Methode auf die ruminale Abbaukinetik der Stofffraktionen untersucht. Nicht zuzuordnende und aufgrund einer zu geringen Menge von verfügbarem Probenmaterial nicht reproduzierbare TM-Gehalte der Futtermittel machten die Auswertung der Ergebnisse des 1. Aufwuchses 2000 sowie des 3. Aufwuchses 2000 unmöglich.

### **3.2.1 *In situ*-Methode**

Die Untersuchungen der Abbaukinetik der Futtermittel wurden nach dem nachstehenden Standardprotokoll durchgeführt, wie es im Institut für Tierernährung und Stoffwechselphysiologie der Universität Kiel zur Ermittlung des ruminalen Rohprotein- und Kohlenhydratabbaus verwendet wird.

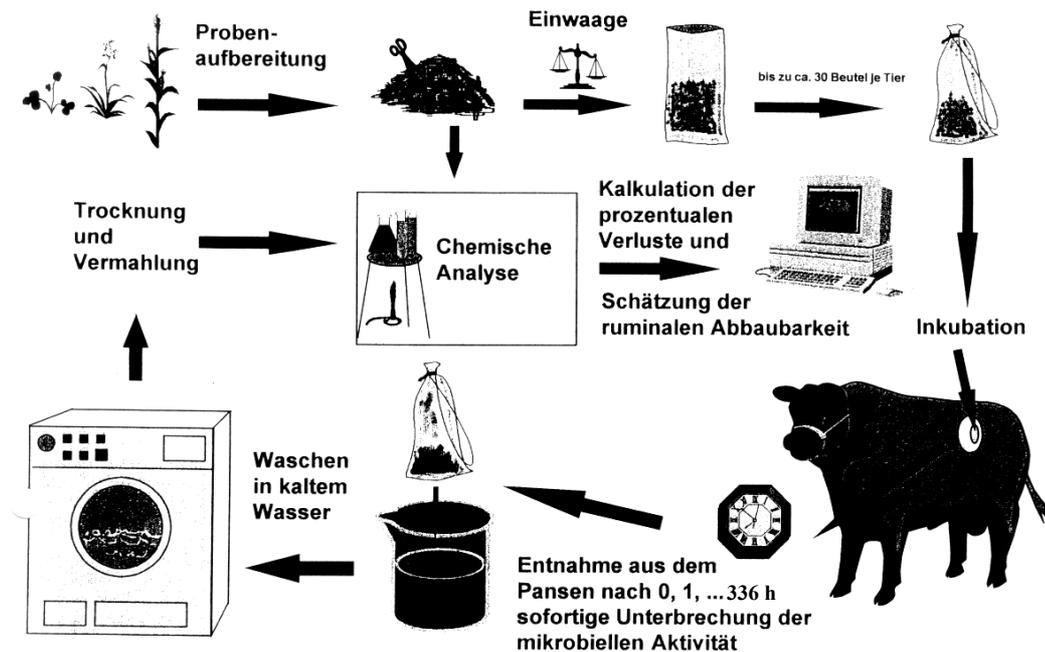
#### **Tiere**

Jedes Futtermittel wurde an drei ausgewachsenen Ochsen mit großlumigen Pansenfisteln geprüft. Das durchschnittliche Lebendgewicht der Tiere während des Versuches betrug  $975 \pm 58$  kg. Die Haltung der Ochsen erfolgte auf Gummimatten in Einzelanbindung. Wasser stand den Tieren über Selbsttränken zur freien Verfügung. Die Adaptation der Pansenmikroorganismen an die Ration erfolgte über zwei Wochen vor Inkubationsbeginn.

#### **Grundration**

Die Ration der Ochsen während des Inkubationsversuches bestand zu zwei Dritteln aus Grobfutter (Grassilage) und zu einem Drittel aus einem möglichst vielfältig zusammengesetzten Konzentratfutter (TM-Basis). Das Ernährungsniveau entsprach etwa dem 1,2-fachen energetischen Erhaltungsbedarf. Die Futtevorlage erfolgte zweimal täglich um 7.00 und 19.00 Uhr.

Als Grundfutter diente eine Ballensilage des 2. Schnittes aus Deutschem Weidelgras.



**Abbildung 3.1:** Bestimmung der ruminalen Abbaubarkeit durch die *in situ*-Methode

### Probenvorbehandlung

Das gefrorene Frischmaterial (Grünlandaufwüchse, Heu und Maissilage) wurde in einem Fleischereicutter zerkleinert. Dieser Vorgang diente der Simulation des Kauvorganges, wobei die Struktur des zerkleinerten Materials nach dem Cuttern einem durch Kauen gequetschten und zerkleinertem Futterbissen ähnlich war (BARRELL et al., 2000).

Die Dauer der Behandlung richtete sich nach der Struktur des Frischmaterials und wurde nach Augenmaß festgelegt. Die Konzentratfuttermittel wurden ohne weitere Vorbehandlung inkubiert.

Die Inkubation erfolgte in Nylonbeuteln (Firma Ankom Technology, Macedon, NY, USA; R1020 für die Grobfuttermittel, R510 für die Konzentratfuttermittel) mit einer Porengröße von  $50 \pm 15 \mu\text{m}$ . Die leeren Beutel wurden zur Entfernung von Rückständen in einer handelsüblichen Waschmaschine (Firma Cordes, Uelzen) bei  $60^\circ\text{C}$  (Standardprogramm) gewaschen. Anschließend erfolgte die Trocknung im Trockenschrank bei  $60^\circ\text{C}$ .

### Einwaage in die Beutel

Gefrorenes und gecuttertes Frischmaterial wurde entsprechend einer Menge von etwa 4 g TM bzw. 1,5 g (Grobfuttermittel bzw. Konzentratfuttermittel) eingewogen. Dies entspricht einem Verhältnis der TM-Einwaage zur Beuteloberfläche von durchschnittlich

12,5 mg TM/cm<sup>2</sup>. Die Beutel wurden mit Kabelbindern verschlossen und an einem 800 g schweren zylindrischen Gewicht (Durchmesser 9 cm) befestigt.

### **Inkubation**

Jede Variante des Probenmaterials wurde mit jeweils an die Dauer der Inkubation angepassten Wiederholungen in drei Ochsen inkubiert. Die Inkubationszeiten betragen 0, 2, 4, 6, 8, 16, 24, 48, 72 und 336 h. Einen Überblick über die Beutelanzahl je Inkubationszeit gibt Tabelle 3.5.

**Tabelle 3.5:** Beutelanzahl je Inkubationszeit

Inkubationsdauer	0 h	2 h	4 h	6 h	8 h	16 h	24 h	48 h	72 h	336 h
Beutelanzahl	2	2	2	3	4	4	4	6	6	6

Inkubationsbeginn war stets vor der Fütterung. Vor Beginn der Inkubation wurden die tiefgefrorenen Beutel für 15 min in 40 °C warmem Wasser aufgetaut, um eine Verzögerung des Fermentationsprozesses und eine Verlängerung der Lag-Phase zu vermeiden. Die Gewichte wurden in den ventralen Pansensack gelegt. Bei den kurzen Inkubationszeiten (2, 4, 6 und 8 h) waren die Gewichte mittels einer ca. 80 cm langen Nylon-Schnur an dem Fistelverschluss fixiert. Die Schnur ermöglichte eine schnelle Wiederfindung des Gewichtes zur Beutelentnahme und damit eine exaktere Terminierung der Inkubationszeiten. Bei den längeren Inkubationszeiten (16, 24, 48, 72 und 336 h) wurden die Gewichte mit den Beuteln ohne Schnur im Pansen inkubiert. Nach Entnahme der Beutel aus dem Pansen erfolgte die sofortige Unterbrechung der mikrobiellen Aktivität durch Eintauchen der Beutel in Eiswasser.

### **Waschvorgang und Rückwaage**

Nach dem Eiswasserbad wurden anhaftende Futterpartikel unter fließendem, kaltem Wasser von den Beuteln entfernt. Die Beutel wurden in einer handelsüblichen Waschmaschine (Firma Cordes, Uelzen) im Kaltwaschgang (Standardprogramm ohne Schleudern) für 35 min gewaschen und anschließend bei -18°C eingefroren. Die tiefgefrorenen Beutel wurden gefriergetrocknet (Gefriertrocknungsanlage Fa. Vitris/Sentry) und zurückgewogen. Die 0 h-Beutel wurden nicht im Pansen inkubiert, ansonsten aber wie alle anderen Beutel behandelt.

### **3.2.2 Analysen und Kalkulationen**

#### **3.2.2.1 Analysen**

##### **Trockenmasse (TM)**

Die Bestimmung der Trockenmasse erfolgte an dem gecutterten und eingefrorenen Frischmaterial mittels Gefriertrocknung. Zur weiteren Analyse wurde das Probenmaterial der Futtermittel durch ein 1mm Sieb einer Tecator Cyclotec 1093 Mühle vermahlen.

Die Restfeuchtebestimmung der Grünlandaufwüchse und Maissilagen erfolgte ebenso wie die TM-Bestimmung der Heu- und KF-Proben durch Trocknen über Nacht bei 105°C.

##### **Rohasche und organische Masse (OM)**

Der Gehalt an Rohasche wurde durch Veraschen der Futtermittelproben im Muffelofen über Nacht bei 550°C und anschließender Rückwaage aus der Differenz als prozentualer Anteil an der TM berechnet. Der Gehalt an OM (%) ergab sich nach der Gleichung:

$$\text{OM (\%)} = 100 - \text{Rohasche (\%)}$$

##### **Rohprotein (RP)**

Die Analyse auf Rohprotein erfolgte nach Kjeldahl und alternativ nach Dumas (VDLUFA, 2004).

##### **Strukturkohlenhydratfraktionen**

Die Analyse der Neutral-Detergenzienfaser (NDF) und Säure-Detergenzienfaser (ADF) erfolgte in Anlehnung an GOERING & VAN SOEST (1970) sequentiell in einem Fiber Analyzer der Firma ANKOM ( Ser.No.1009434 A) in F57 Filter Bags (Porosität 25 µm). Die Bestimmung des Säure-Detergenzienlignins (ADL) erfolgte gemäß der VDLUFA-Verbandsvorschrift nach GOERING & VAN SOEST (1970). Die Gehalte an Hemizellulose (HEM) wurden aus der Differenz zwischen den analysierten NDF- und ADF-Gehalten berechnet, die Gehalte an Zellulose errechneten sich aus der Differenz zwischen den analysierten ADF- und ADL-Gehalten.

Der Lignifizierungsindex auf Basis NDF (LI) sowie auf Basis ADF zur Quantifizierung des Ausmaßes der Lignifizierung der Zellwände wurde in Anlehnung an VAN SOEST (1982) nach folgender Formel berechnet:

$$LI (\%) = (ADL (\% \text{ der TM}) / NDF (\% \text{ der TM})) * 100$$

$$LI (\%) = (ADL (\% \text{ der TM}) / ADF (\% \text{ der TM})) * 100$$

### **Wasserlösliche Fraktion**

Für die Bestimmung der wasserlöslichen Fraktion (WLF) der Futtermittel wurden in einer Dreifachbestimmung jeweils 25 g des Probenmaterials in 800 ml Bechergläser eingewogen, mit 250 ml destilliertem Wasser (ca. 40 °C) aufgefüllt und entsprechend der Auftauzeit der Beutel vor Inkubationsbeginn im Ochsenschuh 15 min bei gelegentlichem Umrühren stehen gelassen. Anschließend erfolgte die Filtration durch einen bei 105 °C getrockneten, gewogenen Faltenfilter (No. 595 <sup>1/2</sup>; Ø 270 mm, Schleicher & Schüll, Dassel, Deutschland). Nach Gefriertrocknung des Filters wurde nach Rückwaage aus der Differenz die wasserunlösliche Fraktion der TM berechnet. Zur weiteren Analyse wurde der Rückstand im Filter mit einer Tecator Cyclotec 1093 Mühle durch ein 1mm-Sieb vermahlen. Der prozentuale Anteil der wasserlöslichen Fraktion der untersuchten Stoffgruppe berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$y = (1 - (X_F / X_R)) \times 100$$

mit

y = prozentualer Anteil der wasserlöslichen Fraktion der untersuchten Stoffgruppe x

x<sub>F</sub> = Gehalt der untersuchten Stoffgruppe x in g/kg TM im Futtermittel

x<sub>R</sub> = Gehalt der untersuchten Stoffgruppe x in g/kg TM in der wasserunlöslichen Fraktion

Die Verluste an kleinen Partikeln (SP) wurden aus der Differenz der Verluste aus den 0 h-Beuteln und der wasserlöslichen Fraktion errechnet.

### **Rohproteinfraktionierung**

Die Rohproteinfraktionierung erfolgte nach dem von LICITRA et al. (1996) beschriebenen Verfahren in Anlehnung an das Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) (Tabelle 3.6).

**Tabelle 3.6:** Rohproteinfraktionen von Futtermitteln nach dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System (nach LICITRA et al., 1996)

Fraktion	Rohproteinfraktion	Abbaubarkeit	Bestimmung
A	NPN (Nicht-Protein-N)	sofort	löslich in Natrium-Wolfframat-Lösung
B1	Reinprotein	schnell	löslich in Borat-Phosphat-Puffer
B2	Reinprotein	mittel	Differenz zwischen (A + B1) und nicht in ND <sup>a</sup> löslichem Protein
B3	Zellwandgebundenes Protein	mittel bis langsam	löslich in ND, aber nicht in AD <sup>b</sup>
C	nicht abbaubares Protein, lignin-assoziiertes Protein	unverdaulich	in AD unlösliches Protein

<sup>a</sup> ND, neutrales Detergenz

<sup>b</sup> AD, saures Detergenz

### Analyse der Residuen

Die Analyse der Residuen auf ihre Stoffgruppen erfolgte nach Vermahlung des Materials durch ein 1mm Sieb analog zu der Analyse der Futtermittel.

Die Residuen wurden auf ihre Gehalte an TM, OM, RP, NDF und ADF analysiert.

#### 3.2.2.2 Kalkulationen

##### Verluste aus den Beuteln

Die Verluste an TM aus den Beuteln ergaben sich aus der Differenz der eingewogenen TM-Menge abzüglich der in den Beuteln verbliebenen Menge an TM. Aus den Analysewerten der Futtermittel und Residuen nach Inkubation wurden die prozentualen Verluste der Stoffgruppen aus den Nylonbeuteln berechnet.

Die ermittelten Einzelwerte für den Verlust an TM, OM, RP, NDF und ADF aus den Beuteln über die verschiedenen Inkubationszeiten wurden um den Anteil der kleinen Partikel (SP) nach folgender Gleichung (WEISBJERG et al., 1990) korrigiert:

$$CDI_i = DI_i - SP (1 - ((DI_i - (SP + WS))/(1 - (SP + WS))))).$$

mit

CDI<sub>i</sub> = um den Verlust an kleinen Partikel korrigierter prozentualer Verlust der Stoffgruppe i,

DI<sub>i</sub> = unkorrigierter Verlust der Stoffgruppe i,

SP = Anteil der kleinen Partikel,

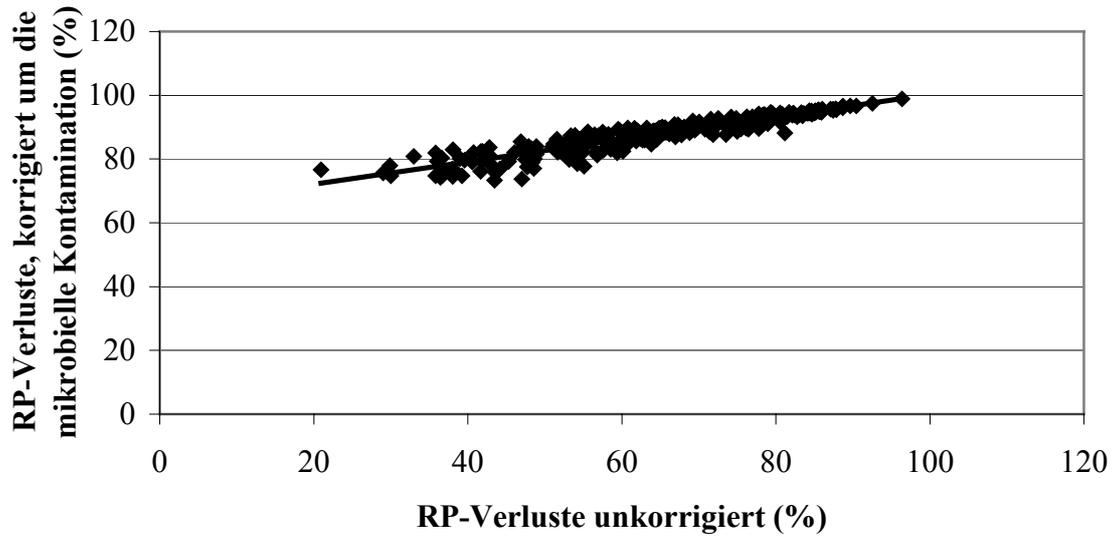
WS = Anteil der wasserlöslichen Fraktion

### **Korrektur der Rohprotein-Verluste um die mikrobielle Kontamination der Residuen**

Die Korrektur der RP-Verluste um die mikrobielle Kontamination der Residuen erfolgte für die Grünlandaufwüchse nach der von MASS et al. (1999) vorgeschlagenen Vorgehensweise. An den Residuen der Inkubationszeiten 16, 24, 48, 72 und 336 h von 7 Ernteterminen des 1. Aufwuchses und 7 Ernteterminen des 2. Aufwuchses sowie an den Residuen der Inkubationszeiten 16 h und 24 h von 7 Ernteterminen des 3. Aufwuchses erfolgte eine Analyse auf NDF-assoziiertes Rohprotein, wozu aus dem NDF-Rückstand der RP-Gehalt mittels der Veraschungsmethode nach Dumas (VDLUFA, 2004) bestimmt wurde. Danach erfolgte die Korrektur des Rohproteinabbaus um das mikrobielle Protein in den Residuen nach folgender Gleichung:

$$UDP_{(Izeit \geq 16h)} = \textit{in situ} RP_{(Izeit \geq 16h)} - \text{mikrobielles RP},$$

wobei UDP (undegraded dietary protein) der nicht abgebaute Anteil des aufgenommenen Futterproteins in den Residuen ist, der durch das NDF-assoziierte Rohprotein repräsentiert ist. Anhand der korrigierten RP-Verluste der ausgewählten Futtermittel wurde eine Regressionsgleichung zur Schätzung der um die mikrobielle Kontamination korrigierten *in situ* RP-Verluste für die Wiesenschnitte ermittelt (Abb. 3.2).



**Abbildung 3.2:** Lineare Beziehung zwischen nicht korrigierten und um die mikrobielle Kontamination korrigierten Werten des Rohprotein-(RP-)Abbaus der Wiesenaufwüchse

Die Korrektur der RP-Verluste aller Wiesenschnitte nach einer Inkubationszeit von  $\geq 16$  h erfolgte anhand der Gleichung:

$$y = 0,35106x + 65,08986, \quad \text{mit } R^2 = 0,934$$

mit

$y$  = um die mikrobielle Kontamination korrigierte RP-Verluste,

$x$  = RP-Verluste aus den Beuteln ohne Korrektur um die mikrobielle Kontamination.

Eine Analyse auf NDF-assoziiertes Rohprotein erfolgte analog an den Residuen der Inkubationszeiten 16, 24, 48, 72 und 336 h von 2 Heu- und 2 Maissilagevarianten sowie an den Residuen der Inkubationszeiten 16 h und 24 h von jeweils einem Heu und einer Maissilage. Die Korrektur der Heu- und Maissilageproben um die mikrobielle Kontamination wurde jeweils nach einer separaten Korrekturgleichung vorgenommen, die aus den Korrelationen der unkorrigierten Heu- bzw. Maissilageproben mit den korrigierten Heu- bzw. Maissilageproben abgeleitet wurde:

Für Heu:  $y = 0,3693x + 58.787,$  mit  $R^2 = 0,74$

Für Maissilage:  $y = 0,1819x + 73.928,$  mit  $R^2 = 0,59$

mit

$y$  = um die mikrobielle Kontamination korrigierte RP-Verluste,

$x$  = RP-Verluste aus den Beuteln ohne Korrektur um die mikrobielle Kontamination.

### **Kalkulation des ruminalen Abbaus der Stoffgruppen**

Der prozentuale Verlust an TM, OM, RP, NDF und ADF aus den Beuteln nach Korrektur um den Anteil an kleinen Partikeln (SP) wurden mit Hilfe der Methode "Marquardt" der NLIN-Prozedur von SAS (1999) durch iterative Verfahren an nachstehende Funktionen angepasst (siehe ØRSKOV, 2000).

$$p_t = a + b (1 - e^{-c \times (t - \text{lag})}) \text{ für } t > \text{lag}$$

Dabei entspricht  $p$  dem prozentualen Verlust der untersuchten Stoffgruppe zum Zeitpunkt (Inkubationszeit)  $t$ ;  $a$ ,  $b$  und  $c$  sind Schätzwerte für die verschiedenen Fraktionen der jeweiligen Stoffgruppe, welche von der NLIN-Prozedur geschätzt werden. Der Parameter  $a$  entspricht dem Anteil der sofort löslichen Fraktion,  $b$  entspricht dem Anteil der unlöslichen, potentiell abbaubaren Fraktion und  $c$  schätzt die Abbaurate der unlöslichen potentiell abbaubaren Fraktion ( $b$ ) der untersuchten Stoffgruppe. „lag“ steht für die geschätzte Verzögerungszeit (in h), bis der Abbau der untersuchten Stofffraktion beginnt. Die potentielle Abbaubarkeit  $d$  wird aus der Summe ( $a + b$ ) berechnet.

Für die Kalkulation der Abbauparameter des RP wurden die Inkubationszeiten 0, 2, 16, 24, 48, 72 und 336 h berücksichtigt, wobei die prozentualen RP-Verluste ab einer Inkubationszeit von 16 h um die mikrobielle Kontamination der Residuen korrigiert waren.

### **Kalkulation des effektiven Abbaus der Stoffgruppen**

Weiterhin wurde anhand der geschätzten Parameter der effektive Abbau der Trockenmasse (ETM), der organischen Masse (EOM), des Rohproteins (ERP), der NDF und der ADF (ENDF bzw. EADF) nach folgender Gleichung von MCDONALD (1981, modifiziert) geschätzt:

$$E_s = a + [b \cdot c / (c + k)] \times e^{-k \times \text{lag}}$$

Dabei stellt  $E_s$  den effektiven Abbau der Stoffgruppe  $s$  in % und  $k$  die Passagerate aus dem Pansen/h dar.

Die Passageraten ( $k$ ) von 2, 5, und 8 %/h aus dem Pansen wurden nach Empfehlungen des ARC (1984), entsprechend einer geringen, mittleren und hohen Futteraufnahme angenommen.

### **UDP-Anteil**

Die Anteile des UDP (undegraded dietary protein) bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (g/kg RP) errechnen sich nach der Gleichung:

$$1000 - ERP2(5, 8) = UDP2(5, 8)$$

mit

$ERP2(5, 8)$  = effektiv abgebautes RP bei einer angenommenen Passagerate von  
2 (5, 8) %/h

$UDP2(5, 8)$  = nicht abgebautes RP bei einer angenommenen Passagerate von 2 (5, 8) %/h

### **Schätzung des UDP-Anteils der Futtermittel anhand der chemischen Fraktionierung des Rohproteins in Anlehnung an das Cornell Net Carbohydrate and Protein System**

Bezugnehmend auf EISNER (2004), welcher keine plausible UDP-Schätzung für Grünfütter anhand einer von SHANNAK et al. (2000) erstellten Regressionsformel beobachtet hat, wurde mittels der reg-Prozedur (proc reg/ selection = stepwise) (SAS, 1999) zur Entwicklung eines Regressionsmodells zur Schätzung der *in situ* UDP-Gehalte von Grundfuttermitteln anhand der chemischen Fraktionierung der Stoffgruppen für die Wiesenaufwüchse, die Heuvarianten und die Maissilagen eine multiple lineare Regressionsanalyse vorgenommen. Die Variablen wurden mit einem Signifikanzniveau von  $p < 0,10$  in das Modell integriert.

### **Berechnungen zum Synchronismus**

Zur Beschreibung des Ausmaßes der zeitlichen Übereinstimmung hinsichtlich Menge und Geschwindigkeit des Abbaus von N und Energie liefernden Substanzen, also synchroner Verhältnisse beim ruminalen Abbau sowohl der Einzelfuttermittel als auch der Rationen, wurde die durchschnittlich stündliche Freisetzung von N je kg fermentierter OM in den

Zeitintervallen 0 - 2, 2 - 10 und 10 - 16 h nach Inkubationsbeginn berechnet.

Außerdem wurde für jedes Futtermittel und jede Ration ein Synchronismusindex (SI) berechnet. Die für die Berechnung des Indexes benötigten Werte der stündlichen Freisetzung von N und OM bis 24 h nach Inkubationsbeginn wurden anhand der kalkulierten Abbauparameter a, b, c und lag mittels oben stehender Gleichung der NLIN Prozedur von SAS für jedes untersuchte Futtermittel berechnet.

Die Berechnung des SI erfolgte nach der Gleichung von SINCLAIR et al. (1993):

$$SI = \frac{25 - \sqrt{\frac{\sum_{1-24} (25 - (g\ N/h)/(kg\ OM/h))^2}{24}}}{25}$$

### Statistische Methoden

Mit der GLM-Prozedur von SAS (1988) wurde an dem gewonnenen Zahlenmaterial der Schätzparameter a, b, c, d und lag, des effektiven Abbaus der TM, OM, RP, NDF und ADF bei Passageraten von 2, 5, und 8 %/h und dem durchschnittlich stündlich freigesetzten g N je kg fermentierter OM in den Zeitintervallen 0 - 2, 2 - 10 und 10 - 16 h nach Inkubationsbeginn eine Varianzanalyse durchgeführt. Ebenso wurde der Einfluss des Jahres, der Aufwuchsnummer und der Schnittwoche auf die Rohproteinfraktionen A, B1, B2, B3 und C untersucht. Dabei kam folgendes Modell zur Anwendung:

$$Y_{ijk} = \mu + \text{Jahr}_i + \text{AUFW}_j + \text{WO}_k + (\text{AUFW} \times \text{WO})_{jk} + e_{ijk}$$

wobei

$\mu$	= Intercept
$Y_{ijk}$	= Beobachtungswert;
$\text{Jahr}_i$	= fixer Effekt des Jahres i, I = 1-3;
$\text{AUFW}_j$	= fixer Effekt des Aufwuchses j, j = 1 - 3;
$\text{WO}_k$	= fixer Effekt des Schnittzeitpunktes k, k = 1 - 7;
$(\text{AUFW} \times \text{WO})_{jk}$	= Interaktion von Aufwuchs j und Schnittzeitpunkt k;
$e_{ijk}$	= Restfehler des Modells

Die SI sowie die Mengen an durchschnittlich stündlich freigesetztem N je kg fermentierter

OM in den drei Zeitintervallen nach Inkubationsbeginn wurden für die Rationen nach folgendem Modell statistisch verrechnet:

$$Y_{ijklm} = \mu + \text{Jahr}_i + \text{AUFW}_j + \text{WO}_k + (\text{AUFW} \times \text{WO})_{jk} + \text{KF-Art} + \text{KF-Menge} + (\text{KF-Art} \times \text{KF-Menge}) + e_{ijklm}$$

wobei

$\mu$	= Intercept
$Y_{ijklm}$	= Beobachtungswert;
$\text{Jahr}_i$	= fixer Effekt des Jahres $i$ , $I = 1 - 3$ ;
$\text{AUFW}_j$	= fixer Effekt des Aufwuchses $j$ , $j = 1 - 3$ ;
$\text{WO}_k$	= fixer Effekt des Schnittzeitpunktes $k$ , $k = 1 - 7$ ;
$\text{AUFW} \times \text{WO}_{jk}$	= Interaktion von Aufwuchs $j$ und Schnittzeitpunkt $k$ ;
$\text{KF-Art}_l$	= fixer Effekt der Kraftfutterart $l$ , $l = 1 - 2$ ;
$\text{KF-Menge}_m$	= fixer Effekt der Kraftfuttermenge $m$ , $m = 1 - 2$ ;
$\text{KF-Art} \times \text{KF-Menge}_{lm}$	= Interaktion von Kraftfutter Art $l$ und Kraftfutter Menge $m$
$e_{ijk}$	= Restfehler des Modells

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Inhaltsstoffe der untersuchten Futtermittel

Die Inhaltsstoffe der untersuchten Grünfütter sind in Tabelle 4.1.1 dargestellt, wobei es sich um die Mittelwerte von 2 bzw. 3 Versuchsjahren handelt.

Die TM-Gehalte stiegen mit zunehmendem Alter der Aufwüchse von der ersten bis zur 7. Woche an, wobei die TM-Gehalte im ersten Aufwuchs höher waren (17,0 - 23,2 %) als die der Folgeaufwüchse (13,2 - 19,1 %).

Der mittlere Aschegehalt des ersten Aufwuchses lag geringfügig aber signifikant niedriger (7,9 %) als bei den Folgeaufwüchsen (10,0 und 9,9 %).

Der RP-Gehalt nahm in allen drei Aufwüchsen mit zunehmendem Pflanzenalter ab, allerdings stieg der durchschnittliche RP-Gehalt der Aufwüchse mit jedem Aufwuchs an und lag beim ersten Aufwuchs bei 13,4 %, beim zweiten Aufwuchs bei 15,3 % und beim dritten Aufwuchs bei 16,9 %.

Die NDF-Gehalte nahmen in den ersten beiden Aufwüchsen mit zunehmendem Pflanzenalter zu, wobei die deutlichste Zunahme im ersten Aufwuchs mit 47,3 % in der ersten bis auf 59,6 % in der 7. Versuchswoche beobachtet wurde. Der NDF-Gehalt des dritten Aufwuchses schwankte zwischen 50,6 und 54,0 % und zeigt keine eindeutige Zunahme mit zunehmendem Pflanzenalter. Die durchschnittlichen NDF-Gehalte der Aufwüchse zeigten eine Abnahme vom ersten Aufwuchs (55,1 %) bis zum dritten Aufwuchs (51,6 %).

Auch die ADF-Gehalte stiegen in den ersten beiden Aufwüchsen mit zunehmendem Pflanzenalter an. Die deutlichere Zunahme im ADF-Gehalt zeigte der erste Aufwuchs (von 21,3 bis 33,4 %) im Vergleich zum zweiten Aufwuchs (25,1 - 31,5 %). Im dritten Aufwuchs konnte eine Zunahme des ADF-Gehaltes erst zwischen der dritten und vierten Versuchswoche (von 25,6 auf 28,4 %) beobachtet werden.

Die ADL-Gehalte lagen über alle Aufwüchse zwischen 2,6 und 6,6 %, wobei nur im ersten Aufwuchs ab der zweiten Versuchswoche eine deutliche Zunahme des ADL-Gehaltes mit zunehmendem Vegetationsstadium zu verzeichnen war (2,6 - 5,0 %).

Der HEM-Gehalt der Grünlandaufwüchse zeigte keine Abhängigkeit von der Versuchswoche ( $p = 0,72$ ), allerdings lag der durchschnittliche HEM-Gehalt des ersten Aufwuchses mit 26,8 % signifikant über den durchschnittlichen HEM-Gehalten der Folgeaufwüchse (24,6 und 24,0 %).

Der Zellulose-Gehalt der Grünlandaufwüchse hingegen nahm mit zunehmendem Pflanzenalter im ersten Aufwuchs von 17,5 % auf 28,4 % zu, im zweiten Aufwuchs konnte eine Zunahme geringeren Ausmaßes von 19,8 bis 25,6 % beobachtet werden. Der Zellulosegehalt des dritten Aufwuchses zeigte keine eindeutige Zunahme mit zunehmendem Pflanzenalter. Ein Einfluss des Aufwuchses konnte für den Zellulosegehalt nicht nachgewiesen werden. Ebenso gab es keine Interaktion der Effekte Aufwuchs und Woche.

Der Lignifizierungsindex auf Basis der NDF ( $LI_{NDF}$ ) als Maß für die Lignifizierung der gesamten Zellwand zeigte keine Abhängigkeit von der Versuchswoche, lag im Mittel aber im zweiten Aufwuchs mit 10,9 % am höchsten im Vergleich zu dem ersten (6,6 %) und dritten Aufwuchs (8,8 %).

Auch der Lignifizierungsindex auf Basis der ADF ( $LI_{ADF}$ ) als Maß für den Ligningehalt des Ligno-Zellulose-Komplexes der Zellwand zeigte keine Abhängigkeit von der Woche. Auch hier lag der  $LI_{ADF}$  im Durchschnitt im zweiten Aufwuchs am höchsten (19,6 %), wobei der Unterschied nur zum ersten Aufwuchs (14,3 %) abzusichern war.

**Tabelle 4.1.1:** Mittelwerte\* der Gehalte an Trockenmasse (TM), Rohasche (RA), Rohprotein (RP), Neutral-Detergenzienfaser (NDF), Säure-Detergenzienfaser (ADF), Säure-Detergenzienlignin (ADL), Hemizellulosen (HEM), Zellulose (ZELL) und Lignifizierungsindex (LI<sub>NDF</sub> und LI<sub>ADF</sub>)\*\* in den Grünlandaufwüchsen

Futtermittel	Aufwuchs	Woche	TM		RA		RP		NDF		ADF		ADL		HEM		ZELL		LINDF		LIADF	
			%								% der TM								%			
			Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw
1	1	17,0		9,1		17,6		47,3		21,3		3,7		26,0		17,5		7,9		17,6		
1	2	16,7		8,7		15,2		51,0		25,4		2,6		25,6		22,8		5,2		10,4		
1	3	17,5		9,0		13,9		54,1		28,1		2,6		26,0		25,5		4,8		9,3		
1	4	18,5		9,2		12,6		58,7		31,7		3,3		27,0		28,4		5,6		10,3		
1	5	19,3		8,5		11,5		57,5		30,8		3,3		26,7		27,5		5,7		10,6		
1	6	20,9		8,4		9,4		61,8		34,5		5,2		27,3		29,4		8,4		15,0		
1	7	23,2	18,8 <sup>a</sup>	7,9	7,9 <sup>a</sup>	9,6	13,4 <sup>a</sup>	59,6	55,1 <sup>a</sup>	33,4	28,3	5,0	4,0 <sup>a</sup>	26,2	26,8 <sup>a</sup>	28,4	24,3	8,4	7,2 <sup>a</sup>	15,0	14,3 <sup>a</sup>	
2	1	14,5		11,8		19,3		48,6		25,1		5,3		23,5		19,8		10,9		21,1		
2	2	15,5		10,4		17,8		51,8		27,2		4,8		24,6		22,5		9,2		17,5		
2	3	16,0		9,5		15,2		53,3		28,5		5,5		24,8		23,0		10,4		19,4		
2	4	15,6		9,5		15,0		51,6		28,0		6,4		23,6		21,6		12,4		22,8		
5	5	17,6		9,1		14,0		54,2		29,8		6,3		24,5		23,5		11,6		21,1		
2	6	19,2		9,2		12,8		56,6		31,3		6,6		25,3		24,7		11,6		21,0		
2	7	19,1	16,7 <sup>b</sup>	9,1	10,0 <sup>b</sup>	13,0	15,3 <sup>b</sup>	56,7	53,5 <sup>ab</sup>	31,5	29,0	5,9	5,7 <sup>b</sup>	25,2	24,6 <sup>b</sup>	25,6	23,3	10,4	10,6 <sup>b</sup>	18,8	19,6 <sup>b</sup>	
3	1	13,2		11,3		20,5		51,6		26,8		4,4		24,7		22,4		8,6		16,5		
3	2	13,9		9,2		20,5		47,7		24,6		4,7		23,0		20,0		9,8		18,9		
3	3	15,7		8,7		18,9		50,6		25,6		4,8		25,0		20,8		9,5		18,7		
3	4	14,1		11,7		17,4		54,0		28,4		3,5		25,6		24,9		6,6		12,5		
3	5	16,3		8,5		16,4		52,3		27,5		4,0		24,9		23,5		7,6		14,5		
3	6	17,0		8,8		14,4		51,6		27,8		5,0		23,8		22,8		9,7		18,1		
3	7	17,1	15,9 <sup>b</sup>	10,0	9,9 <sup>b</sup>	13,8	16,9 <sup>c</sup>	52,2	51,6 <sup>b</sup>	28,5	27,5	5,0	4,5 <sup>a</sup>	23,7	24,0 <sup>b</sup>	23,5	23,0	9,6	9,0 <sup>a</sup>	17,5	17,0 <sup>ab</sup>	
SEM		1,68		1,33		0,93		1,86		1,72		0,87		0,96		1,47		1,61		1,52		
Statistische Effekte																						
Aufwuchs		<0,01		<,0001		<,0001		0,03		0,25		0,00		<,0001		0,40		<0,01		0,01		
Woche		<,0001		0,01		<,0001		<,0001		<,0001		0,07		0,72		<0,01		0,51		0,62		
Aufwuchs x Woche		0,99		0,97		0,89		0,07		0,18		0,82		0,67		0,06		0,76		0,82		

\*Mittelwerte der Versuchswoche innerhalb des Aufwuchses (Wo) und des Aufwuchses (Aufw)

\*\* Lignifizierungsindex mit NDF bzw. ADF (%) als Bezugsbasis (VAN SOEST, 1982)

Tabelle 4.1.2 zeigt die Mittelwerte der Rohproteinfraktionen der Grünlandaufwüchse. Für die Fraktionen A, B1, und B2 konnte ein signifikanter ( $p < 0,5$ ) Einfluss der Woche, nicht aber des Aufwuchses sowie Interaktionen zwischen Aufwuchs und Woche festgestellt werden. Die Fraktion A, der NPN, nahm in allen drei Aufwüchsen mit zunehmender Aufwuchsdauer zu. Die A Fraktion lag in allen Futtermitteln zwischen 113 und 239 g/kg RP.

**Tabelle 4.1.2:** Mittelwerte<sup>1</sup> der Rohproteinfraktionen der Grünlandaufwüchse (A = NPN, B1 = schnell und vollständig abbaubar, B2 = mittel bis langsam abbaubar, B3 = gebunden an Hemizellulose und Zellulose, langsam abbaubar, C = ADF-unlösliches Protein, nicht abbaubar)

Aufwuchs	Woche	A	B1	B2	B3	C	<i>Aufw</i> <sup>2</sup>
g/kg RP							
1	1	134	130	545	173	20	
1	2	113	131	559	174	23	
1	3	221	59	504	180	38	
1	4	200	63	536	157	44	
1	5	192	68	521	180	40	
1	6	239	42	488	181	52	
1	7	230	58	484	151	78	42 <sup>a</sup>
2	1	158	66	561	181	34	
2	2	139	94	555	181	32	
2	3	161	69	551	175	44	
2	4	170	84	541	159	47	
2	5	204	68	486	186	58	
2	6	206	56	476	196	67	
2	7	199	60	479	197	65	49 <sup>b</sup>
3	1	161	97	578	132	34	
3	2	174	99	560	133	35	
3	3	181	72	557	154	37	
3	4	186	84	521	164	46	
3	5	192	88	500	177	44	
3	6	198	70	479	207	47	
3	7	208	43	493	199	57	43 <sup>a</sup>
SEM		22,9	17,5	17,0	22,8	4,6	
Statistische Effekte		Irrtumswahrscheinlichkeit p =					
Aufwuchs		0,51	0,59	0,70	0,36	0,01	
Woche		< 0,01	< 0,01	< 0,0001	0,41	< 0,0001	
Aufwuchs x Woche		0,54	0,38	0,53	0,75	0,02	

<sup>1</sup> Mittelwerte der Wochen innerhalb der Aufwüchse

<sup>2</sup> Mittelwerte C-Fraktion der Aufwüchse

Die B1-Fraktion lag in allen drei Aufwüchsen zwischen 42 und 131 g/kg RP und nahm mit

zunehmender Aufwuchsdauer ab, wobei die anfängliche Zunahme von der ersten (66 g/kg RP) bis zur zweiten Woche (94 g/kg RP) im zweiten Aufwuchs nicht abzusichern war.

Die B2-Fraktion zeigte in allen drei Aufwüchsen ebenfalls eine signifikante Abnahme mit zunehmender Aufwuchsdauer und lag bei allen untersuchten Grünlandaufwüchsen zwischen 476 und 578 g/kg RP. Die B2-Fraktion hatte damit den größten Anteil am gesamten RP in den Grünlandaufwüchsen.

Für die B3-Fraktion (132 - 207 g/kg RP) konnte weder ein Einfluss der Woche noch des Aufwuchses oder einer Interaktion von Woche und Aufwuchs nachgewiesen werden.

Die C-Fraktion zeigte als einzige Fraktion des Rohproteins nicht nur eine signifikante Abhängigkeit von der Woche sondern auch vom Aufwuchs und der Interaktion (Woche x Aufwuchs). Die C-Fraktion nahm in allen drei Aufwüchsen mit zunehmender Aufwuchsdauer zu und lag im Durchschnitt mit 49 g/kg RP im zweiten Aufwuchs höher als im ersten und zweiten Aufwuchs (42 und 43 g/kg RP). Die deutlichste Zunahme der C-Fraktion wurde im ersten Aufwuchs, und da vor allem zwischen der 6. und 7. Woche (von 52 auf 78 g/kg RP) beobachtet.

Tabelle 4.1.3 zeigt die Inhaltsstoffe der ebenfalls untersuchten Rationsergänzungsfuttermittel Heu, Maissilage und die Konzentratfuttermittel.

**Tabelle 4.1.3:** Mittelwerte der Gehalte an Trockenmasse (TM), Rohasche (RA), Rohprotein (RP), Neutral-Detergenzienfaser (NDF), Säure-Detergenzienfaser (ADF), Säure-Detergenzienlignin (ADL) und dem Lignifizierungsindex auf Basis NDF bzw. ADF ( $LI_{NDF}$  bzw.  $LI_{ADF}$ ) der Rationskomponenten Heu, Maissilage und Konzentratfutter, schnell fermentierbar (KFS) sowie Konzentratfutter, langsam fermentierbar (KFL)

Futtermittel	n =	TM	RA	RP	NDF	ADF	ADL	HEM	ZELL	$LI_{NDF}$	$LI_{ADF}$
		%		% der TM					%		
Heu	7	87,8	7,7	12,7	57,2	31,0	5,9	26,2	25,1	10,3	19,0
Maissilage	7	32,4	3,9	7,8	44,6	22,6	3,3	22,0	19,3	7,4	14,5
KFS	2	88,0	2,3	12,8	34,7	6,1	1,2	28,6	5,0	3,4	19,1
KFL	2	88,6	3,0	11,3	36,8	7,7	1,1	29,0	6,6	3,1	14,7

Die Heuvarianten als Ergänzungsfuttermittel zur Erhöhung des Strukturwertes der Ration hatten einen etwas niedrigeren RP-Gehalt (12,7 %) als die frischen Grünlandaufwüchse und etwas höhere Gehalte an Zellwandbestandteilen (57,2 % NDF). Der  $LI_{NDF}$  lag mit 10,3 % auf dem Niveau des zweiten Grünlandaufwuchses ebenso wie der  $LI_{ADF}$  mit 19 %.

Die Maissilagen als Rationsergänzungsfuttermittel zur Erhöhung des Energiegehaltes der Ration lagen mit Gehalten von 8 % RP und 44,6 % NDF im Bereich durchschnittlicher Maissilagen. Die Konzentratfuttermittel „schnell fermentierbar“ (KFS) und „langsam fermentierbar“ (KFL) wiesen nur geringfügige Unterschiede hinsichtlich ihrer Zusammensetzung auf.

Der RP-Gehalt des KFS war mit 12,8 % etwas höher als der RP-Gehalt des KFL (11,3 %). NDF- und ADF-Gehalt waren bei dem KFS entsprechend niedriger (34,7 % und 6,1 %) als beim KFL (36,8 % und 7,7 %).

## 4.2 *In situ*-Abbauparameter der untersuchten Futtermittel

### 4.2.1 Abbauparameter der Grünlandaufwüchse

#### Jahreseffekte der *in situ*-Abbauparameter

Die Effekte des Versuchsjahres auf die untersuchten Abbauparameter aller Stofffraktionen der Grünlandaufwüchse sind in Tabelle 4.2.1 dargestellt.

**Tabelle 4.2.1:** Effekte des Versuchsjahres auf die *in situ*-Abbauparameter der Trockenmasse (TM), organischen Masse (OM), des Rohproteins (RP), der Neutral-Detergenzienfaser (NDF), der Säure-Detergenzienfaser (ADF) und der Hemizellulosen (HEM)

	a	b	c	d	lag	E5	IF
	%		%/h	%	h	%	%
	Irrtumswahrscheinlichkeit					p =	
TM	0,15	< 0,01	< 0,0001	0,06	0,07	0,01	
OM	0,19	< 0,01	< 0,0001	0,01	0,49	< 0,0001	
RP	0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	0,04	0,01	
NDF	0,01	< 0,0001	< 0,0001	< 0,01	< 0,01	0,02	< 0,01
ADF	<.0001	0,51	< 0,0001	< 0,0001	< 0,01	< 0,01	< 0,0001
HEM	<.0001	0,01	< 0,0001	0,21	< 0,01	< 0,01	0,21

a = lösliche Fraktion, b = unlösliche, abbaubare Fraktion, c = Abbaurate von b, d = (a + b) = potentiell abbaubare Fraktion, lag = Verzögerungszeit bis Abbaubeginn, E5 = effektiver Abbau der jeweiligen Stoffgruppe bei einer angenommenen Passagerate von 5 %/h, IF = nicht abbaubare Fraktion

Da die Datenbasis aufgrund der zwei witterungsbedingt ausgefallenen und in einem vierten Versuchsjahr nachgeholten Aufwüchse sowie von zwei analytisch nicht zu verwertenden Aufwüchsen keine drei vollständigen Versuchsjahre umfasste, sind die festgestellten

Jahreseffekte nicht zu überinterpretieren. Im Weiteren wird deshalb nicht näher darauf eingegangen werden.

### **Abbauparameter von Trockenmasse und organischer Masse**

Tabelle 4.2.2. zeigt die *in situ*-Abbauparameter für die TM der Grünlandaufwüchse. Auch hier sind die Mittelwerte von 2 bzw. 3 Versuchsjahren dargestellt. Die statistische Auswertung zeigte einen signifikanten Einfluss der Aufwuchsnummer (im folgenden als „Aufwuchs“ bezeichnet), des Schnitttermins (im folgenden als „Woche“ bezeichnet) sowie Interaktionen zwischen Aufwuchs und Woche (Aufwuchs x Woche) auf die lösliche Fraktion a der TM. Während die a-Fraktion innerhalb der Aufwüchse schwankte (14,1 - 25,3 %) und keine eindeutig zu- oder abnehmende Tendenz erkennen ließ, lag der Mittelwert des ersten Aufwuchses mit 21,7 % höher als in den Folgeaufwüchsen (19,0 und 19,7 %). Die potenziell abbaubare, aber unlösliche Fraktion b der TM nahm in allen drei Aufwüchsen mit zunehmendem Alter ab, wobei die Mittelwerte über die Aufwüchse (58,1, 58,7 und 59,6 %) keine abgesicherten Unterschiede aufwiesen.

Die statistische Auswertung zeigte einen signifikanten Einfluss der Woche sowie Interaktionen zwischen Aufwuchs und Woche. Die Abbaurate c nahm mit zunehmendem Alter der Aufwüchse ab und lag im Mittel für die ersten beiden Aufwüchse mit 6,1 und 6,0 %/h signifikant niedriger als im dritten Aufwuchs (7,6 %/h). Eine Interaktion zwischen Aufwuchs und Woche konnte nicht festgestellt werden. Die potentiell abbaubare Fraktion d der TM, welche sich aus der Summe aus a und b berechnet, nahm in allen drei Aufwüchsen mit zunehmendem Alter der Pflanzen ab. Im Durchschnitt lag die d-Fraktion des zweiten Aufwuchses mit 77,7 % unter dem ersten (79,8 %) und dem dritten Aufwuchs (79,3 %) wobei der Unterschied zum dritten Aufwuchs nur tendenziell ( $p = 0,05$ ) beobachtet werden konnte. Die statistischen Effekte Aufwuchs, Woche und die Interaktion Aufwuchs x Woche waren signifikant ( $p < 0,05$ ). Die Lag-Phase schwankte über alle Aufwüchse zwischen 0 und 1,8 h, es konnte keine eindeutige Tendenz innerhalb eines Aufwuchses festgestellt werden. Die durchschnittliche Lag-Phase des dritten Aufwuchses war mit 0,8 h länger als in den ersten beiden Aufwüchsen (0,3 h). Der effektive Abbau der Stoffgruppen wurde für alle untersuchten Futtermittel mit angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h kalkuliert. Der Übersichtlichkeit halber sind an dieser Stelle die Ergebnisse für den effektiven Abbau der Stoffgruppen bei einer Passagerate von 5 %/h dargestellt. Die vollständigen Übersichtstabellen finden sich im Anhang (Tabelle 7.3 - 7.8).

**Tabelle 4.2.2:** Mittelwerte\* der *in situ*-Abbauparameter der Trockenmasse TM (a = lösliche Fraktion, b = unlösliche abbaubare Fraktion, c = Abbaurrate von b, d = a + b, lag = Verzögerungsphase bis Abbaubeginn) und der effektive TM-Abbau bei einer angenommenen Passagerate von 5 %/h (ETM5)

Aufwuchs	Woche	a		b		c		d		lag		ETM5	
		%		%		%/h		%		h		%	
		Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw
1	1	24,3	63,4	8,9	87,8	0,5	62,9						
1	2	21,4	64,2	7,0	85,6	0,3	57,6						
1	3	21,8	60,5	7,1	82,2	0,5	56,3						
1	4	24,3	55,3	4,9	79,6	0,2	50,4						
1	5	20,6	55,0	5,3	75,6	0,0	48,2						
1	6	14,1	57,6	5,2	71,7	0,6	41,8						
1	7	25,3	21,7 <sup>a</sup>	51,0	58,1	4,0	6,1 <sup>a</sup>	76,4	79,8 <sup>a</sup>	0,0	0,3 <sup>a</sup>	47,4	60,9 <sup>a</sup>
2	1	15,2	67,3	8,0	82,6	0,3	55,7						
2	2	16,4	63,7	5,8	80,1	0,1	49,8						
2	3	22,0	57,5	6,9	79,4	0,3	54,8						
2	4	15,3	59,2	6,5	74,5	0,2	47,8						
2	5	21,8	56,8	5,2	78,6	0,8	49,4						
2	6	19,1	56,5	4,8	75,6	0,8	46,0						
2	7	23,3	19,0 <sup>b</sup>	49,6	58,7	4,7	6,0 <sup>a</sup>	72,9	77,7 <sup>b</sup>	0,2	0,3 <sup>a</sup>	46,7	58,0 <sup>b</sup>
3	1	20,1	61,9	10,1	82,0	0,3	59,9						
3	2	23,6	61,9	8,2	85,5	0,8	60,6						
3	3	22,0	57,8	7,9	79,8	0,5	56,1						
3	4	15,1	62,3	7,8	77,4	0,3	48,2						
3	5	19,2	59,1	6,2	78,3	1,0	50,0						
3	6	19,3	56,4	7,4	75,6	0,7	49,5						
3	7	18,8	19,7 <sup>b</sup>	57,6	59,6	5,7	7,6 <sup>b</sup>	76,4	79,3 <sup>ab</sup>	1,8	0,8 <sup>b</sup>	48,2	61,5 <sup>a</sup>
SEM		1,56	1,48	0,76	1,57	0,28	2,04						
Statistische Effekte		Irrtumswahrscheinlichkeit p=											
Aufwuchs		0,01	0,28	< 0,01	0,02	0,01	0,01						
Woche		< 0,01	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,04	< 0,0001						
Aufwuchs x Woche		< 0,0001	< 0,0001	0,78	0,01	0,06	0,03						

\* Mittelwerte der Versuchswoche innerhalb des Aufwuchses (Wo) und des Aufwuchses (Aufw)

<sup>a, b</sup> : signifikant verschieden mit  $p < 0,05$

Eine Abnahme der ETM5 mit zunehmender Aufwuchsdauer wurde für alle drei Aufwüchse beobachtet. Dabei nahm die ETM5 im ersten Aufwuchs von anfänglich knapp 63 % mit zunehmender Aufwuchsdauer bis auf 41,7 % in der 6. Woche ab und stieg danach noch einmal bis auf 47,4 % an. In den Folgeaufwüchsen war die Abnahme der ETM mit zunehmender Aufwuchsdauer geringer ausgeprägt und betrug im zweiten Aufwuchs 9 Prozentpunkte von 55,7 % auf 46,7 % und im dritten Aufwuchs knapp 11 Prozentpunkte

von 59,9 % auf 48,2 %. Der Durchschnitt der ETM5 lag im zweiten Aufwuchs mit 58 % signifikant unter dem des ersten (60,9 %) und des dritten (61,5 %) Aufwuchses. Die statistischen Effekte Aufwuchs, Woche und (Aufwuchs x Woche) waren signifikant ( $p < 0,05$ ).

Die *in situ*-Abbauparameter für die OM der Grünlandaufwüchse sind in Tabelle 4.2.3 dargestellt.

**Tabelle 4.2.3:** Mittelwerte\* der *in situ*-Abbauparameter der organischen Masse OM (a = lösliche Fraktion, b = unlösliche abbaubare Fraktion, c = Abbaurrate von b, d = a + b, lag = Verzögerungsphase bis Abbaubeginn) und der effektive OM-Abbau bei einer angenommenen Passagerate von 5 %/h (EOM5)

Aufwuchs	Woche	a		b		c		d		lag		EOM5	
		%	%	%	%	%/h	%	h	%	%	%		
		Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw
1	1	29,9	59,0	8,8	88,9	0,6	66,1						
1	2	18,8	66,7	7,0	85,5	0,3	56,3						
1	3	19,2	64,0	6,8	83,2	0,3	55,4						
1	4	18,5	61,4	4,4	79,9	0,1	46,6						
1	5	12,7	62,3	4,9	75,0	0,0	43,1						
1	6	9,0	65,0	4,3	74,1	0,2	38,3						
1	7	23,4	18,8 <sup>a</sup>	52,8	61,6	3,9	5,7 <sup>a</sup>	76,2	80,4 <sup>a</sup>	0,0	0,2 <sup>a</sup>	45,9	50,2 <sup>ab</sup>
2	1	11,3	72,1	8,3	83,4	0,4	55,2						
2	2	11,2	69,1	5,9	80,4	0,1	47,6						
2	3	20,6	59,8	7,0	80,5	0,1	55,2						
2	4	13,5	61,0	7,3	74,5	0,2	47,9						
2	5	18,9	59,2	5,1	78,1	0,7	47,2						
2	6	13,2	61,1	5,7	74,3	0,4	43,6						
2	7	19,1	15,4 <sup>b</sup>	51,9	62,0	4,8	6,3 <sup>a</sup>	71,1	77,5 <sup>b</sup>	0,4	0,3 <sup>a</sup>	43,5	48,6 <sup>a</sup>
3	1	15,1	66,6	10,2	81,6	0,8	58,1						
3	2	27,8	59,4	8,2	87,1	0,4	63,3						
3	3	17,6	63,8	7,8	81,4	0,2	55,3						
3	4	14,7	64,2	7,9	78,8	0,9	49,2						
3	5	17,7	60,1	6,5	77,8	0,9	50,1						
3	6	16,5	62,9	7,5	79,5	2,2	49,2						
3	7	18,5	18,3 <sup>a</sup>	58,7	62,2	5,8	7,7 <sup>b</sup>	77,2	80,5 <sup>a</sup>	0,2	0,8 <sup>b</sup>	49,0	53,5 <sup>b</sup>
SEM		2,30	1,75	0,76	1,48	0,31	2,34						
Statistische Effekte		Irrtumswahrscheinlichkeit p =											
Aufwuchs		0,01	0,83	< 0,00	< 0,0001	< 0,01	< 0,01						
Woche		< 0,01	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,02	< 0,0001						
Aufwuchs x Woche		< 0,0001	< 0,0001	0,53	< 0,01	0,04	< 0,01						

\* Mittelwerte der Versuchswoche innerhalb des Aufwuchses (Wo) und des Aufwuchses (Aufw)  
<sup>a, b</sup> : signifikant verschieden mit  $p < 0,05$

Die a-Fraktion der OM wies innerhalb der Aufwüchse große Schwankungen auf. Im ersten Aufwuchs ließ sich bis zur 6. Woche eine Abnahme der löslichen Fraktion von 29,9 % bis auf 9,0 % feststellen. In der siebenten Woche stieg die lösliche Fraktion wieder auf 23,4 % an. Der Mittelwert der a-Fraktion lag im zweiten Aufwuchs mit 15,4 % signifikant unter dem ersten (18,8 %) und dem dritten (18,3 %) Aufwuchs. Die untersuchten statistischen Effekte Aufwuchs, Woche und die Interaktion zwischen Aufwuchs und Woche waren signifikant ( $p < 0,05$ ).

Die b-Fraktion nahm im ersten Aufwuchs zwischen der ersten und zweiten Woche von 59 bis auf 66,7 % zu, nahm dann bis zur siebenten Woche bis auf 52,8 % ab. Bei den Folgeaufwüchsen zeigte sich eine Abnahme der b-Fraktion von der ersten bis zur 7. Woche. Die Woche war als statistischer Effekt signifikant. Die Mittelwerte der Aufwüchse lagen zwischen 61,6 und 62,2 % und wiesen keine signifikanten Unterschiede auf. Die Abnahme der b-Fraktion war im zweiten Aufwuchs stärker ausgeprägt (von 72,5 auf 51,9 %) als im ersten (von 59,0 auf 52,8 %) und im dritten Aufwuchs (von 66,6 % auf 58,7 %). Die Interaktion (Aufwuchs x Woche) war signifikant.

Die Abbaurate c der OM nahm ebenfalls mit zunehmendem Alter der Pflanzen ab, wobei der Mittelwert über die Aufwüchse im dritten Aufwuchs mit 7,7 %/h signifikant über dem ersten (5,7 %/h) und dem zweiten Aufwuchs (6,3 %/h) lag. Der Einfluss des Aufwuchses und der Woche war signifikant, wogegen es keine Wechselwirkung zwischen Aufwuchs und Woche gab.

Auf die Höhe der d-Fraktion hatten der Aufwuchs, die Woche sowie die Interaktion (Aufwuchs x Woche) einen signifikanten Einfluss. Die d-Fraktion nahm in allen drei Aufwüchsen mit zunehmendem Alter der Pflanzen ab. Der Anstieg der d-Fraktion nach einer Abnahme über die 6 Wochen von 88,9 auf 74,1 % in der siebenten Woche auf 76,2 % war statistisch nicht signifikant. Auch der kurzzeitige Anstieg auf 78,1 % in der 5. Woche des zweiten Aufwuchses war nicht abzusichern.

Im dritten Aufwuchs wurde von der ersten zur zweiten Woche ein signifikanter Anstieg der d-Fraktion (von 81,6 auf 87,1 %) mit anschließender Abnahme bis auf 77,2 % in der siebenten Woche beobachtet. Der Mittelwert des zweiten Aufwuchses war mit 77,5 % signifikant niedriger als die Mittelwerte des ersten und dritten Aufwuchses (80,4 bzw. 80,5 %).

Während die Lag-Phase im ersten Aufwuchs tendenziell mit zunehmendem Alter der Pflanzen abnahm (von 0,6 bis 0,0 h), schwankte sie in den Folgeaufwüchsen uneinheitlich.

Im Mittel lag die Lag-Phase im dritten Aufwuchs mit 0,8 h signifikant über den ersten beiden Aufwüchsen (0,2 und 0,3 h). Die statistischen Effekte Aufwuchs, Woche sowie die Interaktion (Aufwuchs x Woche) waren signifikant. Die EOM5 nahm in allen Aufwüchsen mit zunehmender Aufwuchsdauer ab, wobei der erste Aufwuchs eine stärkere Abnahme aufwies als die Folgeaufwüchse.

TM und OM zeigten abnehmende Abbauraten mit zunehmendem Pflanzenalter, wobei die Abbauraten im Mittel im dritten Aufwuchs sowohl für TM als auch für OM signifikant am höchsten waren. Die d-Fraktion des zweiten Aufwuchses zeigte sowohl für TM als auch für OM den niedrigsten Wert. Bei signifikant höheren Abbauraten und einem gleichbleibenden Ausmaß des Abbaus von TM und OM stellte sich der dritte Aufwuchs für TM und OM betrachtet als der bestabgebaute Aufwuchs dar. Der dritte Aufwuchs stellte sich aufgrund relativ geringerer Veränderungen der effektiv abgebauten TM und OM von der ersten zur 7. Woche zudem als nutzungselastischer dar in Hinblick auf den ruminalen Abbau sowohl der TM als auch der OM.

Bezüglich Abbausmaß und -geschwindigkeit von TM und OM war lediglich die erste Woche des ersten Aufwuchses allen anderen untersuchten Grünlandaufwüchsen überlegen.

### **Abbauparameter der Zellwandkohlenhydrate**

Die *in situ*-Abbauparameter für die Neutral-Detergenzienfaser (NDF) der Grünlandaufwüchse sind in Tabelle 4.2.4 dargestellt.

Die durchschnittlichen Gehalte der a-Fraktion der NDF lagen zwischen 0,1 und 8,5 %. Die b-Fraktion nahm mit zunehmender Aufwuchsdauer ab, wobei die Abnahme im ersten Aufwuchs deutlicher ausgeprägt war (von 84,3 auf 66,3 %) als in den Folgeaufwüchsen.

Der mittlere Gehalt der Aufwüchse war im zweiten Aufwuchs signifikant niedriger (74,5 %) als im ersten und dritten Aufwuchs (76,6 und 76,4 %). Signifikanten Einfluss auf die b-Fraktion der NDF hatten die statistischen Effekte Aufwuchs, Woche und die Interaktion (Aufwuchs x Woche). Die Abbauraten c der abbaubaren NDF wurden signifikant durch den Aufwuchs und die Woche beeinflusst, eine Interaktion gab es nicht. Abnehmende Abbauraten der NDF mit zunehmender Aufwuchsdauer waren in allen drei Aufwüchsen zu finden. Der Mittelwert des dritten Aufwuchses lag mit 7,4 %/h signifikant höher als die Mittelwerte des ersten und zweiten Aufwuchses (5,4 und 6,0 %/h).

**Tabelle 4.2.4:** Mittelwerte\* der *in situ*-Abbauparameter der Neutral-Detergenzienfaser NDF (a = lösliche Fraktion, b = unlösliche abbaubare Fraktion, c = Abbaurrate von b, lag = Verzögerungsphase bis Abbaubeginn), die nichtabbaubare NDF (INDF), der Gehalt an abbaubarer NDF in der TM (DNDF) und der effektive Abbau der DNDF bei einer angenommenen Passagerate von 5 %/h (ENDF5)

Aufwuchs	Woche	a		b		c		lag		INDF <sup>1</sup>		DNDF <sup>2</sup>		ENDF5	
		% der NDF		% der NDF		%/h		h		% der NDF		% der TM		% der DNDF	
		Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw
1	1	1,8		84,3		8,5		0,7		13,9		40,2		60,3	
1	2	2,1		82,7		6,7		0,2		15,1		42,7		56,2	
1	3	1,3		80,9		6,5		0,4		17,8		44,0		55,6	
1	4	6,4		74,0		3,8		0,3		19,7		46,7		44,0	
1	5	1,4		73,6		4,8		0,1		25,0		42,6		48,9	
1	6	0,5		74,6		4,1		0,1		25,0		46,0		44,3	
1	7	8,5	3,1	66,3	76,6 <sup>a</sup>	3,7	5,4 <sup>a</sup>	-0,1	0,3 <sup>a</sup>	25,2	20,2 <sup>a</sup>	44,1	43,8 <sup>a</sup>	48,2	51,1 <sup>a</sup>
2	1	0,5		80,9		7,9		0,6		18,6		39,5		59,3	
2	2	1,0		78,0		5,8		0,1		21,0		41,0		53,1	
2	3	5,2		73,0		6,7		0,5		21,8		41,6		58,3	
2	4	1,7		72,8		6,1		0,3		25,5		38,8		54,8	
2	5	1,4		75,4		5,4		0,7		23,2		42,0		50,5	
2	6	1,8		74,9		6,0		0,6		23,4		43,4		53,6	
2	7	4,9	2,4	66,3	74,5 <sup>b</sup>	4,4	6,0 <sup>a</sup>	0,3	0,4 <sup>a</sup>	28,8	23,2 <sup>b</sup>	40,4	40,9 <sup>b</sup>	49,5	54,2 <sup>b</sup>
3	1	2,9		78,3		10,0		0,6		18,9		41,9		66,0	
3	2	7,6		76,4		7,9		0,4		16,1		40,2		63,1	
3	3	1,9		78,7		7,3		0,2		19,4		40,9		58,4	
3	4	0,7		76,4		7,0		0,7		22,8		41,9		54,1	
3	5	2,1		74,1		6,5		1,8		23,8		40,0		52,8	
3	6	0,1		76,8		7,2		1,9		23,1		39,9		52,3	
3	7	0,4	2,2	74,1	76,4 <sup>a</sup>	6,2	7,4 <sup>b</sup>	0,6	0,9 <sup>b</sup>	25,4	21,4 <sup>a</sup>	39,0	40,6 <sup>b</sup>	52,9	57,1 <sup>c</sup>
SEM		1,12		1,53		0,65		0,24		1,24		0,84		2,47	
Statistische Effekte		Irrtumswahrscheinlichkeit p=													
Aufwuchs		0,34		0,01		< 0,0001		< 0,01		< 0,0001		< 0,0001		< 0,01	
Woche		< 0,01		< 0,0001		< 0,0001		< 0,01		< 0,0001		< 0,01		< 0,0001	
Aufwuchs x Woche		< 0,0001		< 0,0001		0,33		< 0,01		0,01		< 0,0001		0,06	

\* Mittelwerte der Versuchswoche innerhalb des Aufwuchses (Wo) und des Aufwuchses (Aufw)

1 INDF (% der NDF) = 100 - Fraktion (a + b)

2 DNDF: Anteil der abbaubaren Fraktion (a + b) der NDF an der TM

<sup>a, b, c</sup> : signifikant verschieden mit p < 0,05

Die Lag-Phase wies im ersten Aufwuchs eine tendenzielle Abnahme mit zunehmender Aufwuchsdauer auf, im zweiten und dritten Aufwuchs schwankte die Länge der Lag-Phase uneinheitlich. Die Mittelwerte der Aufwüchse 1 und 2 waren signifikant niedriger (0,3 und 0,4 h) als der Mittelwert des dritten Aufwuchses (0,9 h).

In Anlehnung an das skandinavische Futtermittelbewertungsmodell „Karoline“ (DANFAER et al., 2006) ist in der Tabelle die nicht abbaubare NDF-Fraktion (INDF) dargestellt. Die INDF ist der Kehrwert der potentiell abbaubaren Fraktion  $d$ , welche sich aus den Parametern  $a$  und  $b$  zusammensetzt.

Die INDF zeigte eine Zunahme mit zunehmender Aufwuchsdauer. Im Durchschnitt war der INDF-Gehalt im zweiten Aufwuchs mit 23,2 % am höchsten im Vergleich zum ersten Aufwuchs (20,2 %) und dritten Aufwuchs (21,4 %). Die Zunahme des INDF-Gehaltes im Verlauf der Aufwuchsdauer war im ersten Aufwuchs am stärksten ausgeprägt (von 13,9 bis 25,2 %). Die statistische Auswertung zeigte somit einen signifikanten Einfluss der Woche, des Aufwuchses sowie eine Interaktion (Aufwuchs x Woche) auf die INDF-Gehalte.

Die Gehalte an abbaubarer NDF (DNDF) bezogen auf die TM zeigten im ersten Aufwuchs eine Zunahme von 40,2 % in der ersten Woche bis auf 46,0 % in der 6. Woche, die relative Abnahme in der 7. Woche auf 44,1 % konnte nicht abgesichert werden.

Insgesamt war im ersten Aufwuchs eine Zunahme im DNDF-Gehalt von der ersten bis zur 7. Versuchswoche zu verzeichnen.

Der zweite Aufwuchs zeigte diese signifikante Zunahme im DNDF-Gehalt der TM von 39,5 % in der ersten bis 43,4 % in der sechsten Versuchswoche, während der DNDF-Gehalt in der siebenten Woche wieder auf dem Niveau der ersten Woche lag (40,4 %). Der dritte Aufwuchs wies eine geringfügige aber signifikante Abnahme im DNDF-Gehalt der TM von 40,4 % in der ersten Woche bis auf 39,0 % in der siebenten Woche auf. Im Durchschnitt lag der DNDF-Gehalt in der Trockenmasse der Grünlandaufwüchse im ersten Aufwuchs mit 43,8 % signifikant über dem der Folgeaufwüchse (40,9 und 40,6 %).

Die effektiv abgebaute NDF bei einer angenommenen Passagerate von 5 %/h als Anteil an der DNDF (ENDF5) nahm in allen drei Aufwüchsen von der ersten bis zur 7. Woche ab. Der durchschnittliche ENDF5-Gehalt nahm vom ersten (51,1 %) bis zum dritten Aufwuchs (57,1 %) zu. Eine Interaktion zwischen Aufwuchs und Woche wurde nicht beobachtet.

Die *in situ*-Abbauparameter für die Säure-Detergenzienfaser (ADF) der Grünlandaufwüchse sind in Tabelle 4.2.5 dargestellt.

In den drei Aufwüchsen lagen die durchschnittlichen Gehalte der a-Fraktion der ADF zwischen 1,3 und 4,0 %. Die b-Fraktion der ADF nahm innerhalb der Aufwüchse mit zunehmender Aufwuchsdauer ab. Im Durchschnitt lag die b-Fraktion im zweiten Aufwuchs mit 71,7 % signifikant am niedrigsten, während der erste Aufwuchs die höchste b-Fraktion aufwies (76,5 %). Die untersuchten statistischen Effekte Aufwuchs, Woche und (Aufwuchs

x Woche) waren für die b-Fraktion der ADF signifikant ( $p < 0,05$ ).

Die Abbaurrate  $c$  der ADF zeigte eine Abnahme mit zunehmendem Pflanzenalter, wobei die Abnahme um 5,6 Prozentpunkte von 9,1 bis auf 3,5 %/h im ersten Aufwuchs am deutlichsten war. Die Abbaurrate nahm im Verlauf des zweiten Aufwuchses lediglich um 2,2 Prozentpunkte, im dritten Aufwuchs um 2,9 Prozentpunkte ab. Der Mittelwert des dritten Aufwuchses liegt mit 7,2 %/h signifikant über den Mittelwerten des ersten (5,3 %/h) und zweiten Aufwuchses (5,8 %/h). Für den Aufwuchs und die Woche konnte ein signifikanter Einfluss ( $p < 0,05$ ) auf die Abbaurrate der ADF nachgewiesen werden, nicht jedoch für eine Interaktion (Aufwuchs x Woche).

Die Länge der Lag-Phase zeigte keine Abhängigkeit von der Woche, war im Durchschnitt im ersten Aufwuchs signifikant kürzer (0,8 h) als in den Folgeaufwüchsen (1,4 h und 1,7 h). In Analogie zur Darstellung der NDF-Abbauparameter ist für die ADF die nicht abbaubare Fraktion (IADF) dargestellt.

Die IADF nahm in allen drei Aufwüchsen von der ersten bis zur 7. Versuchswoche zu, wobei dieser Anstieg bei den ersten beiden Aufwüchsen deutlicher ausgeprägt war (von 17,9 auf 26,5 % und von 20,9 auf 30,2 %) als bei dem dritten Aufwuchs (19,6 bis 24,7 %). Der zweite Aufwuchs hatte mit durchschnittlich 25,2 % den höchsten IADF-Gehalt. Die Woche, der Aufwuchs und die Interaktion (Aufwuchs x Woche) hatten einen signifikanten ( $p < 0,05$ ) Einfluss auf die IADF.

Für den DADF-Gehalt war im ersten Aufwuchs von der ersten (16,6 %) bis zur 7. Woche ein Anstieg auf 23,8 % zu verzeichnen, wobei dieser Anstieg zwischen der ersten und zweiten Woche besonders ausgeprägt war (16,6 - 20,4 %). Der zweite Aufwuchs weist einen deutlich geringeren aber doch abgesicherten Anstieg des DADF-Gehaltes von 19,8 % in der ersten Woche bis 22,0 % in der 7. Woche auf. Im dritten Aufwuchs blieb die DADF über alle sieben Wochen konstant.

Ein Einfluss der Woche wurde statistisch abgesichert ( $p < 0,05$ ), während die Aufwuchsmittelwerte keine abzusichernden Unterschiede aufwiesen und zwischen 21,4 und 21,9 % lagen.

**Tabelle 4.2.5:** Mittelwerte\* der *in situ*-Abbauparameter der Säure-Detergenzienfaser ADF (a = lösliche Fraktion, b = unlösliche abbaubare Fraktion, c = Abbaurrate von b, lag = Verzögerungsphase bis Abbaubeginn), die nichtabbaubare ADF (IADF), der Gehalt an abbaubarer ADF in der TM (DADF) und der effektive Abbau der DADF bei einer angenommenen Passagerate von 5 %/h (EADF5)

Aufwuchs	Woche	a		b		c		lag		IADF <sup>1</sup>		DADF <sup>2</sup>		EADF5	
		% der ADF		% der ADF		% /h		h		% der ADF		% der TM		% der DADF	
		Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw
1	1	-0,2		82,3		9,1		1,8		17,9		16,6		56,4	
1	2	-1,0		84,5		6,0		0,5		16,5		20,4		50,3	
1	3	-0,3		80,7		5,7		1,2		19,6		21,8		45,4	
1	4	5,5		73,7		4,3		0,7		20,8		24,4		47,2	
1	5	-0,6		73,3		4,7		0,5		27,3		21,6		46,3	
1	6	-1,3		74,6		3,8		1,1		26,7		24,6		38,9	
1	7	7,0	1,3 <sup>a</sup>	66,5	76,5 <sup>a</sup>	3,5	5,3 <sup>a</sup>	0,0	0,8 <sup>a</sup>	26,5	22,2 <sup>a</sup>	23,8	21,9	45,8	47,2 <sup>a</sup>
2	1	1,2		77,9		7,0		1,6		20,9		19,8		53,8	
2	2	1,9		74,6		5,8		1,8		23,5		20,8		49,5	
2	3	6,7		70,5		6,1		1,2		22,8		22,0		55,1	
2	4	1,3		70,7		5,9		1,3		28,0		20,6		49,8	
2	5	3,4		71,3		5,1		1,7		25,3		22,6		47,8	
2	6	2,1		72,5		5,7		1,2		25,4		23,4		50,5	
2	7	5,5	3,1 <sup>b</sup>	64,3	71,7 <sup>b</sup>	4,8	5,8 <sup>a</sup>	0,7	1,4 <sup>b</sup>	30,2	25,2 <sup>b</sup>	22,0	21,6	50,6	51,0 <sup>b</sup>
3	1	5,5		75,0		9,1		1,5		19,6		22,0		63,2	
3	2	8,0		73,6		7,6		1,4		18,4		20,6		60,1	
3	3	2,1		77,2		6,5		0,5		20,6		20,8		55,2	
3	4	4,2		70,9		8,3		2,2		24,9		21,9		54,5	
3	5	0,9		73,6		6,0		2,3		25,5		20,9		49,0	
3	6	3,8		72,5		7,0		2,8		23,7		21,7		53,3	
3	7	3,7	4,0 <sup>b</sup>	71,5	73,5 <sup>c</sup>	6,0	7,2 <sup>b</sup>	1,1	1,7 <sup>b</sup>	24,7	22,5 <sup>a</sup>	21,8	21,4	53,8	55,6 <sup>c</sup>
SEM		1,34		1,67		0,75		1,35		1,35		0,54		2,75	
Statistische Effekte		Irrtumswahrscheinlichkeit p=													
Aufwuchs		< 0,01		< 0,0001		< 0,01		0,02		< 0,0001		0,30		< 0,0001	
Woche		< 0,01		< 0,0001		< 0,0001		0,05		< 0,0001		< 0,0001		< 0,0001	
Aufwuchs*Woche		< 0,0001		< 0,01		0,16		0,14		0,01		< 0,0001		0,13	

\* Mittelwerte der Versuchswoche innerhalb des Aufwuchses (Wo) und des Aufwuchses (Aufw)

1 IADF (% der ADF) = 100 - potentiell abbaubare Fraktion d (% der ADF)

2 DADF: Anteil der abbaubaren Fraktion (a + b) der ADF an der TM

<sup>a, b, c</sup>: signifikant verschieden (p < 0,05)

Der EADF5-Gehalt, bezogen auf die DADF, zeigte in allen drei Aufwüchsen eine Abnahme von der ersten bis zur 7. Woche. Dabei nahm der durchschnittliche EADF5-Gehalt vom ersten Aufwuchs (47,2 %) bis zum dritten Aufwuchs (55,6 %) zu. Eine Interaktion zwischen Aufwuchs und Woche wurde nicht beobachtet.

Die *in situ*-Abbauparameter für die Hemizellulose (HEM) der Grünlandaufwüchse sind in Tabelle 4.2.6 dargestellt.

**Tabelle: 4.2.6** Mittelwerte\* der *in situ*-Abbauparameter der Hemizellulose HEM (a = lösliche Fraktion, b = unlösliche abbaubare Fraktion, c = Abbaurrate von b, lag = Verzögerungsphase bis Abbaubeginn), die nichtabbaubare HEM (IHEM), der Gehalt an abbaubarer HEM in der TM (DHEM) und der effektive Abbau der DHEM bei einer angenommenen Passagerate von 5 %/h (EHEM5)

Aufwuchs	Woche	a		b		c		lag		IHEM		DHEM <sup>2</sup>		EHEM5	
		% der HEM		% der HEM		%/h		h		% der HEM		% der TM		% der DHEM	
		Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw
1	1	3,0		85,3		9,2		0,3		11,9		17,7		63,3	
1	2	3,6		81,9		7,3		0,1		14,7		18,7		60,7	
1	3	1,4		81,7		7,0		0,1		17,1		17,4		58,5	
1	4	4,8		76,0		4,7		0,0		19,5		18,5		50,0	
1	5	2,4		74,4		5,0		0,0		23,4		17,6		50,8	
1	6	1,8		74,2		4,7		0,0		24,3		19,3		49,8	
1	7	5,1	3,2 <sup>a</sup>	57,5	75,8 <sup>ab</sup>	3,7	5,9 <sup>a</sup>	0,0	0,0 <sup>a</sup>	37,7	21,2	15,2	17,8 <sup>a</sup>	52,8	55,1 <sup>a</sup>
2	1	1,7		81,6		9,2		0,3		16,7		15,8		64,4	
2	2	3,9		77,2		6,9		0,0		18,9		15,7		57,9	
2	3	3,1		75,7		7,7		0,2		21,2		16,2		61,4	
2	4	4,0		72,7		7,3		0,1		17,7		11,0		60,8	
2	5	2,1		77,0		5,8		0,2		17,8		14,1		54,2	
2	6	1,2		76,1		6,3		0,3		22,6		16,6		54,4	
2	7	3,5	2,8 <sup>a</sup>	71,3	76,0 <sup>a</sup>	4,0	6,7 <sup>b</sup>	0,3	0,2 <sup>a</sup>	25,1	20,0	16,6	15,1 <sup>b</sup>	45,4	56,9 <sup>a</sup>
3	1	0,8		80,9		12,4		0,4		18,5		15,0		70,4	
3	2	0,5		84,5		9,4		0,2		15,2		14,5		64,4	
3	3	2,4		79,8		9,1		0,2		18,1		16,8		63,0	
3	4	2,2		77,6		7,6		0,1		20,4		15,8		58,2	
3	5	0,0		78,1		7,6		1,6		23,0		16,7		55,0	
3	6	0,0		78,4		7,6		1,6		21,8		17,4		52,8	
3	7	0,1	0,8 <sup>b</sup>	74,9	79,2 <sup>b</sup>	6,7	8,6 <sup>c</sup>	0,2	0,6 <sup>b</sup>	25,2	20,3	15,6	16,0 <sup>b</sup>	55,7	59,9 <sup>b</sup>
SEM		0,98		2,92		0,71		0,18		2,99		1,08		2,55	
Statistische Effekte		Irrtumswahrscheinlichkeit p=													
Aufwuchs		< 0,0001		0,08		< 0,0001		< 0,0001		0,78		< 0,0001		< 0,01	
Woche		0,01		< 0,0001		< 0,0001		< 0,01		< 0,0001		0,06		< 0,0001	
Aufwuchs x Woche		0,38		0,01		0,59		< 0,0001		0,06		0,01		0,05	

\* Mittelwerte der Versuchswoche innerhalb des Aufwuchses (Wo) und des Aufwuchses (Auf)

1 IHEM (% der HEM) = 100 - potentiell abbaubare Fraktion d (% der HEM)

2 DHEM: Anteil der abbaubaren Fraktion (d) der HEM an der TM

<sup>a, b, c</sup>: signifikant verschieden (p < 0,05)

Erster und zweiter Aufwuchs wiesen eine durchschnittlich höhere a-Fraktion (3,2 und 2,8 %) auf als der dritte Aufwuchs (0,8 %). Innerhalb der Aufwüchse schwankte die a-Fraktion uneinheitlich und trotz eines statistischen Effektes der Woche konnte eine eindeutige Abhängigkeit der a-Fraktion von der Aufwuchsdauer numerisch nicht nachvollzogen werden. Ein hoher Standardfehler deutet auf eine hohe Streuung der geschätzten Werte der a-Fraktion hin.

Die potentiell abbaubare Fraktion b nahm wie erwartet in allen drei Aufwüchsen mit zunehmender Aufwuchsdauer ab. Ins Auge fällt allerdings die starke Abnahme der b-Fraktion im ersten Aufwuchs besonders von der 6. (74,2 %) bis zur 7. Woche (57,5 %), welche in den Folgeaufwüchsen in diesem Ausmaß nicht beobachtet wurde. Die durchschnittliche b-Fraktion war mit 79,2 % im dritten Aufwuchs am höchsten.

Die Abbaurate c nahm ebenfalls mit zunehmender Aufwuchsdauer in allen drei Aufwüchsen ab, wobei diese Abnahme in allen drei Aufwüchsen denselben Verlauf aufwies, was auch in einer fehlenden Interaktion der Effekte (Aufwuchs x Woche) Ausdruck findet. Die durchschnittlich höchste Abbaurate mit 8,6 %/h zeigte der dritte Aufwuchs im Gegensatz zu 5,9 %/h im ersten und 6,7 %/h im zweiten Aufwuchs. Die Lag-Phase dauerte mit 0,6 h durchschnittlich im dritten Aufwuchs am längsten.

Der Anteil der nichtabbaubaren Hemizellulose IHEM nahm in allen drei Aufwüchsen von der ersten bis zur siebenten Woche zu. Auffällig war im ersten Aufwuchs der starke Anstieg der IHEM von der 6. (24,3 %) bis zur 7. Woche (37,7 %). Die durchschnittlichen IHEM-Gehalte der Aufwüchse lagen zwischen 20,0 und 21,2 % und wiesen keine Unterschiede auf. Eine Interaktion des statistischen Effektes (Aufwuchs x Woche) konnte ebenfalls nicht nachgewiesen werden.

Die abbaubare Hemizellulose bezogen auf die TM (DHEM) wurde innerhalb der Aufwüchse in ihrer Höhe nicht durch die Woche beeinflusst. Durchschnittlich hatte der erste Aufwuchs mit 17,8 % einen höheren Gehalt an DHEM. Die effektiv abgebaute Hemizellulose bei einer angenommenen Passagerate von 5 %/h zeigte eine signifikante Abhängigkeit von der Woche und nahm in allen drei Aufwüchsen mit zunehmender Aufwuchsdauer ab. Trotz der relativ höchsten DHEM-Gehalte des ersten Aufwuchses war die EHEM5 aufgrund der niedrigeren Abbauraten im Vergleich zu den Folgeaufwüchsen mit 51,1 % am niedrigsten. Die höchsten EHEM5-Gehalte wiesen die Grünlandschnitte des dritten Aufwuchses mit durchschnittlich 59,9 % auf.

Alle Stofffraktionen der Zellwand zeigten zu Beginn jeden Aufwuchses hohe Abbauraten,

die allerdings besonders beim ersten Aufwuchs bereits zur zweiten Woche hin stark abnahmen. Die Abbauraten von NDF und ADF lagen im zweiten Aufwuchs zu Beginn niedriger, nahmen aber nicht in dem Maße ab, wie im ersten Aufwuchs, so dass sich im Durchschnitt für den zweiten Aufwuchs noch eine höhere Abbaurate im Vergleich zum ersten Aufwuchs ergab. Bereits ab der dritten Woche zeigte sich der zweite Aufwuchs hinsichtlich der Abbaurate dem ersten Aufwuchs überlegen. Der dritte Aufwuchs wies über alle sieben Wochen die höchsten Abbauraten sowohl der NDF als auch der ADF und der HEM auf. Statistisch konnte eine Interaktion von Aufwuchs und Woche für die Abbauraten von NDF, ADF und HEM allerdings nicht nachgewiesen werden.

Die höchsten Gehalte an INDF und IADF wies der zweite Aufwuchs auf, während es bei der Hemizellulose keine Unterschiede im IHEM-Gehalt zwischen den Aufwüchsen gab. Bezüglich des Gehaltes an effektiv abgebauter NDF, ADF und HEM zeigte sich der dritte Aufwuchs den ersten beiden Aufwüchsen überlegen.

Die *in situ*-Abbauparameter für das Rohprotein (RP) der Grünlandaufwüchse sind in Tabelle 4.2.7 dargestellt.

Für die a-Fraktion des RP waren die statistischen Effekte Aufwuchs, Woche sowie die Interaktion (Aufwuchs x Woche) signifikant ( $p < 0,05$ ). Die Mittelwerte der a-Fraktion des ersten (15,2 %) und des dritten Aufwuchses (14,0 %) lagen signifikant über dem des zweiten Aufwuchses (11,5 %). In allen drei Aufwüchsen war trotz gewisser Schwankungen eine Zunahme der a-Fraktion mit zunehmender Aufwuchsdauer zu beobachten.

Für die b-Fraktion des Rohproteins waren die statistischen Effekte Aufwuchs, Woche und (Aufwuchs x Woche) signifikant ( $p < 0,05$ ). Innerhalb der Aufwüchse nahm die b-Fraktion mit zunehmender Aufwuchsdauer ab. Die Mittelwerte der Aufwüchse zeigten für den ersten Aufwuchs eine signifikant niedrigere b-Fraktion (75,6 %) im Vergleich zu den Folgeaufwüchsen (80,1 und 77,9 %).

Die Höhe der Abbaurate c des Rohproteins wurde signifikant durch den Effekt Woche beeinflusst. Der Aufwuchs zeigte nur einen tendenziellen Einfluss mit  $p = 0,05$ , während keine signifikante Interaktion zwischen Aufwuchs und Woche festgestellt werden konnte. Die Abbaurate c nahm in allen drei Aufwüchsen mit zunehmender Aufwuchsdauer ab. Der Anstieg der Abbaurate in der sechsten Woche des ersten Aufwuchses konnte nicht abgesichert werden.

**Tabelle 4.2.7:** Mittelwerte\* der *in situ*-Abbauparameter des Rohproteins RP (a = lösliche Fraktion, b = unlösliche abbaubare Fraktion, c = Abbaurrate von b, d = a + b, lag = Verzögerungsphase bis Abbaubeginn) und der effektive RP-Abbau bei einer angenommenen Passagerate von 5 %/h (ERP5)

Aufwuchs	Woche	a		b		c		d		lag		ERP5	
		%		%		%/h		%		h		%	
		Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw
1	1	16,6		79,1		17,3		95,7		0,9		75,3	
1	2	10,5		82,9		15,1		93,5		1,3		68,6	
1	3	16,0		77,0		15,6		92,9		1,4		70,3	
1	4	18,4		71,8		14,6		90,3		1,3		68,3	
1	5	9,2		79,4		14,1		88,6		1,2		64,2	
1	6	10,4		75,7		16,8		86,1		1,7		63,2	
1	7	25,4	15,2 <sup>a</sup>	63,0	75,6 <sup>a</sup>	13,6	15,3 <sup>ab</sup>	88,4	90,8 <sup>a</sup>	1,2	1,3 <sup>ab</sup>	68,8	68,4
2	1	7,4		87,5		16,0		94,8		1,0		70,5	
2	2	8,6		84,6		14,0		93,2		1,0		67,9	
2	3	17,0		75,9		15,2		92,9		1,4		70,0	
2	4	8,9		81,7		15,2		90,6		1,2		66,7	
2	5	14,9		75,6		13,2		90,5		1,2		66,0	
2	6	10,4		80,9		14,1		91,2		1,1		66,6	
2	7	13,2	11,5 <sup>b</sup>	74,4	80,1 <sup>b</sup>	13,4	14,5 <sup>a</sup>	87,6	91,6 <sup>b</sup>	1,2	1,2 <sup>a</sup>	64,5	67,5
3	1	8,0		85,7		18,7		93,7		1,5		70,6	
3	2	26,7		69,4		16,0		96,1		1,2		76,2	
3	3	11,7		80,2		17,9		91,9		1,6		68,4	
3	4	10,7		81,5		13,7		92,1		1,0		66,6	
3	5	15,3		75,4		15,1		90,8		1,5		67,6	
3	6	14,0		76,5		16,4		90,5		1,7		66,7	
3	7	12,0	14 <sup>ab</sup>	76,3	77,9 <sup>b</sup>	14,1	16,0 <sup>b</sup>	88,2	91,9 <sup>b</sup>	1,4	1,4 <sup>b</sup>	64,3	68,6
SEM		2,60		2,30		1,20		0,70		0,20		1,46	
Statistische Effekte		Irrtumswahrscheinlichkeit p=											
Aufwuchs		0,02		< 0,01		0,05		0,03		< 0,01		0,18	
Woche		0,03		< 0,0001		< 0,01		< 0,0001		0,16		< 0,0001	
Aufwuchs x Woche		< 0,0001		< 0,0001		0,86		< 0,0001		0,69		< 0,01	

\* Mittelwerte der Versuchswoche innerhalb des Aufwuchses (Wo) und des Aufwuchses (Aufw)

<sup>a, b</sup> : signifikant verschieden mit  $p < 0,05$

Der Mittelwert des dritten Aufwuchses war mit 16,0 % am höchsten, wobei dieser Unterschied nur zum Durchschnitt des zweiten Aufwuchses (14,5 %) abgesichert werden konnte. Für die d-Fraktion des Rohproteins waren die statistischen Effekte Aufwuchs, Woche und (Aufwuchs x Woche) signifikant ( $p < 0,05$ ). Mit zunehmender Aufwuchsdauer nahm die d-Fraktion ab, im dritten Aufwuchs wurde allerdings zunächst ein Anstieg von der ersten (93,7 %) zur zweiten (96,1 %) beobachtet. Die Aufwuchsmittelwerte lagen zwischen 90,8

und 91,9 %, wobei der Mittelwert des ersten Aufwuchses signifikant niedriger war als die Mittelwerte der Folgeaufwüchse.

Die Lag-Phase ließ innerhalb der Aufwüchse keine eindeutige Tendenz bezüglich einer Veränderung mit zunehmendem Pflanzenalter erkennen. Die Aufwuchsmittelwerte des zweiten und dritten Aufwuchses (1,2 und 1,4 h) unterschieden sich signifikant.

Die ERP5-Gehalte nahmen in allen drei Aufwüchsen erwartungsgemäß mit zunehmender Aufwuchsdauer ab, wobei diese Abnahme im ersten Aufwuchs von der ersten (72,3 %) zur zweiten Woche (65,2 %) am stärksten ausgeprägt war. Eine signifikante Zunahme des ERP5 wurde in der 7. Woche festgestellt. Im zweiten Aufwuchs nahm der ERP5-Gehalt erst ab der 4. Woche ab.

Der dritte Aufwuchs zeigt einen signifikanten Anstieg des ERP5-Gehaltes von der ersten (64,5 %) zur zweiten Woche (70,6 %). In den Wochen 3 bis 6 bleibt der ERP5-Gehalt auf konstantem Niveau und fällt zur 7. Woche auf 64,3 % ab.

Die Aufwuchsmittelwerte der ERP5 lagen zwischen 67,5 und 68,6 % und zeigten keinen signifikanten Unterschied.

#### **4.2.2 Abbauparameter der Rationsergänzungskomponenten**

Die Abbauparameter der Rationsergänzungskomponenten für die TM, NDF und ADF finden sich im Anhang in den Tabellen 7.9 bis 7.11.

An dieser Stelle seien lediglich die Abbauparameter für die organische Substanz und das Rohprotein dargestellt, da sich u. a. aus diesen die stündliche N-Freisetzung je kg fermentierter organischer Masse der Ration ableitet, auf die bei der folgenden Betrachtung einer synchronen Freisetzung von N und Energie in den Rationen ausführlicher eingegangen werden soll.

Die Abbauparameter der OM und des RP für die Rationsergänzungskomponenten Heu, Maissilage und Konzentratfuttermittel sind in Tabelle 4.2.8 und Tabelle 4.2.9 dargestellt.

Durch eine hohe a-Fraktion der OM (22,1 %) hatte das Heu trotz der geringen Abbaurate der b-Fraktion von 4,6 %/h immer noch einen EOM5-Gehalt von 48,7 %. Die EOM5 der Maissilage lag bedingt durch eine Abbaurate der b-Fraktion von 3,6 %/h nur bei 38,2 %.

Die Konzentratfuttermittel unterschieden sich in erster Linie hinsichtlich der jeweiligen Abbauraten der unlöslichen Fraktion. So wies das KFS eine Abbaurate von 27,9 %/h auf, die Abbaurate bei dem KFL lag bei 4,3 %/h. Die d-Fraktion war beim KFS mit 82,4 %

niedriger als beim KFL (93,0%). Aufgrund der hohen Abbaurate lag die EOM5 des KFS bei 71 %, während beim KFL bei einer Passagerate von 5 %/h nur 47,6 % der OM abgebaut wurden.

Mit 88,6 % d-Fraktion des Rohproteins und einer Abbaurate von 22,9 %/h lag der ERP5-Gehalt bei den untersuchten Heuvarianten im Durchschnitt bei 69,7 %.

Die Maissilagen hatten eine durchschnittliche Abbaurate des RP von 52,5 %/h und mit einer a-Fraktion von 43,0 % sowie 41,2 % potentiell abbaubarem RP einen ERP5-Gehalt von 73,5 %.

Mit 7 % löslicher und 83 % unlöslicher abbaubarer Fraktion lag die potentiell abbaubare Fraktion des Rohprotein beim KFS bei 90,1 % und damit höher als beim KFL, welches mit 8,8 % a-Fraktion und 77,5 % b-Fraktion einen Anteil an potentiell abbaubarem Rohprotein von 86,3 % (Fraktion d) am gesamten Rohprotein hatte. Aus der niedrigen Abbaurate und der niedrigeren abbaubaren Fraktion d resultiert für das KFL ein wesentlich niedrigerer ERP5 (40,0 %) als für das KFS (76,2 %).

**Tabelle 4.2.8:** Mittelwerte und Standardabweichungen der *in situ*-Abbauparameter der organischen Masse und der effektiv abgebauten organischen Masse bei einer angenommenen Passagerate von 5 %/h (EOM5) der Rationsergänzungsfuttermittel Heu, Maissilage, Konzentratfutter schnell fermentierbar (KFS) und Konzentratfutter langsam fermentierbar (KFL)

Anzahl n=	Futtermittel	a %	b %	c %/h	d %	lag h	EOM5 %
7	Heu	22,1 6,65	59,7 8,56	4,6 0,01	81,8 2,33	1,1 0,97	48,7 3,57
7	Maissilage	14,3 3,77	59,4 2,64	3,6 0,00	73,8 3,56	0,6 0,80	38,2 3,36
3	KFS	7,9 1,02	74,5 1,42	27,9 3,45	82,4 0,41	0,6 0,00	71,0 1,06
3	KFL	9,7 1,49	83,3 3,80	4,3 0,00	93,0 2,93	0,2 0,32	47,6 0,73

**Tabelle 4.2.9:** Mittelwerte und Standardabweichungen der *in situ*-Abbauparameter des Rohproteins und dem effektiv abgebauten Rohprotein bei einer angenommenen Passagerate von 5 %/h (ERP5) der Rationsergänzungsfuttermittel Heu, Maissilage, Konzentratfutter schnell fermentierbar (KFS) und Konzentratfutter langsam fermentierbar (KFL)

Anzahl n =	Futtermittel	a	b	c	d	lag	ERP5						
		%	%	%/h	%	h	%						
7	Heu	21,6	6,71	64,0	6,10	22,9	1,67	88,6	1,50	1,8	0,16	69,7	2,42
7	Maissilage	43,0	8,45	41,2	7,59	52,5	9,05	84,2	1,07	1,7	0,15	73,5	8,64
3	KFS	7,0	1,08	83,1	1,22	27,4	4,26	90,1	0,25	0,2	0,33	76,2	1,22
3	KFL	8,8	1,81	77,5	4,92	3,5	0,64	86,3	5,94	0,0	0,00	40,0	0,28

### 4.3 Multiple lineare Regression zur Kalkulation des UDP-Gehaltes von Grobfuttermitteln

#### *In situ*- UDP-Gehalte

Tabelle 4.3.1 zeigt die *in situ* UDP-Gehalte aller untersuchter Grünlandaufwüchse, der Heuvarianten und der Maissilagen für angenommene Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (UDP2, 5 und 8). Für alle Varianten wurde eine Zunahme des UDP-Gehaltes mit zunehmender Passagegeschwindigkeit beobachtet. Das UDP2 lag über alle Varianten zwischen 122 und 268 g/kg RP, das UDP5 zwischen 222 und 406 g/kg RP.

Bei einer angenommenen Passagerate von 8 %/h wiesen die Futtermittel UDP-Gehalte zwischen 255 und 491 g/kg RP auf.

**Tabelle 4.3.1:** *In situ* UDP der alpinen Grünlandaufwüchse sowie der Heuvarianten und Maissilagen bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (UDP2, UDP5, UDP8).

Jahr	Aufwuchs	Woche	UDP2	UDP5	UDP8
			g/kg RP		
2001	1	1	122	223	297
2001	1	2	194	331	431
2001	1	3	163	286	376
2001	1	4	211	329	415
2001	1	5	234	370	468
2001	1	6	237	354	443
2001	1	7	176	268	333
2001	2	1	162	292	390
2001	2	2	166	294	390
2001	2	3	166	286	376
2001	2	6	205	355	463
2001	2	7	268	406	505
2001	3	1	185	309	405
2001	3	2	145	258	340
2001	3	3	216	358	461
2001	3	4	210	350	445
2001	3	5	238	380	482
2001	3	6	246	390	488
2001	3	7	266	397	491
2002	1	1	155	282	380
2002	1	2	174	308	404
2002	1	3	192	318	409
2002	1	4	194	315	400
2002	1	5	228	356	447
2002	1	6	258	392	485
2002	1	7	245	366	452
2002	2	1	179	324	428
2002	2	2	182	321	419
2002	2	3	160	284	372
2002	2	4	173	284	365
2002	2	5	193	315	399
2002	2	6	200	324	415
2002	2	7	184	286	358

**Tabelle 4.3.1:** (Fortsetzung): *In situ* UDP der alpinen Grünlandaufwüchse sowie der Heuvarianten und Maissilagen bei angenommenen Passageraten von 2, 5 8 %/h (UDP2, UDP5, UDP8).

Jahr	Aufwuchs	Woche	UDP2	UDP5	UDP8
			g/kg RP		
2003	2	1	157	270	354
2003	2	2	218	347	440
2003	2	3	211	329	415
2003	2	4	234	370	470
2003	2	5	227	353	444
2003	2	6	210	324	404
2003	2	7	252	372	458
2003	3	1	160	281	373
2003	3	2	124	219	291
2003	3	3	171	275	356
2003	3	4	197	318	409
2003	3	5	171	270	344
2003	3	6	176	278	358
2003	3	7	181	275	345
2001	I	Heu	266	390	477
2001	II	Heu	248	368	450
2001	III	Heu	250	366	449
2002	I	Heu	203	297	363
2002	II	Heu	210	309	382
2003	II	Heu	222	332	411
2003	III	Heu	224	348	437
2001	I	Maissilage	220	292	347
2001	II	Maissilage	184	230	266
2001	III	Maissilage	201	268	317
2002	I	Maissilage	236	308	365
2002	II	Maissilage	211	278	329
2003	II	Maissilage	180	222	255
2003	III	Maissilage	188	230	262

### **Die Rohproteinfraktionierung nach dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS)**

Die Futtermittel wurden entsprechend der von LICITRA et al. (1996) beschriebenen Vorgehensweise auf die Rohproteinfraktionen untersucht.

In Tabelle 4.3.2 sind die Rohproteinfraktionen sowie die PNDF- und PADF-Gehalte der untersuchten Futtermittel dargestellt. Die Analysen auf PNDF und PADF erfolgte durch Filtration durch Papierfilter. Die A-Fraktion lag bei den untersuchten Futtermitteln zwischen 93 und 602 g/kg RP.

Die schnell abbaubare B1-Fraktion variierte von 16 bis 148 g/kg RP.

Die langsamer abbaubare B2-Fraktion lag bei den Grünlandvarianten und dem Heu zwischen 329 und 594 g/kg RP, die Maissilagen wiesen mit durchschnittlich 303 g/kg RP einen niedrigeren Anteil an B2 Fraktion auf.

Die B3-Fraktion lag mit 125 bis 286 g/kg RP in den Grünlandvarianten und dem Heu ebenfalls über den Werten der Maissilagen, deren durchschnittlicher B3-Gehalt bei 82 g/kg RP lag.

Die ADF-unlösliche Proteinfraktion C lag bei allen untersuchten Futtermitteln zwischen 15 und 75 g/kg RP.

**Tabelle 4.3.2:** Rohproteinfraktionierung der Grünlandaufwüchse, der Heuvarianten und der Maissilagen nach dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS)

Jahr	Aufwuchs	Woche	A	B1	B2	B3	C	PNDF*	PADF*
			g/kg RP					g/kg TM	
2001	1	1	119	148	546	171	15	459	241
2001	1	2	133	122	567	159	19	489	276
2001	1	3	259	0	593	125	24	472	287
2001	1	4	195	78	555	131	41	536	332
2001	1	5	202	81	541	140	35	541	328
2001	1	6	298	16	497	151	39	624	389
2001	1	7	230	58	483	150	78	606	367
2001	2	1	138	85	558	184	35	478	273
2001	2	2	142	103	559	164	33	467	290
2001	2	3	128	91	539	193	49	539	322
2001	2	6	222	37	468	202	72	570	359
2001	2	7	176	67	478	212	68	603	356
2001	3	1	178	87	562	137	37	490	319
2001	3	2	178	104	554	130	34	450	295
2001	3	3	163	60	568	171	38	494	286
2001	3	4	203	63	508	179	46	558	356
2001	3	5	159	77	523	198	43	549	325
2001	3	6	199	53	474	224	50	546	334
2001	3	7	216	26	464	233	60	593	369
2002	1	1	148	111	544	174	24	434	236
2002	1	2	93	140	551	189	26	520	282
2002	1	3	154	93	537	180	36	579	327
2002	1	4	205	49	516	183	47	648	381
2002	1	5	182	55	500	219	44	624	362
2002	1	6	180	67	478	210	65	655	367
2002	1	7	221	67	471	160	81	662	397
2002	2	1	165	47	565	186	36	489	304
2002	2	2	140	50	518	261	31	551	319
2002	2	3	169	39	571	188	33	540	332
2002	2	4	195	62	512	190	41	564	350
2002	2	5	214	72	470	187	58	574	356
2002	2	6	180	54	500	210	56	582	353
2002	2	7	216	72	464	192	56	616	382

**Tabelle 4.3.2** (Fortsetzung): Rohproteinfraktionierung der Grünlandaufwüchse, der Heuvarianten und der Maissilagen nach dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS)

Jahr	Aufwuchs	Woche	g/kg RP					g/kg TM	
			A	B1	B2	B3	C	PNDF*	PADF*
2003	2	1	172	66	559	174	30	462	286
2003	2	2	134	129	587	118	32	463	292
2003	2	3	186	76	544	144	50	515	322
2003	2	4	145	106	570	127	52	456	303
2003	2	5	193	64	501	185	57	539	344
2003	2	6	215	77	460	175	72	572	367
2003	2	7	206	42	494	187	70	539	357
2003	3	1	143	106	594	126	31	437	267
2003	3	2	170	94	566	135	35	425	264
2003	3	3	198	84	545	137	36	445	268
2003	3	4	168	105	533	149	46	466	298
2003	3	5	224	98	477	156	45	485	304
2003	3	6	197	87	483	189	44	512	308
2003	3	7	200	60	522	164	54	485	317
2001	I	Heu	188	16	435	286	75	609	321
2001	II	Heu	227	30	421	262	61	583	337
2001	III	Heu	269	56	371	251	53	578	331
2002	I	Heu	183	65	435	262	55	569	331
2002	II	Heu	190	40	452	254	65	602	354
2003	II	Heu	151	50	392	341	66	591	339
2003	III	Heu	172	57	430	282	59	573	332
2001	I	Maissilage	482	-1	380	67	72	464	264
2001	II	Maissilage	561	33	259	88	59	521	255
2001	III	Maissilage	541	26	198	160	75	610	264
2002	I	Maissilage	467	48	345	77	63	480	273
2002	II	Maissilage	523	38	321	62	56	511	277
2003	II	Maissilage	504	25	337	77	57	477	259
2003	III	Maissilage	602	18	281	45	54	430	241

\*PNDF, PADF: Die Filtration des in neutralem bzw. sauren Detergenz gekochten Probenmaterials erfolgte in Abweichung zur Futtermittelanalyse durch Papierfilter (LICITRA et al., 1996).

### Multiple lineare Regressionsanalyse

Datensätze von 61 Futtermitteln fanden Eingang in die Regressionsgleichung.

Tabelle 4.3.3 zeigt die Parameter der Regressionsgleichung, deren Irrtumswahrscheinlichkeit sowie die Bestimmtheitsmaße.

Die Form der Gleichung zur Schätzung der UDP-Gehalte ist für die angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h nicht identisch sondern unterscheidet sich neben den Regressionskoeffizienten auch hinsichtlich der Regressionsvariablen, die in die Gleichung Eingang fanden. Der RP-Gehalt des Futtermittels allein wurde in keine der drei Gleichungen als unabhängige Variable integriert.

**Tabelle 4.3.3:** Parameter des statistischen Modells, deren Signifikanzen und Bestimmtheitsmaße der Regressionsgleichungen zur Schätzung des UDP bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (UDP2, UDP5, UDP8) aus der chemischen Fraktionierung des Futter-Rohproteins nach dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) von Grundfuttermitteln

	UDP2		UDP5		UDP8	
	Parameter	<i>P</i>	Parameter	<i>P</i>	Parameter	<i>P</i>
Intercept	204,3207	< 0,0001	321,9023	< 0,0001	285,5459	0,0048
C	1,0753	< 0,0001			1,2143	0,0015
PADF			0,1676	0,0006		
RP*(A+B1)	-0,0014	0,001	-0,0022	0,0009		
RP*C <sup>2</sup>			0,0001	0,031		
PNDF*B2					0,0005	0,076
(A+B1)/PNDF					-110,1740	0,033
R <sup>2</sup> des Modells	0,51		0,52		0,56	

Aus Tabelle 4.3.3 ergeben sich folgende Gleichungen zur Schätzung der UDP-Gehalte:

$$\text{UDP2} = 204,3207 + (1,0753 \times C) + (-0,0014 \times (\text{RP} \times (\text{A} + \text{B1})))$$

$$\text{UDP5} = 321,9023 + (0,1676 \times \text{PADF}) + (-0,0022 \times (\text{RP} \times (\text{A} + \text{B1}))) + (0,0001 \times (\text{RP} \times \text{C}^2))$$

$$\text{UDP8} = 285,5459 + (1,2143 \times C) + (0,0005 \times (\text{PNDF} \times \text{B2})) + (-110,1740 \times ((\text{A} + \text{B1}) / \text{PNDF}))$$

Die Bestimmtheitsmaße der Regressionsgleichungen waren für die Schätzung des UDP2  $R^2 = 0,51$ , für die Schätzung des UDP5  $R^2 = 0,52$  und für das UDP8  $R^2 = 0,56$ .

**Tabelle 4.3.4:** Differenzen zwischen dem *in situ* UDP und den anhand der chemischen Fraktionierung mittels multipler linearer Regression geschätzten UDP Werten von Grünlandaufwüchsen des Alpenraumes unterschiedlicher Vegetationsstadien sowie verschiedener Heu-Varianten und Maissilagen unter Annahme der Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (UDP2, UDP5, UDP8).

Jahr	Aufwuchs	Woche	UDP2	UDP5	UDP8
			Differenzen (g/kg RP)		
2001	1	1	-30	-35	-68
2001	1	2	26	47	42
2001	1	3	-12	-5	-18
2001	1	4	15	15	-13
2001	1	5	41	57	51
2001	1	6	37	25	10
2001	1	7	-12	-21	-39
2001	2	1	-22	-5	-20
2001	2	2	-13	3	-8
2001	2	3	-48	-51	-71
2001	2	6	-30	-10	7
2001	2	7	34	41	37
2001	3	1	13	24	-4
2001	3	2	-15	-8	-43
2001	3	3	26	52	39
2001	3	4	16	33	14
2001	3	5	36	56	48
2001	3	6	37	59	64
2001	3	7	41	42	39
2002	1	1	-15	6	14
2002	1	2	-12	3	-7
2002	1	3	-9	-7	-28
2002	1	4	-21	-30	-67
2002	1	5	10	10	-6
2002	1	6	12	23	5
2002	1	7	-14	-17	-41
2002	2	1	-6	20	7
2002	2	2	-12	0	-10
2002	2	3	-37	-41	-66
2002	2	4	-22	-35	-64
2002	2	5	-21	-22	-37
2002	2	6	-26	-28	-40
2002	2	7	-31	-56	-88

**Tabelle 4.3.4** (Fortsetzung): Differenzen zwischen dem *in situ* UDP und den anhand der chemischen Fraktionierung mittels multipler linearer Regression geschätzten UDP Werten von Grünlandaufwüchsen des Alpenraumes unterschiedlicher Vegetationsstadien sowie verschiedener Heu-Varianten und Maissilagen unter Annahme der Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (UDP2, UDP5, UDP8).

Jahr	Aufwuchs	Woche	UDP2	UDP5	UDP8
			Differenzen (g/kg RP)		
2003	2	1	-16	-15	-40
2003	2	2	48	67	43
2003	2	3	11	10	-16
2003	2	4	27	46	52
2003	2	5	12	13	6
2003	2	6	-16	-32	-44
2003	2	7	20	8	5
2003	3	1	-6	10	-17
2003	3	2	-45	-54	-90
2003	3	3	5	8	-26
2003	3	4	13	22	7
2003	3	5	-2	-9	-39
2003	3	6	-17	-28	-44
2003	3	7	-30	-55	-74
2001	I	Heu	13	12	5
2001	II	Heu	19	18	16
2001	III	Heu	47	49	53
2002	I	Heu	-15	-43	-65
2002	II	Heu	-27	-55	-76
2003	II	Heu	-18	-38	-34
2003	III	Heu	-2	-3	1
2001	I	Maissilage	-12	-28	0
2001	II	Maissilage	-20	-58	-33
2001	III	Maissilage	-22	-39	-17
2002	I	Maissilage	24	6	38
2002	II	Maissilage	9	-13	14
2003	II	Maissilage	-31	-78	-58
2003	III	Maissilage	-8	-48	9

Tabelle 4.3.4 zeigt die Differenzen in g/kg RP zwischen dem *in situ* UDP und den anhand der chemischen Fraktionierung mittels multipler linearer Regression geschätzten UDP Werten der Futtermittel.

Insgesamt betrachtet waren sowohl positive als auch negative Abweichungen der anhand der Regressionsgleichung geschätzten UDP-Gehalte von den *in situ* UDP-Gehalten zu beobachten.

Die Abweichung des geschätzten UDP-Gehaltes von dem *in situ* UDP-Gehalt überschritt bei keinem der Futtermittel 90 g/kg RP.

#### **4.4 Untersuchungen zum synchronen Abbau von N und OM**

##### **4.4.1 Synchronismus der Einzelfuttermittel**

In Tabelle 4.4.1 ist der durchschnittlich stündlich freigesetzte Stickstoff im Verhältnis zu der durchschnittlich stündlich fermentierten OM aus den Grünlandaufwüchsen für die Zeitintervalle 0 - 2, 2 - 10 und 10 - 16 h nach Inkubationsbeginn sowie der Synchronismusindex der Grünlandaufwüchse dargestellt. Im Zeitintervall 0 - 2 h wurde zwischen 18 und 55 (g N/kg OM)/h freigesetzt, wobei die Woche einen signifikanten Einfluss auf das N/OM-Verhältnis hatte. In allen Aufwüchsen war eine abnehmende Tendenz von der ersten zur 7. Versuchswoche zu beobachten.

Im Zeitintervall 2 - 10 h wurde zwischen 47 und 77 (g N/kg OM)/h freigesetzt. Der Mittelwert des zweiten Aufwuchses lag mit 66 (g N/kg OM)/h über dem des ersten und des dritten Aufwuchses (59 und 61 (g N/kg OM)/h), wobei der Unterschied nur zum ersten Aufwuchs abgesichert werden konnte.

Im Zeitintervall 10 - 16 h wurde zwischen 22 und 40 (g N/kg OM)/h freigesetzt. Eine Abnahme von 35 bis auf 27 (g N/kg OM)/h von der ersten bis zur 7. Woche wurde nur für den ersten Aufwuchs beobachtet, dieser wies auch mit 30 (g N/kg OM)/h den niedrigsten Mittelwert auf. Der Aufwuchs und die Woche hatten einen signifikanten Einfluss auf das N/OM - Verhältnis. Interaktionen von Aufwuchs und Woche wurden für kein Zeitintervall beobachtet.

**Tabelle 4.4.1:** Mittelwerte<sup>1</sup> des durchschnittlich stündlich *in situ* freigesetzten N in g je kg fermentierter organischer Masse (OM) in drei Zeitintervallen nach Beginn der Inkubation sowie der Synchronismusindex (SI)<sup>2</sup>

Aufwuchs	Woche	(g N/kg OM)/h						SI
		0-2 h		2-10 h		10-16 h		
		Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo	Aufw	Wo
1	1	51		64		35		0,16
1	2	36		62		34		0,24
1	3	34		55		29		0,37
1	4	40		65		32		0,20
1	5	38		59		30		0,27
1	6	22		54		22		0,29
1	7	30	36	54	59 <sup>a</sup>	27	30 <sup>a</sup>	0,33
2	1	46		55		37		0,21
2	2	53		62		40		-0,02
2	3	33		77		34		0,31
2	4	38		61		36		0,21
2	5	34		65		37		0,20
2	6	35		63		33		0,28
2	7	44	40	69	66 <sup>b</sup>	37	36 <sup>b</sup>	0,10
3	1	34		64		35		0,21
3	2	55		64		36		0,21
3	3	31		71		36		0,09
3	4	38		59		40		0,26
3	5	33		61		33		0,28
3	6	18		47		27		0,39
3	7	22	33	64	61 <sup>ab</sup>	35	35 <sup>b</sup>	0,34
SEM		7,6		5,4		2,6		0,9
Statistische Effekte					Irrtumswahrscheinlichkeit p =			
Aufwuchs			0,16		0,04	<0,0001		0,14
Woche			0,00		0,11	0,00		0,24
Aufwuchs x Woche			0,52		0,26	0,54		0,21

1 Mittelwerte der Versuchswoche innerhalb des Aufwuchses (Wo) und des Aufwuchses (Aufw)

2 SI bezogen auf den durchschnittlichen stündlichen Abbau von N und OM in 24 h

Der Synchronismusindex lag bei allen Grünlandaufwüchsen zwischen -0,02 und 0,39. Die Effekte Aufwuchs, Woche sowie die Interaktion (Aufwuchs x Woche) waren nicht signifikant.

Tabelle 4.4.2 zeigt den durchschnittlich stündlich freigesetzten N je kg OM in den drei Zeitintervallen 0-2 h, 2-10 h und 10-16 h für die Rationsergänzungsfuttermittel Heu und Maissilage sowie die Konzentratfuttermittel schnell bzw. langsam fermentierbar. Ausgehend von dem optimalen Verhältnis von 25 (g N/kg OM)/h wies das Heu einen deutlichen N-Überschuss (52 (g N/kg OM)/h) im Intervall 2-10 h auf, während die Intervalle 0 - 2 h und 10 - 16 h mit 25 bzw. 28 (g N/kg OM)/h ein nahezu optimales N/OM-Verhältnis zeigten. Die

Maissilage hatte den größten N-Überschuss mit 56 (g N/kg OM)/h im Intervall 0 - 2 h. Im Intervall 10 - 16 h wurden stündlich nur noch 9 g N je kg OM freigesetzt.

**Tabelle 4.4.2:** Durchschnittlich stündlich freigesetzter N je kg OM der Rationsergänzungskomponenten Heu, Maissilage, Konzentratfutter, schnell fermentierbar und Konzentratfutter, langsam fermentierbar in drei Zeitintervallen nach Beginn der Inkubation sowie der Synchronismusindex (SI)<sup>1</sup>

<b>Futtermittel</b>	<b>n =</b>	<b>0-2 h</b>	<b>2-10 h</b>	<b>10-16 h</b>	<b>SI</b>
			(g N/kg OM)/h		
Heu	7	25	52	28	0,43
Maissilage	7	56	29	9	0,36
KFS	2	22	25	26	0,95
KFL	2	15	14	15	0,61

1 bezogen auf den durchschnittlichen stündlichen Abbau von N und OM in 24 h

Das KFS zeigte mit 22 - 26 (g N/kg OM)/h in allen drei Zeitintervallen nahezu optimalen Synchronismus (SI = 0,95). Auch das KFL zeigte eine kontinuierliche Freisetzung von N und OM in allen drei Zeitintervallen. Allerdings wurden im KFL in den drei Zeitintervallen nur 14-15 (g N/kg OM)/h freigesetzt, was einen relativen N-Mangel darstellt. Demzufolge lag der SI nur bei 0,61.

#### 4.4.2 Synchronismus der Rationen

In der Abbildung 4.4.1 ist der durchschnittlich stündlich freigesetzte N je kg fermentierter OM in den Rationen für drei Zeitintervalle 0 - 2, 2 - 10 und 10 - 16 h nach Inkubationsbeginn dargestellt.

Die Darstellung zeigt die Rationen auf Basis des Wiesenfutters der ersten, vierten und siebenten Woche. Die großen Buchstaben A, B, C und D zeigen die signifikanten Unterschiede im freigesetzten N je kg OM/h für die Mittelwerte von Kraftfutterart und -menge. Die kleinen Buchstaben a, b und c zeigen die signifikanten Unterschiede bedingt durch die Vegetationswoche des Wiesenfutters innerhalb eines Rationstyps. Die gestrichelte Linie zeigt das angenommene Optimum von 25 g freigesetztem N je kg fermentierter OM.

Die Rationen zeigten in den ersten zwei Stunden nach Inkubationsbeginn keinen Mangel an N, ausgehend von einem optimalen Verhältnis für die mikrobielle Proteinsynthese von 25 (g N/kg OM)/h.

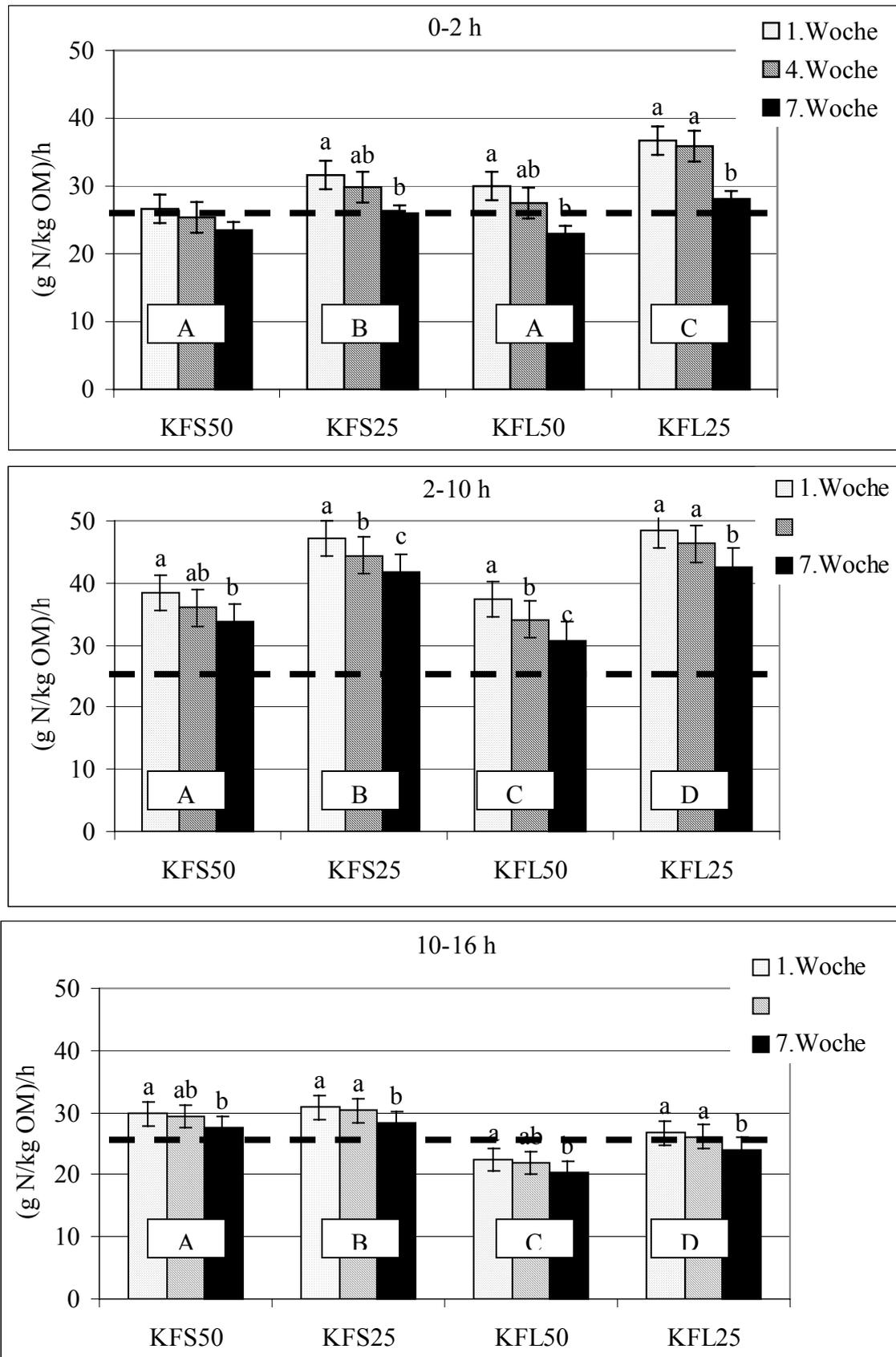
Lediglich die Rationen auf Basis der 7. Vegetationswoche in Kombination mit 50 % KFS und 50 % KFL zeigten im Zeitintervall 0-2 h eine geringfügige Unterschreitung dieses Optimums

(23 (g N/kg OM)/h).

Der größte N-Überschuss wurde in den Rationen KFL25 festgestellt, wobei dieser mit 48 bzw. 46 (g N/kg OM)/h für Rationen basierend auf Wiesenfutter der ersten bzw. 4. Woche im Vergleich zu den Rationen basierend auf Wiesenfutter der 7. Woche am höchsten war.

Im Intervall 2 - 10 h lagen die stündlich freigesetzten N-Mengen je kg fermentierter OM zwischen 31 und 49 g. Sowohl Kraftfutterart als auch -menge hatte einen signifikanten Einfluss. Auch das Vegetationsstadium des Wiesenfutters in der Ration wirkte sich signifikant auf das Verhältnis von freigesetztem N zu OM aus. Die Rationen mit Wiesenfutter der ersten bzw. 4. Woche setzten im Pansen signifikant mehr (g N/kg OM)/h frei als die Rationen mit Wiesenfutter der 7. Woche.

Im Intervall 10 - 16 h lag die durchschnittlich stündlich freigesetzte N-Menge je kg fermentierter OM zwischen 19 und 31 g. Am niedrigsten waren die Werte in den KFL50-Rationen mit durchschnittlich 21 (g N/kg OM)/h. Insgesamt wiesen die Rationen auf Basis von Wiesenfutter der 7. Woche eine niedrigere Freisetzung von N im Verhältnis zur fermentierten OM auf als die Rationen auf Basis von Wiesenfutter der ersten bzw. 4. Woche.



**Abbildung 4.4.1:** Durchschnittlich freigesetzter N in (g/kg OM)/h in den Rationen

Tabelle 4.4.3 zeigt die Irrtumswahrscheinlichkeiten der untersuchten statistischen Effekte sowie den prozentualen Anteil des Effektes an der Gesamtvarianz.

Aufwuchs, Woche, (Aufwuchs x Woche), KF-Menge und (KF-Art x KF-Menge) waren in allen drei Zeitintervallen signifikant ( $p < 0,05$ ). Ebenfalls signifikant war in den Intervallen 0 - 2 und 10 - 16 h die KF-Art, im Intervall 2 - 10 h wies diese keine Signifikanz auf. Ebenfalls nicht signifikant waren für alle Intervalle die Interaktionen (Art x Woche) und (Menge x Woche). Im Zeitintervall 0-2 h hatten die Woche mit knapp 7 %, die KF-Menge mit 7,8 % und die Interaktion (Aufwuchs x Woche) mit 5,9 % den relativ größten Anteil an der Gesamtvarianz.

**Tabelle 4.4.3:** Die statistischen Effekte Aufwuchs (Aufw), Woche (Wo), Konzentratfütterart (Art), Konzentratfüttermenge (Menge) und Interaktionen des durchschnittlich stündlich freigesetzten N je kg fermentierter OM in den Rationen

statistische Effekte	p*	0-2 h	p*	2-10 h	p*	10-16 h
		Anteil des Effektes in % an der Gesamtvarianz		Anteil des Effektes in % an der Gesamtvarianz		Anteil des Effektes in % an der Gesamtvarianz
Aufw	< 0,01	1,31	< 0,0001	1,63	< 0,0001	6,77
Wo	< 0,0001	6,98	< 0,0001	7,82	< 0,0001	10,76
Art	< 0,0001	2,13	0,36	0,04	< 0,0001	32,18
Menge	< 0,0001	7,76	< 0,0001	42,01	< 0,0001	5,81
Aufw x Wo	< 0,0001	5,87	< 0,01	1,85	< 0,0001	2,70
Art x Menge	0,03	0,54	< 0,0001	1,15	< 0,0001	2,52
Art x Wo	0,43	0,64	0,94	0,08	0,70	0,25
Menge x Wo	0,81	0,32	0,82	0,13	0,78	0,21

\* p = Irrtumswahrscheinlichkeit

Im Zeitintervall 2 - 10 h wurde die Gesamtvarianz zu 42 % durch die KF-Menge erklärt, während die Woche mit 7,8 % im Vergleich zu den anderen untersuchten Effekten ebenfalls noch einen relativ großen Anteil an der Gesamtvarianz hatte.

Im Intervall 10 - 16 h war die KF-Art mit 32 % bei der Erklärung der Gesamtvarianz dominierend, die Woche erklärte 10,8 % der Gesamtvarianz.

Die Varianz des (N/OM)/h wurde für die Intervalle 0 - 2 h, 2 - 10 h und 10 - 16 h zu 44, 76 und 66 % durch das angewendete statistische Modell erklärt.

Tabelle 4.4.4 zeigt den Synchronismusindex (SI) der Rationen als Mittelwerte des Effektes (Woche x Menge).

Die Rationen mit einem Anteil von 50 % Kraftfutter wiesen einen höheren SI auf (0,65 - 0,70) als die Rationen mit 25 % KF (0,49 - 0,56).

Sowohl für die Rationen mit einem KF-Anteil von 50 % als auch mit 25 % nahm der SI mit zunehmender Woche tendenziell zu.

**Tabelle 4.4.4:** Synchronismusindizes (SI) der Rationen als Mittelwerte des Effektes (Woche \* KF-Menge)

Woche	KF50*	KF25*
1	0,65	0,49
2	0,67	0,49
3	0,68	0,53
4	0,69	0,53
5	0,70	0,56
6	0,68	0,54
7	0,70	0,55

\* Rationen mit einem Anteil von 50 % Konzentratfutter (KF50) bzw. einem Anteil von 25 % Konzentratfutter (KF25)

In Tabelle 4.4.5 sind die Irrtumswahrscheinlichkeiten der untersuchten statistischen Effekte für die SI der Rationen sowie der prozentuale Anteil des Effektes an der Gesamtvarianz des SI dargestellt.

Auf den SI hatten der Aufwuchs, die Woche, die KF-Menge sowie die Interaktionen (Aufwuchs x Woche) und (KF-Art x KF-Menge) signifikanten Einfluss.

Den relativ größten Anteil an der Gesamtvarianz hatte die Kraftfuttermenge mit 38,5 %.

Die KF-Art hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Varianz des SI.

**Tabelle 4.4.5:** Irrtumswahrscheinlichkeit der statistischen Effekte Aufwuchs, Woche Konzentratfütterart (KF-Art), Konzentratfüttermenge (KF-Menge) und die Interaktionen der Haupteffekte sowie der prozentuale Anteil an der Gesamtvarianz des Synchronismusindex (SI)

statistische Effekte	p*	Anteil des Effektes in % an der Gesamtvarianz
Aufwuchs	< 0,01	0,6
Woche	< 0,0001	2,8
KF-Art	0,48	0,0
KF-Menge	< 0,0001	38,5
Aufwuchs x Woche	< 0,0001	2,7
KF-Art x KF-Menge	0,02	0,3
Woche x KF-Menge	0,63	0,3
Woche x KF-Art	0,93	0,1

\* Irrtumswahrscheinlichkeit

## 5 Diskussion

### 5.1 *In situ*-Methode

Die Idee, eine *in situ*-Methode zur Schätzung des ruminalen Abbaus von Nährstoffen zu nutzen, ist nicht neu und wird bereits seit längerem in vielen europäischen und außer-europäischen Ländern zur Schätzung des ruminalen Abbaus von Futtermitteln verwendet. Obwohl auch die Angaben von Futterwerttabellen zu erheblichen Teilen auf *in situ*-Versuchen basieren, ist bis heute keine einheitliche Methodenvorschrift etabliert. Es ist zum einen noch nicht gelungen, die rein technischen Abläufe der Methode hinreichend zu standardisieren, zum anderen herrscht eine verwirrende Vielfalt in der rechnerischen Bearbeitung und Auswertung der gewonnenen Daten (SÜDEKUM, 2005). Insofern ist eine vergleichende Interpretation von *in situ*-Daten unterschiedlicher Studien nur unter Vorbehalt und Berücksichtigung der Versuchsdurchführung vorzunehmen.

Ein Aspekt der Methode, auf welchen in der Literatur immer wieder verwiesen wird, soll an dieser Stelle ausführlicher diskutiert werden. Die Schätzung des ruminalen RP-Abbaus mittels der *in situ*-Methode wird dadurch erschwert, dass während der Inkubation eine Besiedlung der Futterpartikel durch die Mikroorganismen des Pansen stattfindet (NOCEK & GRANT, 1987; NOCEK, 1988; MICHALET-DOREAU & OULD-BAH, 1989; WANDERLEY et al., 1993; VAZANT et al., 1998; MASS et al., 1999; KRAWIELITZKI et al., 2006). Da diese den Futterpartikeln anhaftenden Mikroorganismen nicht durch die an die Inkubation anschließenden Spülvorgänge entfernt werden, wird das RP der anhaftenden Mikroben als nicht abgebautes Futter-RP interpretiert und es kommt damit zwangsläufig zu einer Unterschätzung des ruminalen Futter-RP-Abbaus. Eine fehlende Korrektur um die mikrobielle Kontamination von *in situ*-Residuen ist nach VAZANT et al. (1998) die Hauptursache der erheblichen Variation von *in situ*-Ergebnissen.

In einer kürzlich publizierten Arbeit befassten sich KRAWIELITZKI et al. (2006) mit der Dynamik dieses Besiedlungsprozesses während der ruminalen Inkubation. Die Palette der untersuchten Futtermittel reichte dabei von Sojaextraktionsschrot und Konzentratfuttermitteln auf Getreidebasis über Körnermais und Gras sowie verschiedene Mischrationen bis hin zu Stroh. Mittels <sup>15</sup>N-Markermethode quantifizierten die Autoren den Anteil des mikrobiellen RP am residualen Futter-RP. Dabei fanden sie eine Abhängigkeit des Ausmaßes der mikrobiellen Kontamination vom NDF-Gehalt der Residuen (positiv korreliert). Die Besiedlungsrate hingegen war nicht mit dem NDF-Gehalt des Futtermittels, aber negativ mit

dem Gehalt an RP im Futtermittel korreliert. Daraus folgerten die Autoren, dass die Berücksichtigung der mikrobiellen Kontamination bei Grobfuttermitteln von entscheidender Relevanz hinsichtlich der Interpretation der *in situ* RP-Verluste ist, nicht jedoch bei Konzentratfuttermitteln.

Von den verschiedenen physikalischen und chemischen Möglichkeiten zur Schätzung der mikrobiellen Besiedlung von Futtermitteln sollen an dieser Stelle zwei unterschiedliche Vorgehensweisen näher diskutiert werden, da diese in der vorliegenden Arbeit Berücksichtigung fanden. MICHALET-DOREAU & OULD-BAH (1989) trennten die anhaftenden Mikroorganismen mittels eines Stomachers von den Futterpartikeln. Die Abtrennung wurde dabei durch mechanische Bearbeitung der Beutel mit den Residuen erreicht. Die Autoren formulierten anhand der Ergebnisse eine Korrekturgleichung für den effektiven RP-Abbau bei einer angenommenen Passagerate von 6 %/h, die das Ausmaß der mikrobiellen Kontamination schätzt:

$$\Delta \text{RP (\%)} = 6,4 - 0,353 \text{ RP} + 0,17 \text{ NDF},$$

mit

$\Delta \text{RP (\%)}$  = Wert, der zu dem effektiv abgebauten RP bei einer angenommenen Passagerate von 6 %/h addiert werden muss.

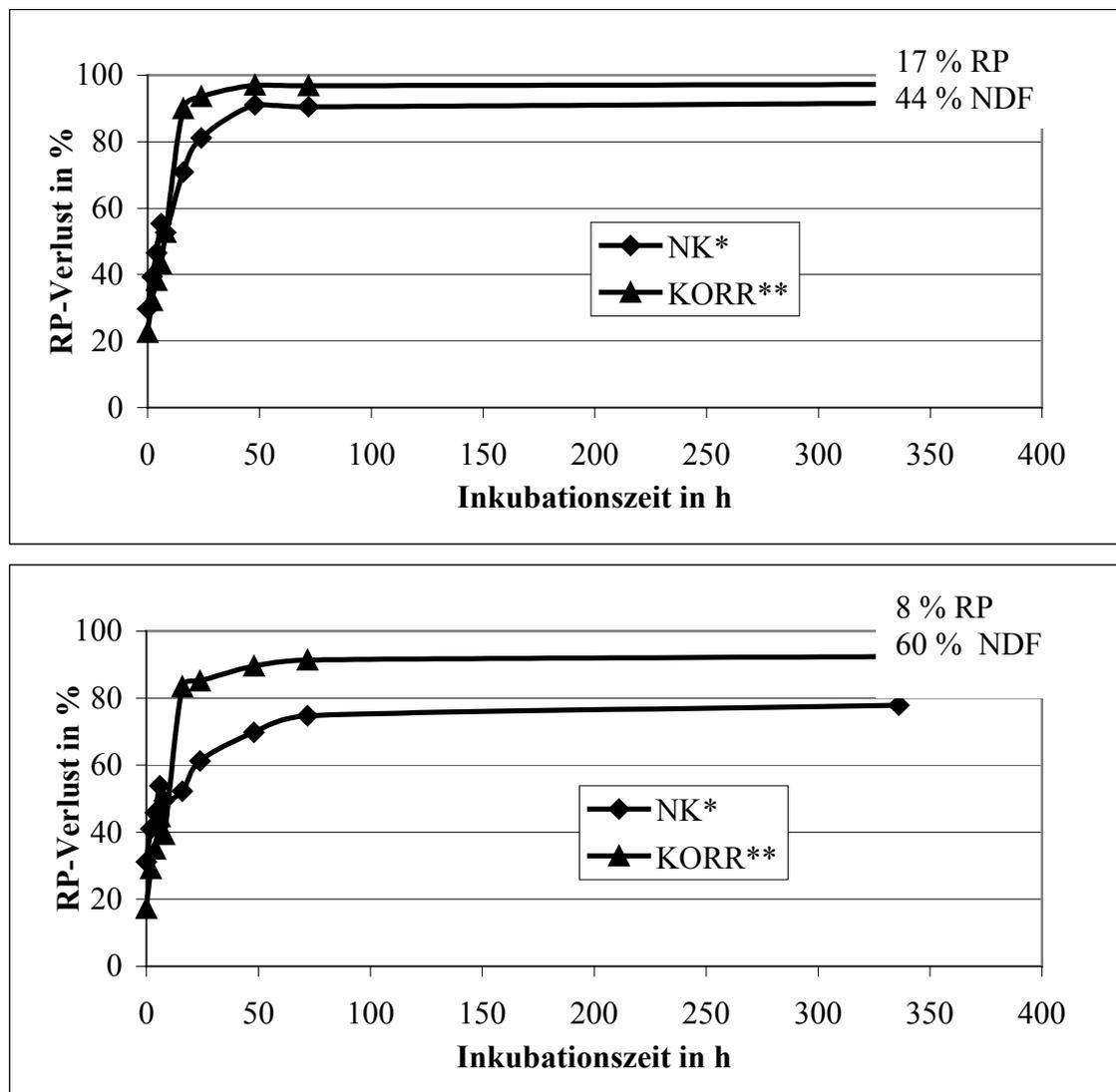
RP = RP-Gehalt des Futtermittels (%)

NDF = NDF-Gehalt des Futtermittels (%)

Diese Gleichung ist grundsätzlich mit den Aussagen von KRAWIELITZKI et al. (2006) in Zusammenhang zu bringen, dass nämlich zwischen dem Ausmaß der Besiedlung und dem NDF-Gehalt des Futtermittels ein positiver, zwischen der Besiedlungsrate und dem RP-Gehalt des Futtermittels jedoch ein negativer Zusammenhang besteht. An den eigenen Daten konnte der Zusammenhang zwischen NDF-Gehalt und Ausmaß der Besiedlung der Residuen durch Pansenmikroorganismen gezeigt werden (Abb. 5.1). In der Literatur wird die Effizienz der Stomacher-Methode sehr konträr diskutiert. MICHALET-DOREAU & OULD-BAH (1989) konnten 96 % der mikrobiellen TM durch das Stomachern von Futterpartikeln (Grassilage, Frischgras) entfernen, dagegen gelang MERRY & MCALLAN (1983) lediglich eine 76 %-ige Abtrennung der mikrobiellen Masse von den untersuchten Futtermitteln (gequetschte Gerste, Stroh). SCHMIDT et al. (2005) verglichen unterschiedliche Methoden zur Quantifizierung der mikrobiellen Kontamination von Grobfuttermitteln und fanden nach Behandlung im Stomacher niedrigere Werte für die bakterielle Kontamination im Vergleich zur <sup>15</sup>N-Markierung der Futtermittel bzw. Pansenbakterien. Sie schlossen ebenfalls auf eine

unzureichende Abtrennung der Pansenbakterien durch das Stomachern und eine daraus folgende Unterschätzung des ruminalen RP-Abbaus nach Korrektur mittels Stomacher.

In einer Übersichtsarbeit über die Anwendungsbereiche der *in situ*-Methode in den nordischen Ländern (Island, Norwegen, Schweden und Dänemark) räumen WEISBJERG & HVELPLUND (2005) ein, dass die standardisierte Anwendung des Stomachers zur Korrektur der RP-Verluste um die mikrobielle Kontamination in diesen Ländern zwar nicht als optimal anzusehen ist, aber den RP-Abbau immer noch besser beschreibt als wenn gar keine Korrektur vorgenommen würde.



\* nicht korrigiert

\*\* um die mikrobielle Kontamination korrigiert

**Abbildung 5.1:** Die unkorrigierten (NK) und mittels Analyse auf NDF-gebundenen N (NDIN) um die mikrobielle Kontamination der Residuen korrigierten (KORR) Rohprotein-(RP)-Verluste zweier Grünlandaufwüchse mit unterschiedlichen Gehalten an RP und Neutral-Detergenzienfaser (NDF)

Eine andere Vorgehensweise wird von MASS et al. (1999) vorgeschlagen. Die Höhe der mikrobiellen Besiedlung der Futterpartikel in den Beuteln wird anhand der Analyse der Residuen auf NDIN gemessen. Dieser Vorgehensweise liegt die Annahme zugrunde, dass nach 16-stündiger Inkubation im Pansen sämtliches Futter-RP, das nicht NDF-gebunden ist, abgebaut ist. Die Differenz zwischen dem RP-Gehalt und dem Gehalt an (NDIN x 6,25) der Residuen ab diesem Zeitpunkt ist demnach mikrobieller Herkunft. Da die Korrekturgleichung nach MICHALET-DOREAU & OULD-BAH (1989) lediglich eine Korrektur des effektiv abgebauten RP zu angenommenen Passageraten zulässt, damit aber keine Aussagen über die Abbauraten des RP gemacht werden können, kam in der vorliegenden Arbeit die NDIN-Methode zur Anwendung. Die Analyse der Residuen auf das NDIN lässt eine direkte Messung am Futtermittel zu bestimmten Inkubationszeiten zu, weshalb dann exaktere Aussagen über die Kinetik des RP-Abbaus gemacht werden können.

Die Korrektur mittels der NDIN-Methode ergab höhere ERP5-Gehalte als die Korrektur anhand der Gleichung von MICHALET-DOREAU & OULD-BAH (1989). Dieses Ergebnis stimmt mit den Beobachtungen von MERRY & McALLAN (1983) und SCHMIDT et al. (2005) überein, dass nämlich mittels der Stomacher-Methode das mikrobielle RP nur zu einem bestimmten Teil, nicht jedoch vollständig entfernt werden kann (Tab. 5.1).

**Tabelle 5.1:** Effektiver ruminaler Rohprotein-Abbau (%) ausgewählter Grünlandaufwüchse bei einer angenommenen Passagerate von 5 %/h (ERP5)

Aufwuchs	Woche	unkorrigiert <sup>1</sup>	MDkorr <sup>2</sup>	NDINKorr <sup>3</sup>
1	1	63,4	68,9	74,7
1	4	48,4	55,8	67,8
1	7	47,3	57,1	68,3
2	1	57,8	62,9	70,5
2	4	49,9	56,5	67,3
2	7	49,4	56,0	68,1
3	1	55,1	60,2	70,5
3	4	47,4	52,8	66,6
3	7	41,4	47,5	66,4

1 ERP5 ohne Korrektur um die mikrobielle Kontamination

2 ERP5 um die mikrobielle Kontamination korrigiert anhand der Gleichung von Michalet-Doreau und Ould-Bah (1989)

3 ERP5 um die mikrobielle Kontamination korrigiert anhand der NDIN-Analyse (MASS, et al. 1999)

Die Ergebnisse bestätigen in Übereinstimmung mit der zitierten Literatur zum einen die Notwendigkeit einer Korrektur um die mikrobielle Kontamination, zum anderen stellt sich die

Korrektur nach der von MICHALET-DOREAU & OULD-BAH (1989) vorgeschlagenen Gleichung als nicht ausreichend dar.

## 5.2 Chemische Zusammensetzung der Grünlandaufwüchse

Die TM-Gehalte sowie die Gehalte an Rohprotein der untersuchten Aufwüchse stimmen relativ gut mit den Angaben der DLG Futterwerttabelle für Wirtschaftsgrünland des Alpenraumes (Wiese, Mischbestand mit 40 - 60 % Gräsern) mit landesüblicher Nutzung von 2 - 3 Nutzungen/Jahr überein (UNIVERSITÄT HOHENHEIM - DOKUMENTATIONSSTELLE, 1997). Geringfügig höhere RP-Gehalte im ersten Aufwuchs lassen sich mit der Variation in der Bestandszusammensetzung erklären. Die analysierten Aschegehalte sind nicht direkt mit den Werten der Futterwert-Tabelle vergleichbar, da letztere willkürlich auf 10 % der TM gesetzt sind (UNIVERSITÄT HOHENHEIM, 1997). Die niedrigen TM-Gehalte der zweiten und dritten Aufwüchse der eigenen Untersuchung im Vergleich zu den angegebenen TM-Gehalten der DLG-Futterwerttabelle (13,2 - 19,2 % vs. 23 - 25 %) können mit den besonderen standörtlichen Bedingungen der beprobten Flächen erklärt werden. Das untersuchte Pflanzenmaterial stammte von zwei Flächen, wobei es sich bei der einen bis zur Ausbaggerung der Enns in den 1980er Jahren um eine Nasswiese handelte (M. SOBOTIK, 2004, pers. Mitt.). Außerdem zeigen die durchschnittlichen Niederschlagsmengen tendenziell höhere Werte für die Folgeaufwüchse (Tab. 5.2), die der Grund für die geringeren TM-Gehalte in den Folgeaufwüchsen sein können, da die TM-Gehalte in Abhängigkeit von der Witterung zum Erntezeitpunkt variieren.

**Tabelle 5.2:** Durchschnittliche\* Niederschlagsmenge (NS), Lufttemperatur (T) und Sonnenscheindauer (SD) zu den Aufwüchsen 1-3

Aufwuchs	NS (mm)	T (°C)	SD (h)
1	252,5	11,7	5,9
2	330,0	17,0	6,8
3	276,7	18,6	6,2

\* gemittelt über die Versuchsjahre 2001 - 2003

### **5.2.1 Einfluss des Vegetationsstadiums auf die chemische Zusammensetzung der Grünlandaufwüchse**

Der Einfluss des Vegetationsstadiums auf die Zusammensetzung der untersuchten Grünlandaufwüchse ist charakterisiert durch zunehmende TM-Gehalte, abnehmende RP-Gehalte und zunehmende Gehalte an NDF und ADF (siehe Tab. 4.1.1) mit zunehmendem Alter des Aufwuchses. Diese Ergebnisse werden durch zahlreiche frühere Untersuchungen bestätigt (BOSCH et al., 1992; VAN STRAALEN, 1993; ALERT & Eckardt, 1996; ALEXANDROV et al., 1997). Die zunehmenden TM-Gehalte mit zunehmendem Alter der Aufwüchse sind auf das sich zugunsten des Anteils der Stängel verschiebende Blatt/Stängel-Verhältnis zurückzuführen (TERRY & TILLEY, 1964; UGHERUGHE, 1986; OKAJIMA, 1996), wobei der Anteil der Zellwände auf Kosten des Zellinhaltes zunimmt (VAN SOEST, 1982). Da der RP-Gehalt des Zellinhaltes höher ist als der RP-Gehalt der Zellwände, ebenso Blätter einen höheren RP-Gehalt aufweisen als Stängel, kann der mit zunehmendem Alter der Aufwüchse abnehmende RP-Gehalt als „Verdünnungseffekt“ bezeichnet werden.

Eine Zunahme der Zellwandfraktionen schlägt sich mit fortschreitender Aufwuchsdauer in zunehmenden NDF- und ADF-Gehalten nieder und ist in erster Linie für den ersten und den zweiten Aufwuchs zu beobachten. Die steigenden NDF- und ADF-Gehalte sind dabei auf steigende Zellulose- und ADL-Gehalte zurückzuführen, während für den Gehalt an Hemizellulosen kein Einfluss der Aufwuchsdauer festgestellt werden konnte. Zunehmende NDF- und ADF-Gehalte mit zunehmendem Pflanzenalter wurden sowohl für Gräser als auch für Leguminosen (OMBABI et al., 2001; KLEEN, 2004) beobachtet, wobei der NDF-Gehalt bei Leguminosen niedriger ist als bei Gräsern (BUXTON, 1990). CHAVES et al. (2006) wiesen zudem bei Gräsern einen höheren NDF-Gehalt in der Stängel-Fraktion im Vergleich zu den Blättern nach.

Differenzierte Untersuchungen von CHEN et al. (2002) zeigten des weiteren einen höheren Anteil an Hemizellulosen in den früher, also im vegetativen Stadium angelegten, sowie den jüngeren Stängelabschnitten. Die reproduktiven und älteren Stängelabschnitte wiesen höhere Zellulosegehalte auf. Anhand der eigenen Daten lässt sich eine mengenmäßige Verschiebung des Blatt/Stängel-Verhältnisses zu Gunsten der Stängel durch die zunehmende Entwicklung von reproduktiven Trieben im ersten Aufwuchs anhand der zunehmenden Zellulosegehalte gut nachvollziehen. Für die untersuchten Wiesenschnitte des zweiten Aufwuchses können dem ersten Aufwuchs vergleichbare Ableitungen gemacht werden, wobei aus den durchschnittlich höheren RP- und niedrigeren NDF-Gehalten auf eine geringere Anzahl reproduktiver Triebe im Vergleich zum ersten Aufwuchs geschlossen werden kann. Trotzdem

kommt es noch zu einer Zunahme der Zellulose-Gehalte mit zunehmender Aufwuchsdauer. So ist davon auszugehen, dass auch im zweiten Aufwuchs noch reproduktive Triebe gebildet werden und es zu einer ähnlichen, wenn auch nicht mehr ganz so starken Verschiebung des Blatt/Stängel-Verhältnisses wie im ersten Aufwuchs kommt. Ähnliche Beobachtungen machte BABNIK (1995) in dreimal geschnittenem Welschem Weidelgras. Im eigenen Versuch zeigte der dritte Aufwuchs keine Zunahme der NDF- und ADF-Gehalte mit zunehmendem Aufwuchsalter, woraus geschlossen werden kann, dass keine reproduktiven Triebe mehr gebildet wurden. Die Beobachtungen von PUZIO (1998) und POSCH (1998), nach denen nach einer Überwinterung in gemischten Beständen Gräser oft die dominierende Rolle spielen und deshalb die Anteile an Leguminosen im ersten Aufwuchs aufgrund geringerer Blattfläche geringer sind, kann auf die untersuchten Grünlandaufwüchse übertragen werden. Als Folge eines Schnittes beobachteten GROOT et al. (1999) bei Gräsern eine geringere Blattgröße und Blattwachstumsrate. KLEEN (2003) wies ebenfalls eine relative Zunahme der Leguminosen in einem Klee-Gras-Bestand im Spätsommer nach. Die niedrigeren durchschnittlichen Gehalte an NDF in den Folgeaufwüchsen, die auf niedrigere Hemizellulose-Gehalte zurückzuführen sind, lassen den Schluss zu, dass der Anteil an Leguminosen und Kräutern an der TM der Folgeaufwüchse erhöht ist.

Durchschnittlich höhere RP-Gehalte des zweiten und dritten Aufwuchses im Vergleich zum ersten Aufwuchs sind ein Beleg für eine weniger starke Verschiebung des Blatt/Stängel-Verhältnisses und korrespondieren mit Aussagen von CHAVES et al. (2006), die bei Gräsern einen höheren RP-Gehalt in den Blättern im Vergleich zu den Stängeln nachwies. Die Zunahme der durchschnittlichen RP-Gehalte kann außerdem ebenfalls ein Indiz für eine sich verschiebende Artenzusammensetzung der Pflanzengesellschaft sein. Angaben zu höheren RP-Gehalten bei Leguminosen im Vergleich zu Gräsern finden sich beispielsweise bei STEG et al. (1994). Durch eine relative Zunahme der Leguminosen im Bestand erhöht sich auch die N-Fixierungsleistung des Bestandes, was dann wiederum höhere RP-Gehalte im gesamten Grünlandaufwuchs zur Folge hat. Die durchschnittlich höheren Aschegehalte der Folgeaufwüchse im Vergleich zu dem ersten Aufwuchs können ebenfalls auf einen höheren Anteil an Leguminosen und Kräutern im Bestand zurückgeführt werden, da diese höhere Mineralstoffgehalte aufweisen als Gräser (PÖTSCH & RESCH, 2005). Die Zunahme des ADL-Gehaltes im ersten Aufwuchs lässt sich zum einen mit der Verschiebung des Blatt/Stängel-Verhältnisses erklären, da Stängel einer stärkeren Lignifizierung unterliegen. Zum anderen verstärkt der Einfluss der steigenden Temperatur die Zunahme des ADL-Gehaltes, zumal der Einfluss eines Temperaturanstiegs auf die Lignifizierung bei niedrigeren Temperaturen größer

ist. WILSON et al. (1991) wiesen für die Stängel eine mit ansteigenden Temperaturen stärkere Zunahme des Lignin-Gehaltes im Vergleich zu Blättern nach und FORD et al. (1979) beobachteten für Gräser im gleichen Vegetationsstadium bei höheren Temperaturen einen erhöhten Lignin-Gehalt. Ein Einfluss der Temperatur zeigt sich bei den eigenen Untersuchungen auch in den höheren durchschnittlichen Lignifizierungsindizes - sowohl NDF- als auch ADF-basiert - im zweiten Aufwuchs verglichen mit dem ersten Aufwuchs. Der durchschnittliche ADL-Gehalt des dritten Aufwuchses liegt auf demselben Niveau wie der des ersten Aufwuchses, weist aber keinen Anstieg mit zunehmendem Alter des Aufwuchses auf. Die Temperatur nimmt mit zunehmendem Alter des dritten Aufwuchses ab, da die Ernte über die sieben Versuchswochen bis in den Oktober andauerte. Auch findet keine Bildung von reproduktiven Trieben mehr statt, so dass es auch zu keiner so ausgeprägten Verschiebung des Blatt/Stängel-Verhältnisses kommt.

### **5.2.2 Rohprotein-Fractionen nach dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System**

Die Veränderung in der Zusammensetzung des RP war für die A-, sowie die B1- und B2-Fractionen ausschließlich auf den Einfluss der Vegetationswoche innerhalb des Aufwuchses zurückzuführen. Besonders bemerkenswert ist der signifikante Anstieg der NPN-Fraktion (A) mit zunehmendem Pflanzenalter in allen drei Aufwüchsen, was mit den Ergebnissen von EISNER (2004) übereinstimmt, wonach eine positive Korrelation zwischen NPN-Fraktion und den NDF- und ADF-Gehalten besteht. Diese Zunahme der NPN-Fraktion am RP kann auf die Alterung der Pflanzen und den damit verbundenen Abbau von Chloroplastenmembranen und der Freisetzung des daran gebundenen RP zurückgeführt werden, wie BLEECKER & PATTERSON (1997) in Untersuchungen zum Alterungsprozess von Pflanzenzellen feststellten. In dem absterbenden Pflanzenmaterial wird das Rohprotein abgebaut und findet sich in der NPN-Fraktion wieder. MICHAUD et al. (2001) fanden höhere Gehalte der A- und B1-Fractionen in den Stängeln von Leguminosen im Vergleich zu den Blättern, woraus geschlossen werden kann, dass die zunehmenden Gehalte an NPN auf eine Verschiebung des Blatt/Stängel-Verhältnisses zu Gunsten des Stängelanteils zurückgeführt werden können.

GIERUS et al. (2005) fanden in Untersuchungen der Rohproteinfraktionen von Weißklee einen Anstieg der A-Fraktion bis auf 29 % bis zum Ende der Vegetationsperiode. Die Autoren begründeten die Zunahme der NPN-Fraktion mit der zunehmenden Fixierungsleistung der größer werdenden Pflanzen. So kann angenommen werden, dass der bei den eigenen Untersuchungen beobachtete Anstieg der A-Fraktion zusätzlich auf eine N-Fixierung durch die Leguminosen zurückzuführen ist.

Die Abnahme der B1- und B2-Fraktion kann den Aussagen von BLEECKER & PATTERSON (1997) zufolge als Abbau des an die Chloroplastenmembranen gebundenen Proteins interpretiert werden. Die Summe aus A und B1 blieb im Verlauf der Vegetation allerdings relativ konstant. Bei Betrachtung der gesamten in Borat-Phosphat-Puffer löslichen Fraktionen (A + B1) findet sich also in Übereinstimmung mit Aussagen von ELIZALDE et al. (1999) und EISNER (2004) keine Veränderung im Verlauf der Vegetation.

Der Anteil an B3 am RP veränderte sich weder in Abhängigkeit von der Woche noch von der Aufwuchsnummer. Das mit den Hemizellulosen assoziierte RP ist somit unabhängig von dem Alter und der Zusammensetzung des Bestandes. Dieses Ergebnis korrespondiert mit den analysierten HEM-Gehalten, die ebenfalls keine Veränderung in Abhängigkeit von der Vegetationswoche zeigten (siehe Tab. 4.1.1).

Die Zunahme der C-Fraktion mit zunehmendem Alter der Aufwüchse stimmt mit den Beobachtungen von HOFFMAN et al. (1993) und ELIZALDE et al. (1999) überein, dass die unlösliche Fraktion des RP vom Pflanzenalter beeinflusst wird. Dabei ist die Zunahme der C-Fraktion für den ersten Aufwuchs am ausgeprägtesten und nur für die C-Fraktion wurde eine Interaktion des Effektes (Aufwuchs x Woche) gefunden. Anhand der eigenen Untersuchungen konnte also lediglich für die C-Fraktion ein Einfluss der Woche, des Aufwuchses sowie Interaktionen der Haupteffekte festgestellt werden. Dabei entspricht die im zweiten Aufwuchs höchste C-Fraktion den höheren ADL-Gehalten und den höheren Lignifizierungsindizes des zweiten Aufwuchses im Vergleich zu dem ersten und dritten Aufwuchs.

Auch auf die Zusammensetzung des RP wirken verschiedene Einflussfaktoren. So ist - wie in den eigenen Ergebnissen beobachtet - zum einen das Vegetationsstadium für eine Veränderung der Rohproteinzusammensetzung verantwortlich. ELIZALDE et al. (1999) stellten allerdings einen größeren Einfluss der Pflanzenart als des Vegetationsstadiums auf die Zusammensetzung des Rohproteins fest. Die eigenen Untersuchungen belegen für die A-, die B1- und B2- sowie die C-Fraktion einen deutlichen Einfluss des Vegetationsstadiums.

### **5.3 Einfluss des Vegetationsstadiums auf den ruminalen Abbau der Grünland aufwüchse**

#### **5.3.1. Ruminaler Abbau von Trockenmasse und organischer Masse**

Veränderungen in Ausmaß und Geschwindigkeit des Abbaus der TM und OM von Futterpflanzen mit zunehmendem Pflanzenalter wurden bereits von verschiedenen Autoren diskutiert und dargestellt (BOSCH et al., 1992; HOFFMAN et al., 1993; HUHTANEN & JAAKKOLA, 1994; ALERT & ECKHARDT, 1996). Die Abbauparameter der TM und OM stellen nicht nur die Veränderung des Zellwandabbaus mit zunehmendem Alter der Aufwüchse dar, sondern auch das des Zellinhaltes. Die Abbauparameter der TM und der OM weisen hohe Übereinstimmungen untereinander auf (siehe Tab. 4.2.2 und 4.2.3). Die a-Fraktion zeigte im ersten Aufwuchs bis zur sechsten Versuchswoche eine tendenzielle Abnahme, was mit Beobachtungen von BABNIK (1995) korrespondiert, der Bestände von Welschem Weidelgras auf ihre ruminale Abbaubarkeit untersuchte und eine Abnahme der löslichen Fraktion mit zunehmendem Alter beobachtete. Als Ursache für den Anstieg der a-Fraktion in der 7. Versuchswoche des ersten Aufwuchses kann ein Durchwuchs von jungem Pflanzenmaterial vermutet werden. Die Schwankungen der a-Fraktion im zweiten Aufwuchs sind schwer interpretierbar, unter Umständen überlagern sich hier Pflanzenart und -organ bedingte Effekte mit klimatischen Einflüssen. Die geringfügige Abnahme der a-Fraktion im dritten Aufwuchs kann mit dem geringeren Anteil an Stängeln sowie abnehmenden Temperaturen erklärt werden.

Die signifikant höchste durchschnittliche a-Fraktion des ersten Aufwuchses zeigt den Einfluss der Tageslänge und der Sonneneinstrahlung bei vergleichsweise noch niedrigeren Temperaturen während des Aufwuchses. Das Resultat dieser klimatischen Verhältnisse ist eine Ansammlung von Photosyntheseprodukten (wasserlösliche Kohlenhydrate), die aufgrund höherer Sonneneinstrahlung, aber noch niedrigen Temperaturen nicht in Strukturkohlenhydrate überführt werden (VAN SOEST, 1982). Die höhere Temperatur im zweiten Aufwuchs führt zu einer durchschnittlich niedrigeren löslichen Fraktion (siehe Tab. 4.1).

Die Abbauraten der TM und OM sind negativ korreliert mit dem ADF-, NDF- und dem Zellulose-Gehalt, nicht jedoch mit dem Gehalt an Hemizellulosen oder ADL. Positiv korreliert sind die Abbauraten der TM und OM mit dem RP-Gehalt der Grünlandaufwüchse. HUHTANEN & JAAKKOLA (1994) bestätigten in einer Untersuchung zum Einfluss des Vegetationsstadiums auf den ruminalen TM-Abbau von Frischgras (Wiesen-Lieschgras) abnehmende Abbauraten der TM sowie ein abnehmendes Ausmaß der Abbaubarkeit. Dabei

lagen die von den Autoren ermittelten TM-Abbauraten zwischen 6,5 und 3,2 %/h und damit unter den TM-Abbauraten der eigenen Untersuchungen, welche im Verlauf der Vegetation je nach Aufwuchsnummer von 8,9 (8,0; 10,1) %/h bis auf 4,0 (4,7; 5,7) %/h abnahmen. BRUINENBERG (2003) stellte für artenreiche Grünlandaufwüchse eine höhere Abbauraten der OM im Vergleich zu artenarmen Beständen fest, woraus zum einen die höhere Abbauraten der eigenen Untersuchungen im Vergleich zu dem von HUHTANEN & JAAKKOLA (1994) untersuchtem Gras zu erklären ist, andererseits aber auch von einer Verschiebung der Artenanteile im dritten Aufwuchs zugunsten der Leguminosen und Kräuter ausgegangen werden kann. Höhere Abbauraten der TM für Leguminosen (13 – 20 %/h) im Vergleich zu Gräsern (2 – 10 %/h) stellten auch HOFFMAN et al. (1993) fest. Bezugnehmend auf die eigenen Ergebnisse können die höheren Abbauraten der TM und OM im dritten Aufwuchs folglich auf die höheren RP-Gehalte, einen geringeren Anteil reproduktiver Triebe, mehr Blattmasse und einen höheren Leguminosenanteil zurückgeführt werden. Auf den Zusammenhang zwischen den Abbauraten der TM und OM und dem RP-Gehalt wird in Kapitel 5.3.5 noch ausführlicher eingegangen werden.

Die Abnahme der potentiellen Abbaubarkeit der TM und OM (d-Fraktion) mit zunehmendem Alter der Aufwüchse resultiert aus dem sich zu Gunsten der Stängel verschiebenden Blatt/Stängel- Verhältnis, da die OM-Verdaulichkeit der Stängel im Vergleich zu den Blättern stärker abnimmt, wie bereits von TERRY & TILLEY (1964) festgestellt wurde. Bei der d-Fraktion zeigt sich mit signifikant niedrigeren Werten im zweiten Aufwuchs sowohl bei der TM als auch der OM ein Einfluss der Lignifizierung bei höheren Temperaturen in den reproduktiven Trieben, auch wenn kein Zusammenhang über alle beprobten Wiesenschnitte zwischen dem ADL-Gehalt bzw. Lignifizierungsindex und der abbaubaren Fraktion der TM und der OM gefunden werden konnte. Ein Zusammenhang zwischen der Lignifizierung und der Verdaulichkeit der OM zeigt sich lediglich in korrespondierenden Aufwuchsmittelwerten von den Lignifizierungsindizes und der potentiell abbaubaren OM (d-Fraktion).

Die Aussage von JUNG & VOGEL (1986), dass sich die Zunahme um eine Einheit Lignin bei niedrigeren Lignin-Gehalten wesentlich stärker in einer Depression des ruminalen Abbaus auswirkt als bei höheren, wird an den Abbauparametern der TM und OM des ersten Aufwuchses deutlich. Trotz niedriger ADL-Gehalte, nimmt die d-Fraktion von der ersten bis zur siebenten Versuchswoche stärker ab im Vergleich zu den Folgeaufwüchsen. Da die Abbauraten keine Interaktion der Haupteffekte „Aufwuchs“ und „Woche“ zeigte, kann gefolgert werden, dass die Lignifizierung zwar das Ausmaß, nicht aber die Geschwindigkeit des ruminalen TM- und OM-Abbaus negativ beeinflusst. Die Lag-Phase des TM und OM-

Abbaus ist für alle untersuchten Wiesenschnitte vergleichsweise niedrig. SHANNAK (2000) beispielsweise gibt Lag-Phasen für den OM-Abbau bei Grassilagen mit bis zu 2 h an. In den eigenen Untersuchungen war die durchschnittliche Lag-Phase des dritten Aufwuchses sowohl für TM als auch für OM mit 0,8 h am höchsten. SCHÄFER (1996) betonte die Schwierigkeit einer biologischen Interpretation der geschätzten Lag-Phase. Insofern soll die Lag-Phase an dieser Stelle als mathematisches Phänomen betrachtet werden, welches die Schätzgenauigkeit der Abbauparameter verbessert.

### **5.3.2 Ruminaler Abbau der Zellwandfraktionen**

Trotz Korrektur um den Verlust an kleinen Partikeln wurden sowohl für die NDF als auch für die ADF vereinzelt wasserlösliche Anteile geschätzt. Während ein geringer Anteil der NDF als sofort löslich angenommen werden kann, sind Gehalte der a-Fraktion bis zu 8 % nicht mehr als versuchsbedingte Streuung anzunehmen.

Der Korrektur um den Verlust an kleinen Partikeln nach WEISBJERG et al. (1990) liegt die Annahme zugrunde, dass die Partikel die identischen Anteile an Zellwandkohlenhydraten, Protein und OM enthalten wie das Futtermittel. Dabei ist die Höhe der a-Fraktion der NDF auf lösliche Partikel der ADF zurückzuführen, da zwischen beiden eine Beziehung nachzuweisen war ( $r = 0,75$ ), nicht aber zwischen der a-Fraktion der NDF und der a-Fraktion der Hemizellulosen ( $p > 0,05$ ). Es sollte daher in Zukunft untersucht werden, ob die Zusammensetzung der kleinen Partikel tatsächlich der Zusammensetzung der Futtermittel entspricht, oder ob die kleinen Partikel höhere Gehalte an ADF im Vergleich zu dem Futtermittel aufweisen. Die Abbaurate der NDF lag in den eigenen Untersuchungen mit bis zu 10,0 %/h z. T. deutlich über den Abbauraten der NDF, die von ANDRIGHETTO et al. (1993) bei Untersuchungen zum Abbau von Welschem Weidelgras und Luzerne (2,9 bzw. 4,6%/h) ermittelt wurden. Dabei untersuchten die Autoren allerdings Pflanzen in einem späten Vegetationsstadium, was die niedrigeren NDF-Abbauraten erklärt, die damit in etwa auf dem Niveau der eigenen untersuchten überständigen Grünlandaufwüchse liegen. Höhere NDF-Abbauraten von Leguminosen im Vergleich zu Gräsern sind auch einer Untersuchung von HOFFMAN et al. (1993) zu entnehmen, in der Luzerne und Hornklee NDF-Abbauraten je nach Vegetationsstadium zwischen 7 und 15 %/h aufwiesen, die Abbauraten von verschiedenen untersuchten Gräsern hingegen zwischen 2 und 8 %/h lagen. Die in der eigenen Untersuchung ermittelten NDF-Abbauraten spiegeln insofern eine Verschiebung der Artenzusammensetzung zu einem höheren Leguminosenanteil im dritten Aufwuchs wider, als dass der dritte Aufwuchs die höchsten Abbauraten aufwies.

Bei den untersuchten Grünlandaufwüchsen zeigt sich der Einfluss des zunehmenden Pflanzenalters ebenfalls in einer Zunahme der nichtabbaubaren Fraktionen der NDF, ADF und HEM (INDF, IADF und IHEM). Dadurch nimmt demzufolge der potentiell abbaubare Anteil der Zellwandfraktionen mit zunehmendem Alter ab.

Die zunehmenden Gehalte an NDF, ADF, Hemizellulosen und Zellulose in der TM der Futtermittel mit zunehmendem Alter der Aufwüchse führen für die potentiell abbaubare NDF (DNDF) und ADF (DADF) (siehe Tab. 4.2.5 u. 4.2.6) vor allem im ersten Aufwuchs noch zu einer deutlichen Zunahme. Der Anteil der potentiell abbaubaren Hemizellulosen in der TM (DHEM) dagegen bleibt in allen Aufwüchsen über die sieben Versuchswochen konstant (siehe Tab. 4.2.7). Es kann daher angenommen werden, dass die Zunahme der DNDF auf der Zunahme der DADF beruht. Wird außerdem vorausgesetzt, dass das ADL keinem ruminalen Abbau unterliegt, ist die Zunahme der DADF in der TM der Futtermittel auf einen zunehmenden Anteil an abbaubarer Zellulose zurückzuführen. Der Einfluss des Vegetationsstadiums zeigt sich also primär in der Anlage der Sekundärwand mit hohem Zelluloseanteil. Da die Zellulose aber noch potentiell abbaubar ist, muss davon ausgegangen werden, dass vor allem im ersten Aufwuchs die Zellulosebildung, also die Ausbildung der Sekundärwand, der Einlagerung von Lignin voraussetzt. Untersuchungen von BIDLACK & BUXTON (1992) bestätigen maximale Einlagerungsraten von Lignin in die Zellwand etwa 8 Tage nach der maximalen Zelluloseeinlagerung in die Zellwand, wobei dieser Prozess bei Leguminosen früher einsetzt als bei Gräsern. Die Zunahme der nicht abbaubaren Zellwandfraktionen erklärt allerdings nicht die Abnahme der ENDF, EADF und EHEM, da sich diese nur noch auf die abbaubare Fraktion der entsprechenden Stoffgruppen beziehen.

So wird besonders im ersten Aufwuchs der mit zunehmendem Alter höhere Anteil an potentiell abbaubarer ADF (DADF) durch eine relativ starke Abnahme der Abbaurate zum selben Zeitpunkt nicht abgebaut, was in einer Abnahme der effektiv abgebauten ADF (EADF) resultiert. Die Abbauraten der Zellwandfraktionen nahmen in allen drei Aufwüchsen in gleichem Ausmaß ab und waren positiv miteinander korreliert. Dabei war die Beziehung zwischen der Abbaurate der NDF und der HEM enger als die Beziehung zwischen den Abbauraten von NDF und ADF (Tab. 5.3). Diese Beobachtung korrespondiert mit der Aussage von BUXTON & BRASCHE (1991), die eine Abnahme der NDF-Abbaurate auf die Abnahme der Abbaurate der Hemizellulosen zurückführten.

**Tabelle 5.3:** Korrelationskoeffizienten (r) der Abbauraten der Neutral-Detergenzienfaser (NDFc), der Säure-Detergenzienfaser (ADFc) und der Hemizellulose (HEMc)\*

	NDFc	ADFc	HEMc
NDFc		0,61	0,90
ADFc	0,61		0,87
HEMc	0,90	0,87	

\* alle Korrelationen  $p < 0,0001$

Die Hemmung des Hemizelluloseabbaus durch die verringerte Abbaurate kann auf die räumliche Struktur der Zellwand zurückgeführt werden. Nach CHESSON (1988) führt der selektive Abbau von Polysacchariden der Sekundärwand (Zellulose) zu einer Anreicherung polyphenoler Verbindungen an der Oberfläche der Sekundärwand, was eine Abnahme des Hemizelluloseabbaus zur Folge hat. Geht man allerdings von einer Abspaltung der Ligninmonomere von den Hemizellulosen durch die Pansenmikroorganismen aus, so kann die Hemmung des Hemizelluloseabbaus nach Aussage von SÜDEKUM et al. (1995) auf eine Freisetzung von phenolischen Säuren (Ferula- und p-Cumar-Säure) zurückgeführt werden, welche wiederum eine toxische Wirkung auf Pansenmikroorganismen ausüben.

Die durchschnittlichen Abbauraten von NDF, ADF und Hemizellulosen lagen in den Folgeaufwüchsen höher als im ersten Aufwuchs. Am deutlichsten zeigte sich die Zunahme der Abbaurate mit jedem Aufwuchs für die Hemizellulosen. Auch die mit jedem Aufwuchs abnehmenden durchschnittlichen NDF-Gehalte bei im Vergleich zu dem jeweils vorangegangenen Aufwuchs höheren Abbauraten trotz höherer ADL-Gehalte lassen auf eine Verschiebung der Pflanzenszusammensetzung schließen. MAEK (2002) untersuchte Weißklee und Gräser auf die Zusammensetzung der Zellwände und fand für Weißklee trotz höherer ADL-Gehalte eine bessere Abbaubarkeit der NDF als bei Gräsern. Aufgrund geringerer Anteile von Ferula- und p-Cumar-Säure schloss MAEK (2002) auf ein geringeres Ausmaß an Quervernetzungen zwischen Lignin und Zellwandpolysacchariden im Weißklee.

Bei den eigenen Untersuchungen lässt die größere Zunahme an IHEM im Vergleich zur IADF im ersten Aufwuchs den Schluss zu, dass eine Bindung des eingelagerten Lignins primär an die Hemizellulosen erfolgt, was auf einen höheren Anteil an Gräsern im ersten Aufwuchs schließen lässt (höherer NDF-Gehalt, weniger ADL im Vergleich zu Leguminosen). Der Einfluss des Vegetationsstadiums auf die ruminalen Abbauparameter der Zellwandkohlenhydrate des ersten Aufwuchses kann folglich auf das sich zu Gunsten der Stängelfraktion verschiebende Blatt/Stängel-Verhältnis mit zunehmender Alterung des Aufwuchses zurück-

geführt werden (UGHERUGHE, 1986; OKAJIMA, 1996). Die veränderte Dynamik des Abbaus der Zellwandkohlenhydrate mit zunehmendem Alter des zweiten Aufwuchses lässt in erster Linie auf einen Einfluss des Klimas schließen, der den Einfluss des Vegetationsstadiums der Einzelpflanze auf die Abbaubarkeit im Vergleich zum ersten Aufwuchs modifiziert.

Aufgrund der höheren NDF-Gehalte sowie dem intensiveren Abbau der Zellwandfraktionen soll für den dritten Aufwuchs zusätzlich zu der Proportionsverschiebung der Pflanzenorgane eine mögliche Veränderung der Pflanzengesellschaft durch die Schnittnutzung zugunsten eines höheren Anteils an Leguminosen und Kräutern zur Diskussion gestellt werden. GRUBER et al. (2000) beobachteten in Übereinstimmung dazu bei Untersuchungen zum Einfluss der Schnitthäufigkeit auf die botanische Zusammensetzung von Grünlandaufwüchsen des Alpenraumes einen Rückgang der Gräser und eine relative Zunahme der Kräuter und in geringem Umfang der Leguminosen.

Die Struktur der Hemizellulosen sowie die Bindung von Lignin über die phenolischen Säuren an die Hemizellulosen variiert pflanzenartabhängig. Die Interaktionen der untersuchten Haupteffekte „Aufwuchs“ und „Woche“ sind also zum einen auf die veränderten jahreszeitlich bedingten klimatischen Bedingungen, zum anderen auf die veränderte botanische Zusammensetzung der untersuchten Grünlandaufwüchse zurückzuführen. Dabei ist außerdem das Verhältnis von vegetativen zu reproduktiven Trieben innerhalb der Arten zu berücksichtigen, welches auch durch das Blatt/Stängel-Verhältnis beschrieben werden kann, da die vegetativen Triebe im Vergleich zu den reproduktiven Trieben mehr Blattmasse haben und auch mit zunehmendem Alter nicht in dem Maße verholzen.

### **5.3.3 Beziehungen zwischen den Inhaltstoffen und dem ruminalen Abbau der energieliefernden Stoffgruppen**

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen keine Beziehung zwischen dem ADL-Gehalt und den Abbauparametern innerhalb der Aufwüchse. Die negative Beziehung, die in verschiedenen Arbeiten zwischen dem ADL-Gehalt und der Verdaulichkeit der Stoffgruppen festgestellt wurden (VAN SOEST, 1982; WILSON et al., 1993; SÜDEKUM et al., 1995; GRABBER, 2005), kann für die untersuchten gemischten Grünlandaufwüchse nicht bestätigt werden. VAN SOEST (1982) stellte eine enge negative Korrelation zwischen dem Ausmaß der Lignifizierung der Zellwand und der Verdaulichkeit der OM fest, die auch für gemischte Futterpflanzenbestände galt. Der Autor schlug zur Beschreibung des Einflusses des Lignin auf die Verdaulichkeit der OM deshalb einen Lignifizierungsindex vor, welcher den ADL-Gehalt der gesamten Zellwand (NDF basiert) oder des Lignozellulose-Komplexes (ADF basiert) angibt.

Bei Untersuchungen zum Einfluss des Reifestadiums von Weizenganzpflanzensilagen auf den *in situ*-Abbau von OM, RP, Stärke und Faserfraktionen wurde von SÜDEKUM et al. (1996) allerdings kein Einfluss des Vegetationsstadiums auf den Lignifizierungsindex festgestellt. Die Autoren schlossen daraus, dass der Lignifizierungsindex kein geeignetes Maß zur Schätzung der Verdaulichkeit der Zellwandkohlenhydrate aus Weizenganzpflanzensilagen ist. Im Gegensatz dazu steht die Beobachtung von CASLER & JUNG (1990), dass in Futterpflanzen mit einer hohen *in vitro*-Verdaulichkeit, eine Variation im Ligningehalt mit einer Variation der Verdaulichkeit einherging, ein Phänomen, welches in Futterpflanzen mit genetisch determinierter geringer Verdaulichkeit nicht beobachtet wurde. Des Weiteren beschrieben die Autoren eine enge negative Korrelation zwischen Lignin-Gehalt und dem Gehalt an veresterten Ferulaten. Die Konzentration an veresterten Ferulaten war wiederum in höherem Maße negativ mit der Verdaulichkeit korreliert als der Lignin-Gehalt.

In einer anderen Arbeit untersuchten JUNG & CASLER (1991) den Zusammenhang von ADL-Gehalt und *in vitro* Verdaulichkeit der organischen Substanz einer Grasart (*Bromus inermis*). Die Autoren fanden einen engen Zusammenhang zwischen Lignin-Gehalt und Faser-Verdaulichkeit der Stängel, nicht aber zwischen Lignin-Gehalt und Faser-Verdaulichkeit der Blätter. Auch im Detail ergaben die Untersuchungen der Autoren für die Stängel eine differenzierte Abhängigkeit zwischen NDF-Gehalt und Abbaubarkeit der Hemizellulosen für Genotypen unterschiedlicher *in vitro* TM-Abbaubarkeit. Die chemische Zusammensetzung der Zellwand unterscheidet sich also zum einen pflanzenartspezifisch (z. B. Gräser vs. Leguminosen), zum anderen variiert die Zusammensetzung der Zellwände also innerhalb einer Pflanze in Abhängigkeit vom Pflanzenorgan. Ähnliche Beobachtungen wurden auch von BOURQUIN & FAHEY (1994) bezüglich unterschiedlicher Abbauraten und -ausmaße von Blatt- und Stängelfraktion gemacht.

Bei Untersuchungen zum ruminalem Abbau der Zellwand konnten TITGEMEYER et al. (1996) keinen Zusammenhang zwischen ADL-Gehalt und Abbaubarkeit der Zellwände bestätigen, fanden wohl aber eine Reihe von chemischen Komponenten der Zellwand, die gut mit der Abnahme der Zellwandverdaulichkeit in Einklang zu bringen waren. Dabei handelte es sich vor allem um Xylose, Kern-Lignin, Alkali-labile Phenole und Acetylgruppen. CLAESSEN et al. (2005) beobachteten in Grünlandgemengen eine verbesserte Verdaulichkeit der Stängel mit abnehmendem ADL/Zellulose-Quotienten, so dass sie eine Selektion auf eben dieses Merkmal zur Verbesserung der Verdaulichkeit der Stängel bei Futterpflanzen allgemein forderten.

Für die untersuchten Grünlandaufwüchse konnte zwischen den Lignifizierungsindizes (ADL/NDF bzw. ADL/ADF) keine Beziehung weder zum Ausmaß noch zur Geschwindigkeit des Abbaus der OM und der Zellwandkohlenhydrate gefunden werden. Die Lignifizierungsindizes waren im Fall der untersuchten Aufwüchse nicht vom Vegetationsstadium beeinflusst. Die Beobachtung von CLAESSEN et al. (2005) bezieht sich zudem nur auf die Stängelfraktion und unterstreicht damit die Notwendigkeit einer Analyse auf die Hemizellulosebestandteile sowie die phenolischen Säuren des Lignins zur exakteren Abschätzung des ruminalen Abbaus von gemischten Grünlandbeständen, um die Unterschiede im Futterwert zwischen Pflanzenarten und Pflanzenorganen in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium besser quantifizieren zu können (BOURQUIN & FAHEY, 1994; TITGEMEYER et al., 1996).

Die Mittelwerte der OM- und Zellwand-Abbauparameter der Aufwüchse hingegen waren gut mit dem ADL-Gehalt und den Lignifizierungsindizes in Zusammenhang zu bringen, da der zweite Aufwuchs mit den höchsten durchschnittlichen Gehalten an ADL sowie der höchsten Lignifizierung der Zellwandfraktionen die geringste durchschnittliche potentielle Abbaubarkeit von TM und OM aufwies.

#### **5.3.4 Ruminaler Abbau des Rohproteins**

Verschiedene Autoren haben sich in der Vergangenheit bereits mit der Beschreibung des ruminalen Abbaus von RP mittels *in situ*-Methode auch aus Grobfuttermitteln beschäftigt (HOFFMAN et al., 1993; BABNIK, 1995; VALK et al., 1996; COHEN, 2001). Eine vergleichende Einordnung der eigenen ermittelten Parameter des ruminalen RP-Abbaus der Grünlandaufwüchse in die vorhandene Literatur ist allerdings deshalb schwierig, weil die Korrektur der *in situ*-Verluste um die mikrobielle Kontamination ein noch nicht standardisiertes Vorgehen bei der Ermittlung des ruminalen RP-Abbaus ist, dabei aber einen großen Einfluss auf die Höhe der geschätzten Abbauparameter hat. Ebenso muss bei einer Einordnung der Effekte des Vegetationsstadiums auf den ruminalen RP-Abbau in die Literatur berücksichtigt werden, dass auch die Veränderungen der Abbauparameter mit zunehmendem Alter der Aufwüchse insofern durch die Korrektur um die mikrobielle Kontamination der Residuen beeinflusst wird, als dass die Intensität derselben von dem NDF-Gehalt des Futtermittels abhängt und die relative Veränderung des RP-Abbaus somit bei nicht erfolgter Korrektur fehleingeschätzt wird.

Die Notwendigkeit der Korrektur zur Abschätzung von Geschwindigkeit und Ausmaß des ruminalen Proteinabbaus ist bereits in Kapitel 5.1 ausführlich diskutiert worden.

Die Veränderung der aus dem *in situ*-Abbau geschätzten löslichen Fraktion a mit zunehmender Aufwuchsdauer differierte für die drei Aufwüchse. Den durchschnittlich niedrigsten Gehalt an löslichem RP wies der zweite Aufwuchs auf, was ebenso wie für den Abbau der OM auf die höhere Temperatur und den damit beschleunigten Stoffwechsel der Pflanzen zurückzuführen ist. Insgesamt betrachtet lag die a-Fraktion auf einem niedrigen Niveau verglichen mit den Beobachtungen von SCHÄFER (1996), die für frische Weidelgräser a-Fractionen zwischen 38 und 60 %, und für ein Rotklee/Gräser-Gemenge immer noch 30 % feststellten. Niedrigere Gehalte an wasserlöslichem RP können entweder auf eine geringere N-Düngung (VALK et al., 1996) zurückgeführt werden oder aber - ebenso wie die Gehalte an löslicher OM - auf einen schnelleren Stoffwechsel der Pflanzen aufgrund der klimatischen Besonderheiten des Alpenraums (kürzere Vegetationszeit, höhere durchschnittliche Temperaturen im Sommer und eine höhere Strahlungsintensität). Die Lag-Phase des RP-Abbaus war geringfügig höher als die der energieliefernden Substanzen, woraus geschlossen werden kann, dass zunächst der Abbau der Zellwand initiiert sein muss, bevor ein Abbau des Zellinhaltes erfolgt. Danach verlief der Abbau des Rohproteins wesentlich schneller und vollständiger als der Abbau der energieliefernden Substanzen.

CHAVES et al. (2006) ermittelten bei Deutschem Weidelgras eine Abbaurate des RP von 12 %/h, stellten aber keinen Einfluss des Pflanzenalters auf die Abbaurate fest. Die eigenen Untersuchungen ergaben RP-Abbauraten zwischen 13,2 und 18,7 %/h und einen negativen Einfluss des Vegetationsstadiums auf die RP-Abbauraten. Untersuchungen zum ruminalen RP-Abbau von Luzerne und verschiedenen Gräsern von ELIZALDE et al. (1999) ergaben einen signifikanten Einfluss der Pflanzenart auf die Geschwindigkeit des ruminalen RP-Abbaus von frischen Futterpflanzen, wobei die RP-Abbauraten von Luzerne höher lag (16 %/h) als die der Gräser (12,5 %/h). Das Ausmaß des Abbaus bei beiden Pflanzenarten hingegen unterschied sich nicht. In den eigenen Untersuchungen konnte für die Abbaurate des RP keine Interaktion von Aufwuchs und Woche nachgewiesen werden und der Aufwuchs zeigte nur einen tendenziellen Einfluss. Dieses Ergebnis stimmt insofern mit den Ergebnissen der RP-Fraktionierung überein, als dass auch die RP-Fractionen mit Ausnahme der C-Fraktion nicht von der Aufwuchsnummer beeinflusst waren. Die Höhe der C-Fraktion ist eher mit einer Hemmung der Abbaurate, als mit dem Abbausmaß in Verbindung zu bringen.

Die Höhe der potentiell abbaubaren RP-Fraktion (d-Fraktion) war mit 86 - 96 % vergleichbar mit Ergebnissen von SCHÄFER (1996), die den ruminalen Abbau des RP für Deutsches und Welsches Weidelgras verschiedener Vegetationsstadien sowie einem Rotklee/Gräser-Gemenge untersuchte. Die Autorin stellte allerdings für die älteren Gräser lediglich 79 %

potentiell abbaubares RP fest. Die stärkere Abnahme des potentiell abbaubaren RP-Anteils mit zunehmendem Alter bei reinen Grasbeständen ist auf den hohen Leguminosenanteil in den eigenen untersuchten Grünlandaufwüchsen zurückzuführen. Die *in situ* d-Fraktion des RP und die C-Fraktion der Rohproteinfraktionierung sind negativ korreliert ( $r = -0,73$ ). Der Anteil an effektiv abgebautem RP ist aufgrund der hohen Abbauraten des RP in stärkerem Maße mit dem Abbauausmaß (*in situ* Fraktion d) ( $r = 0,87$ ) korreliert als mit der Abbaurate c ( $r = 0,46$ ).

Die abnehmende RP-Abbaurrate kann auf die Depression des Zellwandabbaus mit zunehmendem Alter zurückgeführt werden, da der Zellinhalt bei zunehmender Alterung der Zellwände ebenfalls schlechter abgebaut wird, womit eine Abhängigkeit des RP-Abbaus vom Abbau der Zellwände einhergeht. Ein hoher Anteil an NDF-assoziiertem RP verstärkt die Abhängigkeit des RP-Abbaus von dem Abbau der Zellwand. WATERS & GIVENS (1992) konnten in Untersuchungen zum Einfluss von Aufwuchsdauer und Aufwuchsnummer auf den *in situ* RP-Abbau keine signifikanten Unterschiede zwischen den Abbauparametern des ersten Aufwuchses und den Folgeaufwüchsen feststellen. An den eigenen Untersuchungen hingegen konnte ein Einfluss des Aufwuchses sowie Interaktionen der Effekte „Woche“ und „Aufwuchs“ sowohl für die *in situ* Fraktionen a, b und für die Summe aus a und b belegt werden. Beziehungen zwischen der chemischen Zusammensetzung von Grünlandaufwüchsen und der RP-Abbaubarkeit konnten WATERS & GIVENS (1992) nur für den ersten Aufwuchs herstellen, nicht aber für die Folgeaufwüchse oder gar die Gesamtheit der untersuchten Grünlandaufwüchse.

Bei den eigenen Untersuchungen bestanden für die d-Fraktion des RP hochsignifikante negative Korrelationen ( $p < 0,0001$ ) mit den nicht abbaubaren Fraktionen der Zellwandkohlenhydrate (INDF:  $r = -0,86$ , IADF:  $r = -0,80$  und IHEM:  $r = -0,74$ ). Desweiteren wurden zwischen der d-Fraktion des RP und den Abbauraten der NDF, ADF und HEM positive Beziehungen gefunden ( $r = 0,69$  (0,77; 0,75)). BABNIK (1995) fand bei Untersuchungen zum ruminalen RP-Abbau in Welschem Weidelgras die engste multiple Beziehung zwischen dem abbaubaren RP und dem RP-Gehalt, dem NDF-Gehalt, dem ADF-Gehalt und dem Gehalt an NDF-assoziierten RP. Diese beobachteten Beziehungen lassen wiederum die Schlussfolgerung zu, dass der RP-Abbau aus Futterpflanzen im Pansen durch die Abbauparameter der Zellwandkohlenhydrate determiniert wird. Ebenso diskutierten auch VALK et al. (1996) nach Untersuchungen des ruminalen RP-Abbaus von Frischgras die Abhängigkeit der RP-Abbaurrate von der Abbaurrate des NDF vor dem Hintergrund, dass ein großer Anteil des RP mit der Zellwand assoziiert ist.

Der effektive Abbau des RP unter Einbeziehung angenommener Passageraten wird für die schnell lösliche und gut abbaubare RP-Fraktion durch die Menge an potentiell abbaubarem Protein limitiert. Die Abbaurrate  $c$  ist aufgrund ihrer Höhe nicht in dem Maße ausschlaggebend für den Gehalt an effektiv abgebauten RP bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h. Allerdings spielt die Abbaurrate des RP bei der Untersuchung des synchronen Abbaus eine wichtige Rolle.

### 5.3.4 Beziehungen zwischen dem Rohprotein, den RP-Fraktionen und den *in situ*-Abbauparametern

ALDRICH et al. (1996) untersuchten den Einfluss des RP-Gehaltes auf die *in situ*-Abbauraten von TM und RP. Anhand ihrer Ergebnisse kamen die Autoren zu dem Schluss, dass niedrige Gehalte an im Pansen verfügbarem Protein zu niedrigeren Abbauraten der TM und des Rohproteins führen. Die eigene Arbeit bestätigt einen positiven Zusammenhang zwischen RP-Gehalt und die Abbauraten der TM, der OM und der Zellwandkohlenhydrate, während der Zusammenhang zwischen RP-Gehalt und RP-Abbau wesentlich schwächer war (Tab. 5.4).

**Tabelle 5.4:** Korrelationskoeffizienten des Zusammenhangs zwischen dem Rohprotein-(RP)-Gehalt der Grünlandaufwüchse und den Abbauraten der Trockenmasse (TMc), organischen Masse (OMc), Neutral-Detergenzienfaser (NDFc), Säure-Detergenzienfaser (ADFc), Hemizellulosen (HEMc) und des RP (RPc)

	TMc	OMc	NDFc	ADFc	HEMc	RPc
RP %	0,70	0,87	0,73	0,83	0,89	0,49
	(< 0,0001)*	(< 0,0001)	( 0,006)	(< 0,0001)	(< 0,0001)	(0,03)

\* Irrtumswahrscheinlichkeit p

HUHTANEN et al. (2005) beschreiben einen positiven Einfluss einer NH<sub>3</sub>-Gabe auf den Abbau der NDF. Einen positiven Zusammenhang zwischen der A-Fraktion (NPN) im Pansen und Parametern des Zellwandkohlenhydratabbaus lässt sich bei vorliegenden Daten lediglich für die DADF ( $r = 0,8$ ) belegen. Kein Zusammenhang bestand dagegen zwischen der A-Fraktion der RP-Fraktionierung und den Abbauraten der OM, der NDF, der ADF und der Hemizellulosen.

Obwohl die *in situ* RP-Verluste bereits um die RP-Verluste an kleinen Partikeln korrigiert wurden, fand sich kein Zusammenhang zwischen der *in situ* RPa- und der NPN-Fraktion aus der RP-Fraktionierung, ebenso wenig war die Borat-Phosphat-Puffer lösliche Fraktion des RP (A + B1) mit der *in situ* a-Fraktion korreliert. YAN & AGNEW (2004) konnten dagegen in Untersuchungen zum ruminalen Abbau von Grassilagen eine Beziehung zwischen der *in situ*

a-Fraktion des RP und dem löslichen RP der chemischen Analyse mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,62 belegen. Die Autoren konnten ebenso eine enge Beziehung zwischen dem effektiv abgebauten RP bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h und dem anhand chemischer Analyse bestimmten löslichen RP nachweisen ( $R^2 = 0,83; 0,80; 0,76$ ). Es muss aber berücksichtigt werden, dass diese Schätzungen an Ergebnissen von Grassilagen vorgenommen wurden und während der Silierung der Abbau eines großen Anteils des RP zu löslichen Verbindungen erfolgt. Die eigenen Untersuchungen zeigten einen Zusammenhang zwischen der unlöslichen, potentiell abbaubaren Fraktion des RP aus den *in situ*-Versuchen (*in situ* b-Fraktion) und der Summe aus den Proteinfractionen B1, B2 und B3 ( $r = 0,61$ ). Die *in situ*-Abbaurrate (RPc) zeigte einen schwächeren Zusammenhang (signifikant mit  $p < 0,05$ ) mit den Fraktionen B2 ( $r = 0,52$ ), B3 ( $r = -0,48$ ) und C ( $r = -0,54$ ). Das potentiell abbaubare RP (RPd) war negativ korreliert (signifikant mit  $p < 0,05$ ) mit der A-Fraktion ( $r = -0,72$ ) sowie C ( $r = -0,73$ ), positiv korreliert mit der B1 ( $r = 0,70$ ) und mit der B2 ( $r = 0,73$ ). Ein enger Zusammenhang ( $p < 0,0001$ ) bestand aber auch zwischen der C-Fraktion und den nichtabbaubaren Fraktionen der Zellwandkohlenhydrate (C/INDF:  $r = 0,8$ , C/IADF:  $r = 0,75$  und C/IHEM:  $r = 0,83$ ). Die festgestellten Zusammenhänge zwischen den RP-Fractionen und den *in situ*-Abbauparametern des RP rechtfertigen deshalb den Versuch, mittels multipler linearer Regression eine Schätzung der *in situ* UDP-Gehalte zu angenommenen Passageraten anhand der chemischen Analyse vorzunehmen.

## 5.4 Bewertung des ruminale Rohproteinabbaus aus Grobfuttermitteln

### 5.4.1 Schätzung des *in situ* UDP-Anteils am Futter-Rohprotein aus den Rohprotein-Fractionen

Bezugnehmend auf das deutsche Proteinbewertungssystem, dem als zentrale Kenngrößen das nutzbare Rohprotein am Duodenum (nXP), welches sich aus dem Mikroben-RP und dem UDP zusammensetzt, sowie die ruminale N-Bilanz zugrunde liegen, ist ein Ersatz von aufwändigen *in situ*- und *in vivo*-Versuchen zur Quantifizierung des ruminale RP-Abbaus durch chemische Stoffgruppenanalyse wünschenswert. Versuche, den ruminale *in situ*-Abbau des RP anhand der chemische Zusammensetzung des Futtermittels zu schätzen, sind in der Vergangenheit von verschiedenen Autoren vorgenommen worden. BABNIK (1995) beispielsweise konnte für Welsches Weidelgras mittels multipler Regression einen Zusammenhang zwischen abbaubarem RP und dem RP-Gehalt, dem NDF- und ADF-Gehalt und dem Gehalt an zellwandassoziiertem RP herstellen. ALEXANDROV et al. (1997) gelangen eine Schätzung des

effektiv abgebauten RP bei einer angenommenen Passagerate von 4 %/h für verschiedene Grünlandpflanzen anhand von dem TM-Gehalt zur Ernte und dem RP-Gehalt, wobei das von den Autoren vorgeschlagene Modell 80 % der Variation des nicht abgebauten Futter-RP erklärte.

Eine universelle Schätzung des nicht abgebauten Futter-RP für verschiedene Passageraten wäre allerdings besser geeignet, zusätzlich zu der Quantifizierung des UDP-Gehaltes zu einem bestimmten Zeitpunkt, Aussagen über die Abbaukinetik des RP im Pansen zu treffen, da der Proteinabbau im Pansen nicht nur von dem Gehalt an sofort löslichem und unlöslichen Rohprotein abhängt, sondern auch von der Menge und der Abbaurrate des potentiell aber langsam abbaubaren Proteins (SHANNAK, 2000).

Dem Versuch einer Schätzung der *in situ* UDP-Gehalte von Grobfuttermitteln anhand der Rohproteinfraktionen lag für die eigenen Untersuchungen die Annahme zugrunde, dass die Veränderung des ruminalen RP-Abbaus im Verlauf der Vegetation auch aus einer Veränderung der Rohproteinzusammensetzung resultiert. Bei den eigenen Untersuchungen stellte sich der Anteil der B3-Fraktion am RP als unabhängig vom Vegetationsstadium dar. Da die Summe aus B3 und C keinen engen Zusammenhang mit der *in situ* d-Fraktion des RP aufwies, kann davon ausgegangen werden, dass der ruminale Abbau der B3-Fraktion in hohem Maße mit der Intensität des Zellwandabbaus zusammenhängt, wobei das Ausmaß dieses Abbaus wiederum in Abhängigkeit von der Passagerate zu kalkulieren ist. Daher ist letztendlich auch nachvollziehbar, warum aus den chemischen Analyseergebnissen der RP-Fraktionierung keine universelle Gleichung für die UDP2 (5, 8)-Gehalte zu erstellen war.

SHANNAK et al. (2000) haben anhand von *in situ*-Versuchen mittels einer multiplen linearen Regression den UDP-Gehalt von 30 verschiedenen Futtermitteln für angenommene Passageraten von 2, 5 und 8 %/h geschätzt. Die Bestimmtheitsmaße für die Schätzung des UDP2, UDP5 und UDP8-Gehaltes anhand chemischer Fraktionierung des Rohproteins nach dem CNCPS (LICITRA et al., 1996) betragen 0,87, 0,93 und 0,94. Bei den von SHANNAK et al. (2000) zur Ermittlung der Regressionsgleichung herangezogenen Futtermitteln handelte es sich allerdings ausschließlich um Konzentratfuttermittel mit Ausnahme dreier Grassilagen. Die Datenbasis von SHANNAK et al. (2000) kann im Vergleich zu den eigenen untersuchten Futtermitteln mit höheren RP-Gehalten, geringeren NDF-Gehalten, geringeren ADF-Gehalten und insgesamt einer größeren Streuung der untersuchten Parameter charakterisiert werden (Tab. 5.5).

**Tabelle 5.5:** Mittelwerte (MW) und Variationskoeffizienten (VK) der Rohproteinfraktionen des Cornell Net Carbohydrate and Protein Systems (CNCPS) des eigenen Datensatzes (Grobfutter) sowie des Datensatzes von SHANNAK et al. (2000) (Konzentratfutter) mit A (g/kg RP) = NPN-Fraktion, B1 (g/kg RP) = wahres Protein, schnell abbaubar, B2 (g/kg RP) = wahres Protein, mittelschnell abbaubar, B3 (g/kg RP) = wahres Protein, NDF-assoziiert, C (g/kg RP) = Lignin assoziiertes Protein, nicht abbaubar,  $p$ NDF (g/kg TM) = Neutral Detergenzienfaser, durch Papierfilter filtriert,  $p$ ADF (g/kg TM) = Säure Detergenzienfaser, durch Papierfilter filtriert

	Grobfutter <sup>1</sup>		Konzentratfutter <sup>2</sup>	
	MW	VK (%)	MW	VK (%)
A	224	52	142	102
B1	65	53	114	93
B2	487	17	514	37
B3	175	32	178	107
C	49	32	52	61
CP	139	30	308	50
$p$ NDF	533	12	403	42
$p$ ADF	317	13	193	49

<sup>1</sup> 47 Grünlandaufwüchse unterschiedlicher Vegetationsstadien, 7 Maissilagen, 7 Heuvarianten

<sup>2</sup> 27 Konzentratfuttermittel, 3 Grassilagen

So können die Ursachen für die schlechte Reproduzierbarkeit der von SHANNAK et al. (2000) festgestellten Beziehungen zwischen chemischer Zusammensetzung des Futterrohproteins und dem ruminalen Abbau desselben in Grobfuttermitteln zum einen in der geringen Varianz des Datensatzes gesehen werden. Andererseits sind höchstwahrscheinlich auch die hohen Anteile an Zellwandkohlenhydraten und deren Abbaugeschwindigkeit, die eben nicht - wie in Kapitel 5.4 noch ausführlich diskutiert werden wird - aus den Gehalten an NDF, ADF und ADL abzuleiten ist, für die niedrigen Bestimmtheitsmaße der Schätzgleichungen verantwortlich. Die Tatsache, dass eine Einbeziehung der ADL-Gehalte in die Regressionsgleichungen keine Verbesserung der Schätzgenauigkeit brachte, ist in dem gleichen Zusammenhang zu sehen. Für die eigenen Daten war eine bestmögliche Annäherung an die *in situ* UDP-Gehalte für die angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h nicht mit einer universellen Gleichung bezogen auf die Regressionsvariablen für alle angenommenen Passageraten möglich. Der C-Anteil am Rohprotein findet sich in allen drei Regressionsgleichungen für UDP2, UDP5 und UDP8 als unabhängige Variable. In die Schätzgleichungen für UDP5 und UDP8 finden auch die Gehalte der Zellwandkohlenhydrate PADF und PNDF Eingang in die erstellten Regressionsgleichungen, was in Hinblick auf den hohen Gehalt an NDF-assoziiertem Protein (B3)

erklärt werden kann. Der Zusammenhang zwischen RP-Abbau und dem Abbau der Zellwandkohlenhydrate konnte anhand der Korrelationskoeffizienten belegt werden (Tab. 5.6).

**Tabelle 5.6:** Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen der Abbaurrate des Rohprotein (RPc) und den Abbauraten der organischen Masse (OMc), der Neutral-Detergenzienfaser (NDFc), der Hemizellulose (HEMc) und der Säure-Detergenzienfaser (ADFc)

	OMc	NDFc	HEMc	ADFc
RPc	0,62	0,78	0,70	0,48

Die Abweichungen der aus der RP-Fraktionierung mittels der Regressionsgleichungen geschätzten UDP-Gehalte von den *in situ* UDP-Gehalten variierten für die untersuchten Grobfuttermittel zwischen 0 und 90 g/kg RP (siehe Tab. 4.3.4), was einer Menge von 0 -19 g RP/kg TM entspricht und damit absolut betrachtet nur einen geringen Anteil ausmacht. Eine vorläufige, noch sehr eingeschränkte Validierung der Regressionsgleichungen an *in situ* UDP-Werten von nur drei Grassilagen ergab eine gute Übereinstimmung (Abweichung für UDP2 (5,8) von 8 - 67 g/kg RP) (KIRCHHOF et al., 2006). Die erstellten Gleichungen ermöglichen also für das untersuchte Material eine gute Annäherung an die *in situ* UDP-Gehalte, eine Verbesserung der Schätzung des *in situ* UDP-Gehaltes durch eine größere Datenbasis oder die Einbeziehung von anderen chemischen Parametern ist aber anzustreben.

#### 5.4.2 Bewertung der *in situ* UDP-Gehalte

Unter der Annahme, dass das Protein aus Grobfuttermitteln einem schnellen ruminalen Abbau unterliegt implizierten KLOPFENSTEIN et al. (2001), dass die Analyse der *in situ*-Residuen auf den NDIN-Gehalt eine direkte Messung des UDP ist. Die Autoren stützen diese Aussage auf Kalkulationen des *in situ* UDP-Anteils bei angenommenen Passageraten von 2, 3 und 4 %/h. Nach Aussage von VOLDEN et al. (2002) hingegen entgeht ein signifikanter Teil des löslichen Futterproteins dem ruminalen Abbau und steht am Duodenum als nutzbares RP zur Verfügung.

In den eigenen untersuchten Grünlandaufwüchsen wurden gemäß Empfehlung der ARC (1984) und analog zu der Arbeit von SHANNAK et al. (2000) Passageraten von 2, 5 und 8%/h angenommen. Während für die Passagerate von 2 %/h die Aussage von KLOPFENSTEIN et al. (2001) annähernd bestätigt werden kann, findet sich in den eigenen Untersuchungen bei angenommenen Passageraten von 5 und 8%/h ein nicht zu vernachlässigender Anteil an ND-löslichem und nicht abgebauten RP. COBLENTZ et al. (1999) untersuchten die ruminale

Verfügbarkeit von NDIN und konnten für Luzerne und eine Gammagrass-Art (*Tripsacum dactyloides*) eine grundsätzliche ruminale Verfügbarkeit zumindest eines Teils des NDIN bestätigen, was in den eigenen Untersuchungen aus den negativen Differenzen zwischen *in situ* UDP-Anteilen und dem NDIN der Rohproteinfraktionierung bei einer angenommenen Passagerate von 2 %/h hervorgeht (Tab. 5.7). Dabei stellten COBLENTZ et al. (1999) bei Luzerne höhere Abbauraten des NDIN als bei dem untersuchten Gras in allen Vegetationsstadien fest. Ebenso konstatieren die Autoren - wie auch VOLDEN et al. (2002) bestätigten - einen nicht unerheblichen Anteil an ND-löslichem RP, welches dem ruminalen Abbau entgeht und der Kuh als nXP zur Verfügung steht. Diese Aussagen finden sich für die eigenen Daten in den positiven Differenzen zwischen *in situ* UDP und dem (NDIN x 6,25) bei den angenommenen Passageraten von 5 und 8 %/h bestätigt (Tab. 5.7). Ein möglichst vollständiger Abbau des RP im Pansen setzt aber gleichzeitig ausreichend Energiequellen voraus, um die Transformation des Futter-RP in Mikroben-RP zu gewährleisten. Der Einbau des NDIN in die mikrobielle Biomasse hängt wiederum von der Geschwindigkeit des NDF-Abbaus, also der energieliefernden Substanz, ab. Für das Ausmaß des ruminalen Proteinabbaus in Grobfuttermitteln ist die Abbaubarkeit der Zellwandkohlenhydrate limitierend, was auch aus der engeren Beziehung zwischen C-Fraktion und INDF-Gehalt ( $r = 0,73$ ) im Vergleich zu der Beziehung zwischen C-Fraktion und potentiell abbaubarer Fraktion (RPd) ( $r = 0,52$ ) zu schließen ist.

**Tabelle 5.7:** Differenzen zwischen den *in situ* UDP-Gehalten und dem NDF-assoziierten Protein\*

Aufwuchs	Woche	UDP2		UDP5		UDP8	
		g/kg RP	g/kg RP	g/kg TM	g/kg RP	g/kg TM	
1	1	-56	84	15	137	24	
1	2	-14	151	23	212	32	
1	3	-42	110	15	166	23	
1	4	0	145	18	198	25	
1	5	10	171	20	228	26	
1	6	14	166	16	222	21	
1	7	-20	108	10	154	15	
2	1	-49	115	22	176	34	
2	2	-24	143	25	203	36	
2	3	-40	113	17	169	26	
2	4	1	161	24	221	33	
2	5	-31	130	18	186	26	
2	6	-58	106	13	165	21	
2	7	-28	124	16	179	23	
3	1	4	163	33	223	46	
3	2	-35	98	20	148	30	
3	3	0	159	30	217	41	
3	4	-8	158	27	217	38	
3	5	-19	136	22	192	32	
3	6	-45	113	16	170	24	
3	7	-34	110	15	162	22	
Heu		-107	6	1	86	11	
Maissilage		58	116	9	161	13	

\* NDF-assoziiertes Protein = B3 + C (RP-Fractionen der Rohproteinfraktionierung nach dem CNCPS)

Anhand von Untersuchungen zum ruminalen RP-Abbau von verschiedenen Gräsern und Luzerne belegten ELIZALDE et al. (1999), dass dem Wiederkäuer mit zunehmendem UDP-Gehalt als Anteil am Gesamtprotein der älteren Futterpflanzen nicht gleichzeitig auch mehr Protein zur Verfügung steht. Das zur Verfügung stehende Protein ist also nicht durch eine Verschiebung des Schnittes von Futterpflanzen zu erhöhen. Dabei stellten die Autoren in Übereinstimmung mit den eigenen Untersuchungen fest, dass eine Zunahme des UDP-Gehaltes mit zunehmendem Alter der Pflanzen nicht gleichzeitig bedeutet, dass dieses UDP dem nXP zugeschlagen werden kann. Es besteht also die Notwendigkeit, die Qualität des

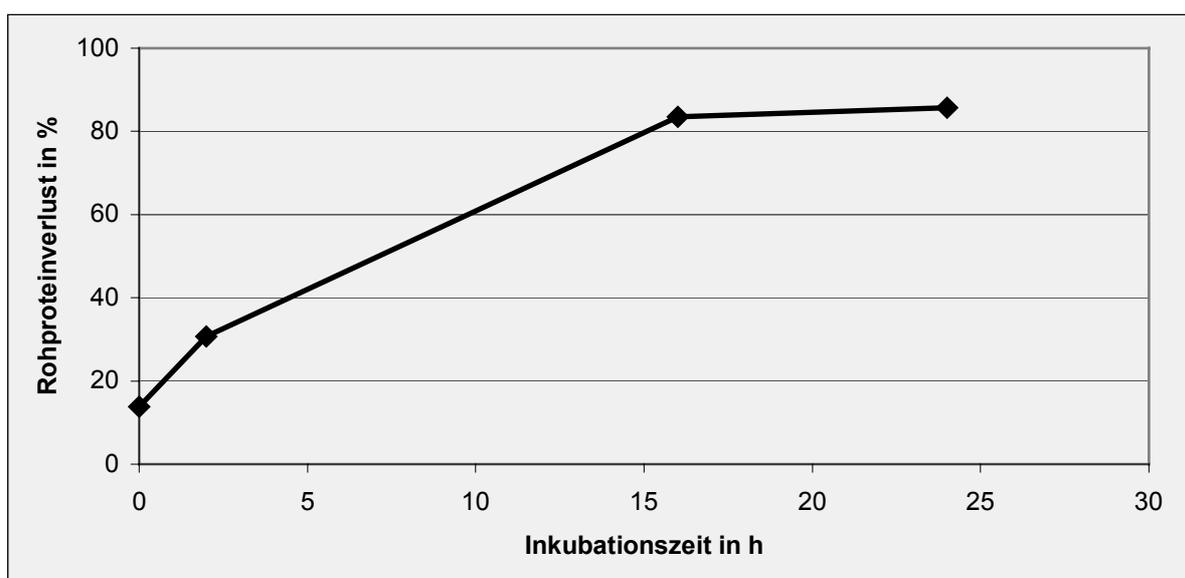
UDP festzustellen, um eine Abschätzung der tatsächlichen Proteinversorgung der Milchkühe vornehmen zu können.

## 5.5 Untersuchungen zum Synchronismus

### 5.5.1 Einfluss des Vegetationsstadiums auf den Synchronismus der Grünlandaufwüchse

Zur Darstellung des Synchronismus wurde der Zeitraum 0 - 16 h, unterteilt in drei Zeitintervalle, gewählt, weil dieser Zeitraum einem realistischen Abstand zwischen zwei Fütterungen entspricht, wenn von einer Fütterung morgens und nachmittags ausgegangen wird. Auch ist die nach 16 h absolute Menge, die an N freigesetzt wird, so gering, dass ein Effekt des futtermittelbedingten Synchronismus angesichts einer potenziellen Rezirkulation des Futter-N nicht mehr von allzu hoher praktischer Relevanz ist (Abb. 5.2). Der SI allerdings wurde zur besseren Vergleichbarkeit mit Untersuchungen anderer Autoren gemäß seiner Definition (SINCLAIR et al., 1993) auf einen Zeitraum von 24 h bezogen.

Das Vegetationsstadium zum Schnittzeitpunkt beeinflusst nicht nur den Gehalt an Zellwandbestandteilen, sondern auch das RP:Energie-Verhältnis im Wiesenfutter (UNIVERSITÄT HOHENHEIM - DOKUMENTATIONSSTELLE 1997; BUCHGRABER et al., 1998). Nicht nur die Gehalte, sondern auch die Abbauparameter von N- und energieliefernden Stofffraktionen haben eine individuelle Dynamik in Abhängigkeit von dem Aufwuchsalter und der Aufwuchsnummer, wie in den vorhergehenden Kapiteln ausführlich gezeigt wurde.



**Abbildung 5.2:** Durchschnittliche *in situ* Rohprotein-Verluste (%) der Grünlandaufwüchse

CHAVES et al. (2006) stellten bei Weidelgras mit zunehmendem Alter eine Halbierung der ruminalen Faserabbaurate fest, während die RP-Abbaurate nicht beeinflusst wurde. Daraus resultierte dann zu Beginn der Fermentation ein  $\text{NH}_3$ -Überschuss, gefolgt von einem  $\text{NH}_3$ -Mangel für die mikrobielle Proteinsynthese. Die eigenen Untersuchungen zeigten für einen Zeitraum von 0 - 16 h nach Inkubationsbeginn in keinem der drei Zeitintervalle einen relativen N-Mangel, ausgehend von dem von SINCLAIR et al. (1993) postulierten Optimum von (25 g N /kg OM)/h. Es wurden abnehmende Abbauraten für alle untersuchten Stofffraktionen mit zunehmendem Alter der Grünlandaufwüchse gefunden.

Bei unterschiedlichem Ausmaß der Veränderung der Abbauraten von N- und energieliefernden Stofffraktionen und den Gehalten der entsprechenden Stoffgruppen, wie es für die untersuchten Grünlandaufwüchse in Kapitel 4 gezeigt und oben ausführlich diskutiert wurde, muss von einem Einfluss des Vegetationsstadiums auf den Synchronismus ausgegangen werden. Das Vegetationsstadium hatte im Gegensatz zu der Aussage von CHAVES et al. (2006) auch einen Einfluss auf die RP-Abbaurate, wobei diese von der ersten bis zur siebenten Woche nur maximal um ein Viertel abnahm.

Wie die eigenen Untersuchungen bestätigten, ist bei frischem Wiesenfutter mit einem hohen N-Überschuss zu Beginn der Fermentation zu rechnen. Besonders durch hohe RP-Gehalte Leguminosen reicher Bestände wird dieser Effekt noch verstärkt (JULIER et al., 2001; STEINGASS et al., 2003). Andererseits wird ein möglicher N-Mangel im Pansen durch abnehmende Rohproteingehalte mit zunehmendem Alter der Aufwüchse durch einen Leguminosenanteil im Bestand abgepuffert. Der signifikante Einfluss der Woche auf die synchrone Freisetzung von N- und energieliefernden Substanzen im Zeitintervall 0 - 2 h macht deutlich, dass eine Verschiebung des Schnittes zunächst das Verhältnis der sofort freigesetzten Stoffe beeinflusst. Im ersten Aufwuchs hat eine Verschiebung des Schnittzeitpunktes eine zunehmende synchrone Freisetzung von N- und energieliefernden Substanzen zur Folge, was auf die starke Abnahme des RP-Gehaltes zurückzuführen ist. Trotz der Abnahme des RP-Gehaltes in der TM kompensierte die relative Zunahme der NPN-Fraktion jedoch einen potentiellen N-Mangel zu Beginn der Fermentation. So ist auch noch in spät geschnittenem ersten Aufwuchs mit RP-Gehalten unter 10 % in der TM kein relativer N-Mangel zu beobachten. Hingegen zeigt das Zeitintervall 0 - 2 h für die 6. Versuchswoche des dritten Aufwuchses einen relativen, wenn auch nur geringen N-Mangel, obwohl der RP-Gehalt in der TM bei über 14 % lag (siehe Tab. 4.1.1). An diesem Beispiel wird deutlich, dass aus dem RP-Gehalt eines Futtermittels bzw. einer Ration nicht auf eine N-Überschuss- oder Mangelsituation für die mikrobielle Proteinsynthese im Pansen geschlossen werden kann.

Das Zeitintervall 2 - 10 h wies für alle Grünlandaufwüchse einen deutlichen N-Überschuss auf, was auf die relativ größere Abnahme der Abbaugeschwindigkeit der energieliefernden Substanzen verglichen mit der Abbaugeschwindigkeit des RP zurückgeführt werden kann.

Die wasserlöslichen Kohlenhydrate sind verbraucht und die NDF wird nicht mit gleicher Geschwindigkeit abgebaut wie die B1 und die B2 Fraktion, die als schnell bis mittel schnell abbaubare Proteinfractionen nicht mit der Zellwand assoziiert sind. Trotz abnehmendem RP-Gehalt mit zunehmendem Alter der Aufwüchse zeigte sich keine Abnahme der Freisetzung von N je kg fermentierter OM. Der Abbau des RP verläuft wesentlich schneller als der OM-Abbau, so dass es zu einem permanenten N-Überschuss kommt. Signifikante Zusammenhänge zwischen den Rohproteinfraktionen und dem N/OM-Verhältnis in den drei Zeitintervallen lassen sich lediglich für den ersten Aufwuchs nachweisen, in dem die B2-Fraktion positiv mit dem Verhältnis von freigesetztem N je kg fermentierter OM in den Zeitintervallen 2 - 10 h ( $r = 0,9$ ) und 10 - 16 h ( $r = 0,9$ ) korreliert war. Der signifikant höhere N-Überschuss im zweiten Aufwuchs im Zeitintervall 2 - 10 h ist auf den Einfluss der höheren Lignin-Gehalte und der damit verbundenen stärkeren Abnahme der Verdaulichkeit der OM zurückzuführen (vergl. Kap. 5.4). Ein verbesserter Synchronismus des N- und OM-Abbaus in frischem Wiesenfutter wäre folglich nur durch eine Verbesserung der Abbaubarkeit der Zellwände zu erreichen, um dem mittelschnell freigesetztem N der B2-Fraktion Energie aus dem Abbau der Zellwandkohlenhydrate entgegen zu setzen. Die Möglichkeit der Verbesserung des NDF-Abbaus durch züchterische Maßnahmen - allerdings ausschließlich mit dem Ziel, die Verdaulichkeit der OM aus Grünfutter zu verbessern - haben TAWHEEL et al. (2005) für Deutsches Weidelgras untersucht. Solches Vorgehen ist in Hinblick auf einen möglichen verbesserten Synchronismus allerdings wenig erfolgversprechend, da ein schnellerer Zellwandabbau im Umkehrschluss wieder mit einer schnelleren RP-Abbaurrate einhergehen wird (VALK et al., 1996). Das ist darauf zurückzuführen, dass die Zellwandbeschaffenheit nicht nur den eigenen Abbau determiniert, sondern auch den des Zellinhaltes und den des zellwandgebundenen RP (TAMMINGA & SÜDEKUM, 2000). Da ein großer Teil des RP im Zellinhalt lokalisiert ist, steigt der RP-Abbau mit besserer Verfügbarkeit des Zellinhaltes an. Zudem ist es auch nach Aussage von STEINGASS et al. (2003) wenig sinnvoll, einzelne Futtermittel - insbesondere die Grundfuttermittel - zu synchronisieren. Vielmehr sollte durch die Wahl geeigneter Ergänzungsfuttermittel ein möglichst optimaler Synchronismus in der Gesamtration angestrebt werden.

Der N-Überschuss im Pansen zu Beginn der ruminalen Fermentation von Wiesenfutter ist ein Problem, welches nicht nur aufgrund der stoffwechselphysiologischen Konsequenzen für das

Tier sondern auch in Zusammenhang mit umweltrelevanten Fragestellungen diskutiert wird (TAMMINGA, 1996; BORSTING, 2003; TAMMINGA, 2003). Auslöser für diese Diskussion sind ein intensives Grünlandmanagement mit hochgedüngten Weidelgrasbeständen und hohen Rohproteingehalten im Wiesenfutter sowie die daraus folgende Nitrat-Belastung des Grundwassers durch Auswaschung von güllegedüngten Flächen.

Der relative N-Überschuss zu Beginn der Fermentation ist in frischem Grünfutter allerdings geringer im Vergleich zu Grassilagen, da in diesen die wasserlöslichen Kohlenhydrate, welche die schnell verfügbare Energie liefern, bereits durch die Fermentationsvorgänge während der Silierung verbraucht werden. SCHÄFER (1996) untersuchte im Rahmen ihrer Dissertation den Synchronismus des Kohlenhydrat- und RP-Abbaus im Pansen bei Frischgräsern und Silagen. Dabei wurden für Silagen aus Deutschem Weidelgras in der ersten Stunde nach Inkubationsbeginn N-Freisetzungen von über 190 g/kg KH beobachtet. Bereits 4 Stunden nach Fermentationsbeginn lag die N-Freisetzung je kg KH bereits unter den als optimal angenommenen 32 g N/kg KH. VOLDEN et al. (2002) machten die Beobachtung, dass frische Wiesenaufwüchse den Pansenmikroorganismen zusammen mit den wasserlöslichen N-Verbindungen auch in gewissem Maße wasserlösliche Kohlenhydrate liefern, so dass bereits zu Beginn des Fermentationsvorganges von einer besseren Ausnutzung des N ausgegangen werden kann. Den weitaus größten Anteil an Kohlenhydraten aus dem Grundfutter stellen aber die Zellwand- oder Strukturkohlenhydrate, so dass deren Abbaubarkeit bei der Energiebereitstellung die entscheidende Rolle zukommt. Hohe B1- und B2-Anteile im RP, also eine schnell verfügbare N-Quelle in Kombination mit schwer abbaubaren Zellwandkohlenhydraten, sind die Hauptursache für asynchrone Verhältnisse im Pansen. Obwohl nun in den untersuchten Grünlandaufwüchsen sowohl die B1- als auch die B2-Fraktion des Rohproteins mit zunehmendem Alter der Aufwüchse gleichzeitig mit der Abbaubarkeit der Zellwandkohlenhydrate abnahm, wurde im Zeitintervall 2 - 10 h der größte N-Überschuss im Vergleich zu dem Zeitintervall 0 - 2 h und 10 - 16 h festgestellt.

Berechnungen zum synchronen Abbau von N- und energieliefernden Substanzen in Form von N/KH-Relationen von YU et al. (2004) ergaben für die Luzerne einen potentiellen N-Überschuss ausgehend von einem optimalen Verhältnis von 25 - 33 (g N/kg OM)/h im Gegensatz zu einem potentiellen N-Defizit beim Wiesen-Lieschgras. Dabei hatte das Vegetationsstadium keinen so bedeutenden Einfluss auf das N/KH-Verhältnis wie die Spezies. Die Folgerung aus den Beobachtungen von YU et al. (2004) wäre ein gering ausgeprägter Einfluss des Vegetationsstadiums auf den Synchronismus in gemischten Grünlandaufwüchsen, was sich für die eigenen Untersuchungen bestätigt. WEISBERG et al.

(1998) machten die Beobachtung, dass ein N-Überschuss im Pansen einen verbessertem Abbau der Zellwandkohlenhydrate zur Folge hat. Für die eigenen Ergebnisse konnte ein Zusammenhang zwischen dem N-Überschuss in den einzelnen Zeitintervallen und dem Abbau der Zellwandkohlenhydrate lediglich für das N/OM-Verhältnis des Intervalls 10 - 16 h und der Abbaurate der ADF ( $r = 0,46$ ) gezeigt werden. Das mag bei ausschließlicher Betrachtung der untersuchten Grünlandaufwüchse auch nicht verwundern, da die Veränderungen im Synchronismus absolut gesehen nicht gravierend sind. Der relativ hohe Leguminosenanteil der untersuchten gemischten Grünlandbestände liefert durch den hohen Pektin Gehalt und der daraus resultierenden guten Abbaubarkeit der OM relativ schnell verfügbare Energie (VAN SOEST, 1982; ELIZALDE et al., 1999). Die eigenen Untersuchungen zeigten, dass sich eine Verschiebung des Schnittes bei Frischgrasfütterung positiv auf den synchronen Abbau im Pansen auswirkte. Es kann also rückschließend festgestellt werden, dass eine Verschiebung des Schnittes zwar keine höhere N-Ausnutzung durch den höheren UDP-Anteil bringt (vergl. Kap. 5.4.2), wohl aber von einer besseren N-Ausnutzung im Pansen durch eine effizientere mikrobielle Proteinsynthese ausgegangen werden kann. Ein Einfluss der Woche auf das N/OM-Verhältnis wurde in den eigenen Untersuchungen nur zu Beginn (0 - 2 h) und 10 - 16 h nach Beginn der Fermentation nachgewiesen. Dazwischen, in der Haupt-Fermentationszeit, das heißt in der Zeit, in welcher der größte Anteil der untersuchten Stofffraktionen abgebaut wird, konnte lediglich ein Einfluss des Aufwuchses bestätigt werden. Im zweiten Aufwuchs war ein durchschnittlich größerer N-Überschuss zu beobachten, was auf den stärker ausgeprägten Rückgang der OM-Verdaulichkeit im Vergleich zum RP-Abbau durch höhere Lignifizierung zurückzuführen ist. Auch für das N/OM-Verhältnis scheinen bei jedem Aufwuchs andere Einflussfaktoren dominierend zu sein. Während die Veränderung der Zusammensetzung und der Abbaubarkeit des Aufwuchses für den ersten Aufwuchs der entscheidende Einflussfaktor ist, ist die Abbaudynamik der Inhaltstoffe des zweiten Aufwuchses in erster Linie durch die höhere klimabedingte Lignifizierung beeinflusst. Im dritten Aufwuchs kommen sowohl der Einfluss des Vegetationsstadium als auch der Einfluss einer veränderten Zusammensetzung des Pflanzenbestandes zum Tragen. Insofern sollte in der vorliegenden Arbeit weiterhin überprüft werden, wie durch die Rationsgestaltung auf Basis der Grünlandaufwüchse den sich mit zunehmendem Alter der Aufwüchse oder durch Klima- oder Pflanzenart bedingte Einflüsse verändernden Abbauraten von N- und energieliefernden Substanzen durch Ergänzung mit unterschiedlichen Futtermitteln Rechnung getragen werden kann.

## 5.5.2 Synchronismus der Rationen

### Grundration

Die Maissilage, welche 15 % der Grundfutterration stellte und als Energieergänzung gefüttert wurde, weist trotz des niedrigen RP-Gehaltes für das Intervall 0 - 2 h nach Fermentationsbeginn einen erheblichen N-Überschuss auf, ebenso verzeichnet die Maissilage im Zeitintervall 2 - 10 h mit 29 (g N/kg OM)/h immer noch einen leichten N-Überschuss. Dieser N-Überschuss ist auf den hohen Anteil an NPN der Maissilagen und den Mangel an schnell fermentierbaren Kohlenhydraten zurückzuführen. Weiterhin hat die Konservierung durch Silierung eine teilweise Fermentation des RP zur Folge, so dass folglich der Anteil des NPN am Futter-RP zwischen 47 und 60 % des RP lag (Tabelle 4.3.2). Das Heu, welches 10 % der Grundfutterration ausmachte, hatte in dem Zeitintervall 0 - 2 h einen optimalen Synchronismus, im Zeitintervall von 2 - 10 h dagegen wies auch das Heu einen den Grünlandaufwüchsen vergleichbaren N-Überschuss auf. Die Kombination der Grünlandaufwüchse mit Maissilage und Heu hatte eine leichte Abnahme des N-Überschusses im Zeitintervall 2 - 10 h zur Folge. Der N-Überschuss im Zeitintervall 0 - 2 h hingegen nahm sogar etwas zu (Tab. 5.8).

**Tabelle 5.8:** Vergleich der Mittelwerte<sup>1</sup> des durchschnittlich stündlich *in situ* freigesetzten N (g) je kg fermentierter organischer Masse (OM) (g N/kg OM)/h in drei Zeitintervallen nach Beginn der Inkubation aus den Grünlandaufwüchsen (A) und den Grundfutterrationen (GF)<sup>2</sup>

Aufwuchs	0 - 2 h		2 - 10 h		10 - 16 h	
	(g N/kg OM)/h					
	A	GF	A	GF	A	GF
1	36	37	59	54	30	27
2	40	40	66	54	36	30
3	33	39	61	58	35	30

<sup>1</sup> Mittelwerte des Aufwuchses

<sup>2</sup> Grundfutterration = 75 % Grünlandaufwuchs + 15 % Maissilage + 10 % Heu

Dieses Ergebnis ist auf die nur mäßig schnelle Fermentationsgeschwindigkeit der Maisstärke zurückzuführen, die nicht in der Lage war, den anfänglichen N-Überschuss zu kompensieren. Es kann davon ausgegangen werden, dass durch eine Erhöhung des Anteils an Maissilage in einer Ration basierend auf frischen Wiesenschnitten für das Zeitintervall 2 - 10 h noch eine gewisse Verbesserung der synchronen Verhältnisse im Pansen zu erzielen wäre. Allerdings müsste dabei beachtet werden, dass es kurz nach Fermentationsbeginn zu einem höheren N-Überschuss kommen wird und außerdem die Gefahr besteht, dass N im weiteren Verlauf der

Fermentation (> 10 h) in einen relativen Mangel gerät. Untersuchungen von O'MARA et al. (1998) wiesen positive Effekte auf TM-Aufnahme und Milchleistung sowie Milchprotein-konzentration durch eine Erhöhung des Anteils von Maissilage in einer Grassilageration nach. Da Grassilagen einen geringen Gehalt an löslichen Kohlenhydraten aufweisen, kann der von O'MARA et al. (1998) beobachtete Effekt der Maissilage auf die Bereitstellung von Energie durch die Stärke zu einem relativ frühen Zeitpunkt im Fermentationsverlauf zurückgeführt werden. Es kann in Rationen mit Gras- und Maissilage mit einem höheren Synchronismus ab 2-3 Stunden nach Fermentationsbeginn gerechnet werden, der ursächlich für die beobachteten Effekte sein kann. Allerdings ist unter Berücksichtigung der eigenen und den Untersuchungen von SCHÄFER (1996) in solchen Rationen von einem hohen N-Überschuss unmittelbar nach Fermentationsbeginn auszugehen.

### **Gesamtration**

Nachfolgend soll diskutiert werden, ob durch den Einsatz unterschiedlicher Konzentratfuttermengen und -arten die Rationen in Hinblick auf ihren Synchronismus optimiert werden könnten. Das schnell fermentierbare Konzentratfutter (KFS) wies ein hohes Maß an Synchronismus auf, sowohl die OM als auch das RP wurden schnell abgebaut. Insofern stellt das KFS ein synchrones Leistungsfutter dar, welches geeignet ist, synchron langsam fermentierbare Grundfutterrationen zu ergänzen. Das langsam fermentierbare Konzentratfutter (KFL) hingegen wäre aufgrund des relativen N-Mangels besser geeignet, eine Grundfutterration mit N-Überschuss auszugleichen (Tabelle 5.8). Die untersuchten Grundrationen erfordern, wie oben gezeigt, in erster Linie relativ schnell fermentierbare Energieträger. Auf den Synchronismusindex der untersuchten Rationen hatte lediglich der Anteil des Konzentratfutters in der Ration einen Einfluss, nicht aber die Art und damit die Stärkequelle. Die Rationen mit einem Anteil von 50 % schnell fermentierbarem Konzentratfutter wiesen den höheren Synchronismusindex im Vergleich zu den Rationen mit einem Anteil von 25 % Konzentratfutter auf. Nach CLARK et al. (1992) kann davon ausgegangen werden, dass sämtliche beobachteten Effekte bei einer Veränderung des Konzentratfutteranteils in der Ration eher auf die Erhöhung der absoluten Menge der fermentierbaren organischen Masse und auf die Geschwindigkeit des OM-Abbaus zurückzuführen sind als auf ein definiertes Grundfutter/Konzentratfutter-Verhältnis.

Die einzelnen Zeitintervalle zeigten ein differenziertes Bild der Einflussfaktoren auf den synchronen Abbau von N- und energieliefernden Substanzen in den Rationen. Die Kombination der Kraftfutterarten mit den Grundfutterrationen basierend auf den Grünlandaufwüchsen unterschiedlicher Vegetationsstadien zeigte, dass im Zeitintervall 0 - 2 h in den

KFS-Rationen ein höheres Maß an Synchronismus erreicht wurde, was allerdings nicht auf einen hohen Anteil an sofort löslicher OM zurückgeführt werden kann (siehe Tab. 4.2.8), sondern ausschließlich auf die hohe Abbaurate. Beide Konzentratfuttermittel hatten nur einen relativ geringen Gehalt an sofort löslicher OM, weshalb die zumeist höheren Gehalte an sofort löslichem RP der Grundfuttermittel nicht vollständig gepuffert werden konnten. Deshalb bestand im Zeitintervall 0 - 2 h auch bei höheren Mengen an Konzentratfutter noch ein relativer N-Überschuss. Weder das KFS noch das KFL konnten innerhalb der ersten zwei Stunden die Effekte des Vegetationsstadiums kompensieren. Vor allem der synchrone Abbau von N- und energieliefernden Substanzen beim KFS konnte das N/OM-Verhältnis der Grundration nicht modifizieren, während die Stärke des KFL zu langsam freigesetzt wurde, um den N-Überschuss der Grundration zu puffern.

Im Zeitintervall 2 - 10 h war die Menge des eingesetzten Konzentratfuttermittels der bestimmende Einflussfaktor auf die synchrone Freisetzung von N je kg OM, wobei die Rationen mit einem Konzentratfutteranteil von 50 % den Rationen mit einem Anteil von 25 % KF hinsichtlich der synchronen Freisetzung von N und Energie überlegen waren. Bei einer erhöhten Menge von KF in der Ration wird der relative Anteil des Grundfutters kleiner und damit treten auch die Effekte des Grundfutters in den Hintergrund. Trotzdem war ebenfalls ein Einfluss der Vegetationswoche nachzuweisen. Die Rationen mit später geschnittenem Wiesenfutter wiesen einen geringeren N-Überschuss auf als die Rationen basierend auf jüngerem Grünfutter. Trotzdem war auch in den Rationen auf Grundlage von überständigem Grünfutter mit niedrigem RP-Gehalt und ergänzt durch einen Anteil von 50 % schnell fermentierbarem Konzentratfutter kein relativer N-Mangel festzustellen. Das ist zum einen auf die große Menge an synchron mit der OM freigesetzten N aus dem Konzentratfutter selbst zurückzuführen. Dass aber auch in den Rationen mit überständigen Grünlandaufwüchsen und langsam fermentierbarem Konzentratfutter trotz niedriger RP-Gehalte kein N-Mangel beobachtet wurde, kann vor allem aus den zunehmenden NPN-Anteilen am RP mit zunehmendem Alter des Wiesenfutters gefolgert werden.

Die KF-Art wird im Zeitintervall 10 - 16 h der bestimmende Einflussfaktor auf den Synchronismus der Rationen, was auf die unterschiedliche Geschwindigkeit der Stärkefermentation beider Konzentratfutterarten zurückzuführen ist. Im Zeitintervall 10 - 16 h ist der größte Teil der schnell fermentierbaren Stärke des schnell fermentierbaren Konzentratfutters abgebaut, während die Stärke des langsam fermentierbaren Konzentratfutters auch nach mehr als 10 h noch freigesetzt wird und es dadurch zu einem geringfügigen relativen Energieüberschuss in den Rationen mit einem Anteil von 50 % langsam fermentierbarem

Konzentratfutter kommt. CASTILLO et al. (2001) stellten fest, dass die N-Exkretion über den Harn um bis zu 30 % reduziert war, wenn in Ergänzung zu Grassilage anstelle eines gerstehaltigen Kraftfutters ein Konzentratfuttermittel auf Mais-Basis gefüttert wird. Wenn man von einem noch größeren N-Überschuss bei Grassilagen im Vergleich zu frischem Grünfutter vor allem zu Beginn der Fermentation ausgeht (SCHÄFER, 1996; BLANK et al., 1998), ist diese Feststellung besonders bemerkenswert unter Berücksichtigung der Tatsache, dass Maisstärke im Vergleich zu Stärke anderer Getreidearten langsamer fermentiert wird. Erklärt wurde diese Beobachtung von CASTILLO et al. (2001) mit einer Verlagerung der Stärkefermentation in den Dickdarm bei der langsam fermentierbaren Maisstärke und einer daraus folgenden größeren Menge an mikrobiellem Protein, welches mit dem Kot ausgeschieden wird. Die höhere mikrobielle Proteinsynthese im Dickdarm fungiert aufgrund des höheren Bedarfs an N wiederum als „Senke“ für den in den umliegenden Geweben durch die höhere N-Absorption im Pansen angereicherten Harnstoff. Wenn auch die gesamte N-Ausscheidung aufgrund eines relativ höheren Anteils von mikrobiellem Protein der Dickdarmfermentation nicht verringert ist, so ist doch von einer besseren Effizienz der Nutzung des Futter-RP bei Rationen mit langsam fermentierbaren Stärketrägern auszugehen. MCCARTHY et al. (1989) stellten nach Fütterung von maisbasierten Rationen höhere Milchleistungen und höhere Proteingehalte der Milch fest im Vergleich zu Rationen, die mit einem gerstebasierten Konzentratfuttermittel ergänzt wurden. Zurückgeführt wurden diese Beobachtungen auf einen höheren ruminalen NDF-Abbau infolge Fütterung mit maisbasierten im Vergleich zu gerstebasierten Rationen. Aufgrund des stabileren Pansenmilieus durch langsam fermentierbare Energieträger wurden die zellulolytischen Bakterien in geringerem Umfang gehemmt. Ähnliche Beobachtungen machten CASPER et al. (1999), die nach Fütterung von maisbetonten Rationen höhere TM-Aufnahmen und höhere Milchleistungen feststellten. Im gleichen Zusammenhang stehen Aussagen von KRAJCARSKI et al. (2002), die bei einer Steigerung des Anteils eines getreidehaltigen (Weizen und Gerste) Konzentratfutters in der Ration von 60 auf 70 % einen Rückgang des ruminalen NDF-Abbaus um bis zu 15 Prozentpunkte beobachteten.

Die eigenen Ergebnisse zeigen, dass durch eine schnell abbaubare Stärkequelle zunächst für die Gesamtration synchrone Verhältnisse im Pansen geschaffen werden, es kann dadurch aber gleichzeitig zu einem stärkeren Absinken des pH-Wertes und damit einer Hemmung der zellulolytisch aktiven Bakterien kommen. Eine pH-Wert-Absenkung im Pansen aufgrund der eingesetzten Konzentratfuttermenge wurde von GASA et al. (1991) nicht beobachtet. Untersuchungen von ALDRICH et al. (1993) belegen allerdings einen Einfluss der Fermentations-

geschwindigkeit der Energieträger auf den ruminalen pH-Wert. Rationen mit schnell löslichen Kohlenhydraten bewirkten niedrigere pH-Werte im Vergleich zu Rationen, die mit langsam fermentierbaren Energieträgern ergänzt wurden. DEWHURST et al. (1999) bestätigen für grassilagebasierte Rationen mit nur geringem Anteil von Konzentratfutter einen signifikanten Einfluss der Energiequelle des Konzentratfutters auf den pH-Wert des Pansen, wobei schnell fermentierbare Energieträger einen niedrigeren pH-Wert bewirkten als langsam fermentierbare. Der bei den eigenen Untersuchungen festgestellte Einfluss der KF-Art auf den Synchronismus im Zeitintervall 10 - 16 h wird allerdings eher direkt auf die unterschiedliche Geschwindigkeit des Stärkeabbaus zurückzuführen sein und nicht auf eine etwaige Depression des Zellwandabbaus durch die schnell fermentierbare Stärke des KFS.

Ein Einfluss des Vegetationsstadiums von gemischten Grünlandschnitten auf die synchrone Freisetzung von N- und energieliefernden Substanzen war nachzuweisen, hat aber bei der Wahl der Rationsergänzung durch Konzentratfuttermittel eher untergeordnete Bedeutung. Bei der Wahl der geeigneten Konzentratfutterart in Hinblick auf den Synchronismus muss anhand der eigenen Ergebnisse dem KFS der Vorzug gegeben werden. Andererseits ist bei der Wahl des Konzentratfuttermittels das mögliche Absinken des pH-Wertes im Pansen durch einen hohen Anteil an schnell fermentierbaren Kohlenhydraten und die daraus möglicherweise anschließende Depression des Zellwandabbaus zu berücksichtigen. Anhand der eigenen Ergebnisse kann allerdings nicht auf eine stärkere Hemmung des Zellwandkohlenhydratabbaus bei Ergänzung der Ration mit einer schnell fermentierbaren Stärkequelle geschlossen werden. Die Futtermittel wurden einzeln in einem weitestgehend konstanten Pansenmilieu inkubiert und eventuelle Wechselwirkungen zwischen Grund- und Konzentratfutter konnten nicht auftreten und damit auch nicht quantifiziert werden.

Eine Optimierung des Zellwandabbaus des Grundfutters durch die Kombination mit langsam fermentierbaren Energiequellen im Vergleich zu schnell fermentierbaren Energiequellen sollte überprüft werden. Es ist in Betracht zu ziehen, dass vor dem Hintergrund einer Forderung nach einer möglichst effizienten Ausnutzung des Grundfutters (Wirtschaftlichkeit) dem Pansenmilieu eine höhere Bedeutung zukommt als einem kurzfristigen Einstellen synchroner Pansenverhältnisse.

## 6 Zusammenfassung

In Anlehnung an ein umfangreiches Projekt zur Strukturwirkung von Grünlandaufwüchsen des Alpenraums unterschiedlicher Vegetationsstadien der HBLFA Raumberg-Gumpenstein wurde der Einfluss des Vegetationsstadiums auf die ruminalen Abbauparameter mittels der *in situ*-Methode untersucht. Der Schwerpunkt der Fragestellung lag dabei auf dem Einfluss des Vegetationsstadiums auf den synchronen Abbau von N- und energieliefernden Stoffgruppen. Weiterhin wurde untersucht, inwieweit die mangelnde Effizienz des Rohproteins der Grünlandaufwüchse durch hohe N-Verluste in den ersten Stunden nach Futteraufnahme aufgrund unzureichenden Mengen an schnell fermentierbarer Energie aus dem Grundfutter durch die Zulage unterschiedlicher Konzentratfüttermittelarten und -mengen erhöht werden kann. Dazu wurden die Grünlandaufwüchse sowie die Rationsergänzungsfüttermittel Heu, Maissilage sowie zwei Konzentratfütter (schnell bzw. langsam fermentierbar) in jeweils drei pansenfistulierten Ochsen für 0, 2, 4, 6, 8, 16, 24, 48, 72, und 336 h inkubiert. Die durch die Inkubation ermittelten prozentualen Verluste der analysierten Stoffgruppen Trockenmasse (TM), organische Masse (OM), Rohprotein (RP), Neutral-Detergenzienfaser (NDF), Säure-Detergenzienfaser (ADF) und Hemizellulosen (HEM) wurden um den Verlust an wasserunlöslichen kleinen Partikeln korrigiert. Die RP-Verluste wurden mittels der NDIN-Methode um die mikrobielle Kontamination korrigiert. Aus den korrigierten Verlusten erfolgte die Schätzung folgender Parameter des ruminalen Abbaus: a = sofort löslicher Anteil der jeweiligen Stoffgruppe, b = unlöslicher, potentiell abbaubarer Anteil, c = Abbaurate der Fraktion b, d = potentiell abbaubarer Anteil (a + b), sowie die Lag-Phase, welche die Verzögerungszeit zwischen Inkubationsbeginn und dem Beginn des mikrobiellen Abbaus beschreibt. Der effektive Abbau der jeweiligen Stoffgruppe wurde für drei angenommene Passageraten (2, 5 und 8 %/h) ausgehend von der Annahme einer niedrigen, mittleren und hohen Futteraufnahme geschätzt. Für die Zellwandkohlenhydratfraktionen NDF, ADF und HEM wurde zusätzlich die im Pansen nicht abbaubare Fraktion (INDF, IADF und IHEM), sowie der Gehalt an abbaubarer Fraktion in der TM (DNDF, DADF und DHEM) berechnet. Zur näheren Beschreibung der Kinetik des ruminalen RP-Abbaus wurden an den untersuchten Füttermitteln zusätzlich die Rohproteinfraktionen nach dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) analysiert und der Versuch einer Schätzung des UDP-Gehaltes der Grünlandaufwüchse, des Heus und der Maissilagen bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h aus den Rohproteinfraktionen unternommen. Zur Charakterisierung des synchronen Abbaus der Einzelfüttermittel sowie der Rationen wurde eine Berechnung des

durchschnittlich stündlich freigesetzten N je kg OM aus den Einzelfuttermitteln und den Rationen für drei Zeitintervalle (0 - 2, 2 - 10 und 10 - 16 h) nach Inkubationsbeginn vorgenommen sowie der Synchronismusindex berechnet.

Anhand der Veränderung des ruminalen Abbaus der untersuchten Stoffgruppen (abnehmende Abbauraten und abnehmende potentiell abbaubare Anteile aller untersuchten Stoffgruppen mit zunehmendem Pflanzenalter) wurde auf eine Proportionsverschiebung der Pflanzenhauptorgane Blatt und Sprossachse im Verlauf der Vegetation vor allem durch eine Veränderung der mengenmäßigen Anteile von vegetativen und reproduktiven Trieben, deren chemische Zusammensetzung in Bezug auf die Zellwände sowie des RP z. T. erheblich variiert, geschlossen. Desweiteren wurde der festgestellte Einfluss der Aufwuchsnummer mit den klimatischen Veränderungen während der Vegetationsperiode (höchster durchschnittlicher Anteil an nicht abbaubarem NDF, ADF und RP im zweiten Aufwuchs) und einer Zunahme des Leguminosenanteils (höchste Abbauraten von OM, NDF und ADF im dritten Aufwuchs) durch die Schnittnutzung erklärt. Da die pflanzenorgan- und pflanzenartbedingten Unterschiede im ruminalen Abbau der Zellwände und des Zellinhaltes in erster Linie in dem chemischen Aufbau der Hemizellulosen und zum anderen in den Bindungsformen zwischen Lignin und Zellwandfraktionen begründet ist, konnte gezeigt werden, dass bei der Bewertung von Grünlandaufwüchsen des Alpenraumes unterschiedlicher Vegetationsstadien und Aufwuchsnummern die ruminalen Abbaucharakteristika nicht aus der herkömmlichen Analyse der Rohnährstoffe oder der Detergenzien-Methode (Zellwandkohlenhydratfraktionierung - NDF, ADF) abzuleiten waren. Für eine bessere Schätzung des Abbaus von OM, NDF, ADF und RP wurde eine differenzierte Analyse der Hemizellulosenpolysaccharide sowie der Bindungsformen des Lignins an dieselben vorgeschlagen.

Der Versuch einer Schätzung der *in situ* UDP-Gehalte bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h mittels multipler linearer Regression anhand der untersuchten Grünlandaufwüchse sowie der Rationsergänzungskomponenten Heu und Maissilage aus den Rohproteinfraktionen zeigte die Möglichkeit auf, 51, 54 und 56 % der Variation der *in situ* UDP-Gehalte der Grobfuttermitteln anhand der Rohproteinfraktionen nach dem CNCPS sowie den Zellwandfraktionen NDF und ADF zu erklären. Für eine exaktere Schätzung des *in situ* UDP-Gehaltes aus Grobfuttermitteln muss aufgrund der Abhängigkeit des Rohproteinabbaus von dem Abbau der Zellwandkohlenhydrate ebenfalls auf die Notwendigkeit differenzierter Analyse der Zellwandbestandteile und deren Einfluss auf den ruminalen Abbau verwiesen werden.

Die Untersuchungen zum synchronen Abbau der Grünlandaufwüchse zeigten einen hohen N-Überschuss zu Beginn der Fermentation. Trotz abnehmender RP-Gehalte bis teilweise auf  $< 10\%$  der TM mit zunehmendem Alter der Aufwüchse kam es durch zunehmende Gehalte an NPN am RP im Verlauf der Vegetation zu keinem relativen N-Mangel.

Die Rationen mit einem Anteil von 50 % an schnell fermentierbarem Konzentratfuttermittel zeigten den höchsten Synchronismusindex (bis 0,7). Dabei wurde bei der nach Zeitintervallen differenzierten Betrachtung des Synchronismus festgestellt, dass in dem Zeitintervall 2-10 h die Konzentratfuttermenge, nicht die Fermentationsgeschwindigkeit der Haupteinflussfaktor auf den synchronen Abbau war. Ein Einfluss der Konzentratfutterart zeigte sich erst in dem Zeitintervall 10-16 h, in dem die Rationen mit dem langsam fermentierbaren Konzentratfutter einen besseren Synchronismus aufwiesen. Eine alleinige Beurteilung des Synchronismus der Rationen anhand des Synchronismusindex ist deshalb nicht sinnvoll, kann jedoch einen zusätzlichen Beitrag zur zielgerichteten Rationsgestaltung leisten.

## 7 Anhang

**Tabelle 7.1:** Pflanzenbestände der Stainacherwiese der Jahre 2000 und 2004, botanische Aufnahme nach Braun-Blanquet

<b>Aufnahmenummer</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	
<b>Zeit der Aufnahme: Jahr</b>	2000	2000	2000	2000	2004	2004	2004	2004	
<b>Monat</b>	5	5	5	5	5	9	5	9	
<b>Tag</b>	10	10	10	10	21	12	21	12	
<b>Größe der Fläche in m<sup>2</sup></b>	12	20	100	100	60	100	100	100	
<b>Bedeckung in %</b>	90	95	90	85	97	92	95	97	
<b>Gräser in %</b>	50	30	55	60	45	35	55	60	
<b>Kräuter in %</b>	10	35	37	15	15	40	35	25	
<b>Leguminosen in %</b>	40	35	8	25	40	25	10	15	
<b>Zahl der Arten</b>	22	16	40	22	40	36	32	21	
<b>AKA</b>									
Ranunculus repens	2a	3	2	2a	2	2	1	2b	Kriechender Hahnenfuß
Alopecurus pratensis	1	2a	2a		1b	2	2	2b	Wiesenfuchsschwanz
<b>DA d. Subass. von</b>									
Carex acuta	3a	2	+	+	2	1b	+		Schlank-Segge
Phalaris arundinacea		2			+	1b	r		Rohrglanzgras
<b>Arten des Magnocaricion</b>									
Carex acutiformis	+				+	1a			Sumpf-Segge
Carex vesicaria	+				1b				Blasen-Segge
<b>Arten der Flut- und Trittrasen</b>									
Poa annua	+			+	1a		+	1a	Einjahrs-Rispe
Carex hirta					2a		1		Behaarte Segge
Agrostis stolonifera ssp.prorepens					1b	1a			Kriech-Straußgras
Eleocharis uniglumis					1b				Einspelzen-Sumpfbirse
Juncus effusus		+							Flatter-Simse
Symphitum officinale			+						Echter Beinwell
<b>Arten der Nass- und Feuchtwiesen</b>									
Deschampsia cespitosa		+	+		+	1b	1b	1a	Gew. Rasenschmiele
Ranunculus auricomus			+	+	+		r	1a	Gold-Hahnenfuß
Lychnis flos cuculi	+		+		+	1			Kuckuckslichtnelke
Persicaria bistorta			1			1b	+		Schlangen-Knöterich
Cirsium oleraceum			+				+	+	Kohl-Kratzdistel
Scirpus sylvaticus					2a		+		Gew. Waldbinse
Cardamine pratensis			+		+				Gew. Wiesen-Schaumkraut
Sanguisorba officinalis			+				+		Großer Wiesenknopf
Galium palustre					1a				Sumpf-Labkraut
Filipendula ulmaria			+						Echtes Mädesüß
Myosotis palustris							+		Sumpf-Vergißmeinnicht
Narcissus radiiflorus			+						Stern-Narzisse
Serratula tinctoria			+						Färber-Scharte
Trifolium hybridum							+		Schweden-Klee
Angelica sylvestris			+R						Wild-Engelwurz
<b>Arten der Kulturweiden</b>									
Phleum pratense	+	+	1	1b	+	1a	+	1a	Wiesen-Lieschgras
Trifolium repens	3		1	3	3	2	2	2	Weißklee
Veronica serpyllifolia	+		+	+	+	+	+		Quendel-Ehrenpreis
Bellis perennis					+	+			Gänseblümchen
Prunella vulgaris						1			Gew. Brunelle
Lolium perenne					+				Engl. Raygras

**Tabelle 7.1 (Fortsetzung):** Pflanzenbestände der Stainacherwiese der Jahre 2000 und 2004, botanische Aufnahme nach Braun-Blanquet

<b>Aufnahmenummer</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	
<b>Zeit der Aufnahme: Jahr</b>	2000	2000	2000	2000	2004	2004	2004	2004	2004
<b>Monat</b>	5	5	5	5	5	9	5	9	
<b>Tag</b>	10	10	10	10	21	12	21	12	
<b>Größe der Fläche in m<sup>2</sup></b>	12	20	100	100	60	100	100	100	
<b>Bedeckung in %</b>	90	95	90	85	97	92	95	97	
<b>Gräser in %</b>	50	30	55	60	45	35	55	60	
<b>Kräuter in %</b>	10	35	37	15	15	40	35	25	
<b>Leguminosen in %</b>	40	35	8	25	40	25	10	15	
<b>Zahl der Arten</b>	22	16	40	22	40	36	32	21	
<b>Verbr. Arten d. Wirtschaftswiesen</b>									
Taraxacum officinale	2a	2	2	2	2a	2	2b	2	Kuhblume
Cerastium holosteoides	+	1	1	+	+	+	1	1a	Gew. Hornkraut
Poa trivialis	1b	2		2	2a	2a	1a	2a	Gemeine Rispe
Poa pratensis	+	+		+	1b	2	2	1b	Wiesen-Rispe
Ranunculus acris	+	1	1		1b	+	+	+	Scharfer Hahnenfuß
Festuca pratensis	+		+	+	1b	1b	+	+	Wiesen-Schwingel
Lolium multiflorum	+		1b	+		1b	+	2b	Italienisches Raygras
Achillea millefolium		+	+	+	1b	1b		1a	Echte Schafgarbe
Trifolium pratense			1		3	2a	+	+	Rotklee
Trisetum flavescens			1a	+	+	2	+		Wiesen-Goldhafer
Dactylis glomerata					+	2a	1	2	Knautgras
Plantago lanceolata			+		+	2		+	Spitz-Wegerich
Rumex acetosa		+	2b		+				Wiesen-Sauerampfer
Vicia cracca			+		+	1b			Vogel-Wicke
Centaurea jacea			+			+		+	Wiesen-Flockenblume
Lathyrus pratensis			+			+			Wiesen-Platterbse
Ajuga reptans			1b						Kriech-Günsel
Lotus corniculatus			1						Gew. Hornklee
Heracleum sphondylium						1a			Gew. Bärenklau
Veronica chamaedrys						+			Gamander-Ehrenpreis
<b>Unkräuter und Lückenfüller</b>									
Elymus repens	+			3	1a		2	1a	Quecke
Glechoma hederacea	+			1b	1b		1b	1b	Echte Gundelrebe
Capsella bursa pastoris	+				1a		1b		Gew. Hirtentäschel
Rumex obtusifolius			+	+	2a				Stumpfbblatt-Ampfer
Veronica arvensis		+		+			+		Feld-Ehrenpreis
Rumex crispus				1			1		Kraus-Ampfer
Bromus hordeaceus			+						Weiche Tresse
Lamium album							+		Weiß-Taubnessel
<b>Arten der Magerwiesen</b>									
Agrostis capillaris	+	+	1a	+					Rot-Straußgras
Anthoxanthum odoratum			2b	+					Gew. Ruchgras
Leucanthemum ircutianum			+		+				Wiesen-Margerite
<b>Arten der Goldhafer- und Glatt- haferwiesen</b>									
Alchemilla monticola			+		+	+			Bergwiesen-Frauenmantel
Myosotis sylvatica	+		+						Wald-Vergißmeinnicht
Campanula patula						+			Wiesen-Glockenblume
<b>Weitere vorkommende Arten</b>									
Prunus padus							r		Gew. Traubenkirsche

**Tabelle 7.2:** Pflanzenbestände der Thalhammerwiese der Jahre 2000 und 2004, botanische Aufnahme nach Braun-Blanquet

<b>Aufnahmenummer</b>	1	2	3	4	
<b>Zeit der Aufnahme: Jahr</b>	2000	2004	2004	2004	
<b>Monat</b>	5	5	5	5	
<b>Tag</b>	10	13	13	13	
<b>Größe der Fläche in m<sup>2</sup></b>	100	100	20	50	
<b>Bedeckung in %</b>	80	80	95	95	
<b>Gräser in %</b>	50	35	80	75	
<b>Kräuter in %</b>	10	30	20	5	
<b>Leguminosen in %</b>	45	35	0,5	20	
<b>Zahl der Arten</b>	25	37	13	18	
<b>Ausgesäte Arten</b>					
Trifolium repens	2	2b	+	1b	Weißklee
Dactylis glomerata	+	2a	1	2	Knaulgras
Phleum pratense	3	1a	+	2	Wiesen-Lieschgras
Poa pratensis	+	1	1	2	Wiesen-Rispe
Lolium perenne	+	1		1	Engl. Raygras
Festuca pratensis	2b	1b		2b	Wiesen-Schwingel
Trifolium pratense	2	1b		1a	Rotklee
Lotus corniculatus	+	+		+	Gew. Hornklee
Trifolium hybridum	+	+		+	Schweden-Klee
Festuca rubra	+				Rotschwingel
<b>Arten der Tritt- und Flutrasen</b>					
Ranunculus repens		1	1b		Kriechender Hahnenfuß
Juncus filiformis	+	+			Faden-Simse
Juncus articulatus	+	+			Glieder-Simse
Poa annua		1b			Einjahrs-Rispe
Plantago major	+				Breit-Wegerich
					Verschiedenblättriger
Polygonum aviculare		+			Vogelknöterich
<b>Arten der Nass- und Feuchtwiesen</b>					
Phalaris arundinacea		1b	2a	+	Rohrglanzgras
Cirsium oleraceum	+	+	+		Kohl-Kratzdistel
Rorippa sylvestris	+	+			Wilde Sumpfkresse
Deschampsia cespitosa		+			Gew. Rasenschmiele
<b>Verbr. Arten d. Wirtschaftswiesen</b>					
Alopecurus pratensis	1	1b	1	1b	Wiesenfuchsschwanz
Poa trivialis	+	3	+	2	Gemeine Rispe
Cerastium holosteoides	+	+	+	+	Gew. Hornkraut
Taraxacum officinale	2	3a	2	1b	Kuhblume
Achillea millefolium	+	+		+	Echte Schafgarbe
Ranunculus acris	+	+		+	Scharfer Hahnenfuß
Veronica serpyllifolia	1	+			Quendel-Ehrenpreis
Anthriscus sylvestris		1a	1a		Wiesen-Kerbel
Crepis biennis		+			Wiesen-Pippau
Heracleum sphondylium	+				Gew. Bärenklau
Ajuga reptans		+			Kriech-Günsel
Plantago lanceolata		+			Spitz-Wegerich
Bellis perennis		+			Gänseblümchen
Rumex acetosa		+			Wiesen-Sauerampfer
<b>Unkräuter und Lückenfüller</b>					
Elymus repens		2	4a	2	Quecke
Rumex obtusifolius	+	1		+	Stumpfblatt-Ampfer
Capsella bursa pastoris		+			Gew. Hirtentäschel
Glechoma hederacea		+			Echte Gundelrebe
Lamium album		+			Weiß-Taubnessel
Rumex crispus	+				Kraus-Ampfer
Veronica arvensis		+			Feld-Ehrenpreis

**Tabelle 7.3:** Mittelwerte\* der *in situ* effektiv abgebauten Trockenmasse bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (ETM2, ETM5, ETM8)

Aufwuchs	Woche	ETM2 (%)	ETM5 (%)	ETM8 (%)
1	1	75,0	62,9	55,4
1	2	70,7	57,6	49,9
1	3	68,7	56,3	49,0
1	4	62,7	50,4	44,1
1	5	60,2	48,2	41,9
1	6	54,7	41,8	35,0
1	7	58,9	47,4	41,9
2	1	68,5	55,7	47,7
2	2	62,8	49,8	42,5
2	3	66,2	54,8	48,0
2	4	60,5	47,8	41,6
2	5	62,5	49,4	43,4
2	6	58,2	46,0	39,6
2	7	57,6	46,7	41,0
3	1	70,1	59,9	51,8
3	2	71,6	60,6	52,6
3	3	66,3	56,1	48,7
3	4	60,1	48,2	40,1
3	5	61,5	50,0	42,4
3	6	60,5	49,5	42,0
3	7	59,4	48,2	41,0
SEM		1,89	2,04	2,10
Statistische Effekte	Irrtumswahrscheinlichkeit p=			
Aufwuchs		0,01	0,01	0,02
Woche		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Aufwuchs x Woche		0,02	0,03	0,02

\* über die Jahre gemittelt

**Tabelle 7.4:** Mittelwerte\* der *in situ* effektiv abgebauten organischen Masse bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (EOM2, EOM5, EOM8)

Aufwuchs	Woche	EOM2 (% OM)	EOM5 (% OM)	EOM8 (% OM)
1	1	77,2	66,1	58,9
1	2	69,8	56,3	48,1
1	3	68,4	55,4	47,5
1	4	60,3	46,6	39,4
1	5	56,7	43,1	35,7
1	6	52,9	38,3	30,7
1	7	57,8	45,9	40,0
2	1	68,8	55,2	46,7
2	2	61,8	47,6	39,7
2	3	67,0	55,2	48,1
2	4	61,1	47,9	42,4
2	5	61,4	47,2	41,8
2	6	56,5	43,6	36,6
2	7	54,9	43,5	37,5
3	1	68,6	58,1	48,9
3	2	73,3	63,3	55,0
3	3	66,2	55,3	46,6
3	4	61,0	49,2	40,3
3	5	61,4	50,1	41,5
3	6	61,3	49,2	40,2
3	7	59,8	49,0	41,0
SEM		2,14	2,34	2,53
Statistische Effekte	Irrtumswahrscheinlichkeit p=			
Aufwuchs		< 0,01	< 0,01	< 0,01
Woche		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Aufwuchs x Woche		< 0,01	< 0,01	< 0,0001

\* über die Jahre gemittelt

**Tabelle 7.5:** Mittelwerte\* des *in situ* effektiv abgebauten Rohprotein bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (ERP2, ERP5, ERP8)

Aufwuchs	Woche	ERP2 (% RP)	ERP5 (% RP)	ERP8 (% RP)
1	1	86,3	72,3	67,0
1	2	81,7	65,2	59,1
1	3	82,4	67,2	61,6
1	4	79,9	65,4	60,1
1	5	77,0	60,9	55,2
1	6	75,3	60,1	54,5
1	7	79,1	66,2	61,7
2	1	83,4	67,0	60,9
2	2	81,1	64,4	58,4
2	3	82,1	66,8	61,2
2	4	79,3	63,3	57,3
2	5	78,7	62,6	57,0
2	6	79,5	63,1	57,2
2	7	76,6	61,4	55,9
3	1	83,0	67,1	61,1
3	2	86,7	73,4	68,4
3	3	80,9	65,0	59,2
3	4	79,8	63,2	57,3
3	5	79,8	64,3	58,7
3	6	79,1	63,3	57,6
3	7	77,8	63,4	58,2
SEM		1,29	1,46	1,67
Statistische Effekte	Irrtumswahrscheinlichkeit p=			
Aufwuchs		0,25	0,18	0,14
Woche		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Aufwuchs x Woche		< 0,01	< 0,01	< 0,01

\* über die Jahre gemittelt

**Tabelle 7.6:** Mittelwerte\* der *in situ* effektiv abgebauten Neutral-Detergenzienfaser bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (ENDF2, ENDF5, ENDF8)

Aufwuchs	Woche	ENDF2 (% NDF)	ENDF5 (% NDF)	ENDF8 (% NDF)
1	1	68,2	51,9	41,4
1	2	64,6	47,7	37,6
1	3	62,5	45,6	35,5
1	4	49,8	35,0	27,4
1	5	52,8	36,7	27,8
1	6	49,9	33,2	24,5
1	7	50,8	36,0	28,6
2	1	64,0	48,3	38,6
2	2	58,2	42,1	33,1
2	3	60,5	45,6	36,8
2	4	56,4	40,8	33,1
2	5	55,6	38,7	30,6
2	6	56,9	41,1	32,2
2	7	49,9	35,2	27,7
3	1	66,7	53,5	43,9
3	2	66,9	52,9	43,4
3	3	61,6	47,0	37,6
3	4	56,5	41,5	32,0
3	5	55,8	40,2	30,3
3	6	55,7	40,0	30,2
3	7	54,5	39,7	30,5
SEM		2,08	2,10	1,98
Statistische Effekte	Irrtumswahrscheinlichkeit p=			
Aufwuchs		0,01	< 0,01	< 0,01
Woche		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Aufwuchs x Woche		0,02	0,03	0,02

\* über die Jahre gemittelt

**Tabelle 7.7:** Mittelwerte\* der *in situ* effektiv abgebauten Säure- Detergenzienfaser bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (EADF2, EADF5, EADF8)

Aufwuchs	Woche	EADF2 (% ADF)	EADF5 (% ADF)	EADF8 (% ADF)
1	1	64,1	46,2	36,7
1	2	61,1	42,1	33,1
1	3	52,9	36,1	28,3
1	4	55,1	37,3	29,9
1	5	50,8	33,5	25,9
1	6	46,5	28,2	20,8
1	7	49,2	33,5	27,5
2	1	59,3	42,6	32,7
2	2	54,7	38,0	28,8
2	3	58,1	42,7	33,9
2	4	51,8	35,9	27,6
2	5	52,5	35,8	27,4
2	6	53,8	38,0	29,2
2	7	49,5	35,3	27,8
3	1	64,0	50,7	40,0
3	2	62,9	48,9	38,4
3	3	58,1	43,7	33,4
3	4	54,6	40,6	30,4
3	5	51,9	36,4	25,8
3	6	55,1	40,5	30,1
3	7	54,5	40,6	30,7
SEM		2,36	2,30	2,20
Statistische Effekte	Irrtumswahrscheinlichkeit p=			
Aufwuchs		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Woche		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Aufwuchs x Woche		0,05	0,03	0,02

\* über die Jahre gemittelt

**Tabelle 7.8:** Mittelwerte\* der *in situ* effektiv abgebauten Hemizellulosen bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (EHEM2, EHEM5, EHEM8)

Aufwuchs	Woche	EHEM2 (% HEM)	EHEM5 (% HEM)	EHEM8 (% HEM)
1	1	71,3	55,8	46,0
1	2	67,6	52,0	42,5
1	3	64,6	48,6	39,1
1	4	56,8	40,3	31,8
1	5	54,8	39,0	30,6
1	6	53,7	37,8	29,5
1	7	42,9	30,4	24,3
2	1	68,2	53,6	44,2
2	2	62,2	47,1	38,4
2	3	62,8	48,3	39,4
2	4	60,6	46,5	37,9
2	5	58,8	42,7	33,7
2	6	57,9	42,3	33,4
2	7	49,8	34,0	26,2
3	1	70,1	57,5	48,6
3	2	69,6	54,7	45,0
3	3	66,2	51,8	42,8
3	4	61,4	46,3	37,5
3	5	59,0	42,6	32,7
3	6	57,6	41,3	32,1
3	7	57,2	42,1	33,4
SEM		2,40	2,25	2,06
Statistische Effekte	Irrtumswahrscheinlichkeit p=			
Aufwuchs		0,01	< 0,01	0,01
Woche		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Aufwuchs x Woche		0,06	0,11	0,16

\* über die Jahre gemittelt

**Tabelle 7.9:** Mittelwerte und Standardabweichung der *in situ*-Abbauparameter der Trockenmasse (TM) und der effektiv abgebauten Trockenmasse bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (ETM2, ETM5, ETM8) der Rationsergänzungskomponenten Heu, Maissilage, Konzentratfutter schnell fermentierbar (KFS) und Konzentratfutter langsam fermentierbar (KFL)

Futtermittel		a	b	c	d	lag	ETM2	ETM5	ETM8								
		%	%	% h <sup>-1</sup>	%	h	%	%	%								
Heu	<i>n</i> = 7	19,4	1,58	59,2	3,91	5,1	0,78	78,6	4,25	1,0	0,41	60,2	2,38	47,0	1,79	40,0	1,66
Maissilage	<i>n</i> = 7	17,0	4,09	55,1	3,26	4,0	0,78	72,2	5,80	0,3	0,38	52,3	4,12	40,0	3,67	34,1	3,67
KFS	<i>n</i> = 3	8,6	1,03	74,1	1,57	27,6	3,89	82,6	0,75	0,0	0,00	77,5	0,11	71,1	0,85	65,7	1,40
KFL	<i>n</i> = 3	10,4	2,07	83,4	2,89	4,3	0,39	93,9	1,59	0,1	0,17	67,3	0,88	48,9	0,63	39,4	0,63

**Tabelle 7.10:** Mittelwerte und Standardabweichungen der *in situ*-Abbauparameter der Neutral-Detergenzienfaser (NDF) und der effektiv abgebauten NDF bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (ENDF2, ENDF5, ENDF8) der Rationsergänzungskomponenten Heu, Maissilage, Konzentratfutter schnell fermentierbar (KFS) und Konzentratfutter langsam fermentierbar (KFL)

Futtermittel		a	b	c	d	lag	ENDF2	ENDF5	ENDF8								
		%	%	% h <sup>-1</sup>	%	h	%	%	%								
Heu	<i>n</i> = 7	2,3	5,09	76,9	4,50	4,4	0,68	79,2	2,14	1,7	0,69	52,8	3,88	34,9	4,51	25,8	4,54
Maissilage	<i>n</i> = 7	2,0	2,74	70,2	3,86	3,2	0,67	72,2	4,36	1,8	1,82	42,9	3,35	26,6	3,42	19,2	3,39
KFS	<i>n</i> = 3	0,0	0,04	60,7	2,83	9,9	2,84	60,8	2,87	0,7	0,51	49,1	0,71	38,0	1,60	30,8	1,88
KFL	<i>n</i> = 3	3,0	0,74	83,8	3,48	4,9	0,33	86,8	2,75	0,0	0,00	62,6	2,56	44,6	2,16	35,0	1,79

**Tabelle 7.11:** Mittelwerte und Standardabweichungen der *in situ*-Abbauparameter der Säure-Detergenzienfaser (ADF) und der effektiv abgebauten ADF bei angenommenen Passageraten von 2, 5 und 8 %/h (EADF2, EADF5, EADF8) der Rationsergänzungskomponenten Heu, Maissilage, Konzentratfutter schnell fermentierbar (KFS) und Konzentratfutter langsam fermentierbar (KFL)

Futtermittel		a	b	c	d	lag	EADF2	EADF5	EADF8								
		%	%	% h <sup>-1</sup>	%	h	%	%	%								
Heu	<i>n</i> = 7	2,8	3,76	74,5	3,43	4,6	1,08	77,2	2,41	3,3	1,64	50,0	2,72	31,9	3,26	22,8	3,38
Maissilage	<i>n</i> = 7	4,5	4,74	67,3	4,61	3,0	0,58	71,8	4,61	2,7	1,65	42,0	2,99	26,1	3,53	19,1	3,93
KFS	<i>n</i> = 3	0,0	0,00	34,6	8,04	2,8	0,42	34,6	8,04	17,4	5,50	14,1	3,07	5,3	1,84	2,4	1,22
KFL	<i>n</i> = 3	1,0	1,09	81,4	8,69	4,3	0,52	82,5	8,34	0,5	0,75	55,5	3,75	37,1	1,19	27,8	0,21

## 8. Literaturverzeichnis

- AKIN DE 1986 Chemical and biological structure in plants as related to microbial degradation of forage cell walls. In: Milligan LP, Grovum WL, Dobson A (Eds.): Control of digestion and metabolism in ruminants. pp 139 - 157. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- AKIN DE, RIGSBY LL, LYON CE, WINDHAM WR 1990 Relationship of tissue digestion to textural strength in Bermudagrass and Alfalfa Stems. *Crop Sci.* 30: 990-993
- ALDRICH JM, HOLDEN LA, MULLER LD, VARGA GA 1996 Rumen availabilities of nonstructural carbohydrate and protein estimated from *in situ* incubation of ingredients versus diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 63: 257-271
- ALERT H-J, ECKARDT T 1996 Nährstoffgehalt und *in situ*-Abbau der organischen Substanz im Pansen von Weißklee und Gräsern in Abhängigkeit vom Nutzungszeitpunkt. *Das Wirtschaftseigene Futter* 42: 179-188
- ALEXANDROV AN, PAVLOV D, ATANASSOVA S, TODOROV N 1997 Estimation of rumen degradability of forage dry matter and crude protein by chemical composition and days of vegetation. *Bulg. J. Agric. Sci.* 3: 451-472
- ANDRIGHETTO I, BAILONI L, COZZI G, TOLOSA HF, HARTMAN B, HINDS M, SAPIENZA D 1993 Observations on *in situ* degradation of forage cell components in Alfalfa and Italian Ryegrass. *J. Dairy Sci.* 76: 2624-2631
- AUERSWALD K, STROTMANN K, SCHWERTL M, REIDY B, RICHNER W, SCHNYDER H 2005 Amoniakverluste tierhaltender Betriebe - Vergleich von Modellierung und isotopischem Fingerabdruck. *Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau* 7: 194-197
- AUFRÈRE J, GRAVIOU D, BAUMONT R, DETOUR A, DEMARQUILLY C 2002 Degradation in the rumen of proteins from fresh lucerne forage in various stages of growth and conserved as silage or hay. *Ann. Zootechn.* 49: 461-474
- BABNIK D 1995 Some environmental effects on relationships between *in-sacco* degradability of protein and dry matter and chemical composition of Italian Ryegrass. *Arch. Anim. Nutr. - Arch. Tierernährg.* 48: 303-317
- BARRELL LG, BURKE JL, WAGHORN GC, ATTWOOD GT, BROOKES IM 2000 Preparation of fresh forages for incubation and prediction of nutritive value. *Proc. New Zealand Soc. Anim. Prod.* 60: 5-8
- BIDLACK J, MALONE M, BENSON R 1992 Molecular structure and component integration of secondary cell walls in plants. *Proc. Okl. Acad. Sci.* 72: 51-53
- BIDLACK JE, BUXTON DR 1992 Content and deposition rates of cellulose, hemicellulose and lignin during regrowth of forage grasses and legumes. *Can. J. Plant Sci.* 72: 809-818

- BLANK R, SÜDEKUM K-H, IMMIG I, KLEINMANS J 1998 Synchroner Abbau von Kohlenhydraten und Rohprotein in den Vormägen - Eine neue Variable für die Rationsgestaltung? Übers. Tierernährg. 26: 157-188
- BODINE TN, PAISLEY S, ACKERMAN CJ, PURVIS II HT 1999 Forage protein fraction values determined by an *in situ* method (NDIN Procedure). Department of Animal Science, Anim. Sci. Res. Rep., 222-228
- BOERJAN W, RALPH J, BAUCHER M 2003 Lignin biosynthesis. Ann. Rev. Plant Biol. 54: 519-546
- BØRSTING CF, KRISTENSEN T, MISCIATTELLI L, HVELPLUND T, WEISBJERG MR 2003 Reducing nitrogen surplus from dairy farms. Effects of feeding and management. Livest. Prod. Sci. 83: 165-178
- BOSCH MW, TAMMINGA S, VAN BRUCHEM J 1991 Dietary and factors affecting rumen capacity in dairy cows. Arch. Tierz. – Arch. Anim. Breed. 34: 469-481
- BOSCH MW, TAMMINGA S, POST G, LEFFERING CP, MUYLAERT JM 1992 Influence of stage of maturity of grass silages on digestion processes in dairy cows. 1. Composition, nylon bag degradation rates, fermentation characteristics, digestibility and intake. Livest. Prod. Sci. 32: 245-264
- BOUDON A, PEYRAUD J-L, FAVERDIN P 2002 The release of cell contents of fresh rye-grass (*Lolium perenne* L.) during digestion in dairy cows: effect of the intracellular constituents, season and stage of maturity. Anim. Feed Sci. Technol. 97: 83-102
- BOURQUIN LD, FAHEY GC 1994 Ruminal digestion and glycosyl linkage patterns of cell wall components from leaf and stem fractions of Alfalfa Orchardgrass and wheat straw. J. Anim. Sci. 72: 1362-1374
- BRUINENBERG MH 2003 Forages from intensive and semi-natural grasslands in the diet of dairy cows. Dissertation. Universität Wageningen, Niederlande
- BUCHGRABER K, RESCH R, GRUBER L, WIEDNER G 1998 Futterwerttabellen für das Grundfutter im Alpenraum. Der Fortschrittliche Landwirt (Sonderbeilage) 76: 1-11
- BUXTON DR 1990 Cell wall components in divergent germplasms of 4 perennial forage grass species. Crop Sci. 30: 402-408
- BUXTON DR 1991 Digestibility by rumen microorganisms of neutral sugars in perennial forage stems and leaves. Anim. Feed. Sci. Technol. 32: 119-122
- BUXTON DR, BRASCHE MR 1991 Digestibility of structural carbohydrates in cool season grass and legume forages. Crop Sci. 31: 1338-1345
- BUXTON DR, REDFEARN DD 1997 Plant limitations to fiber digestion and utilization. J. Nutr. 127: 814-818
- CABRITA ARJ, DEWHURST RJ, ABREU JMF, FONSECA AJM 2006 Evaluation of the effects of synchronising the availability of N and energy on rumen function and production response of dairy cows - a review. Anim. Res. 55: 1-24

- CASLER MD, JUNG HJG 2006 Relationships of fibre, lignin, and phenolics to in vitro fibre digestibility in three perennial grasses. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 125: 151-161
- CASPER DP, HAROUNA MA, BROUK MJ, SCHINGOETHE DJ 1999 Synchronization of carbohydrate and protein sources on fermentation and passage rate in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82: 1779-1790
- CASSIDA KA, GRIFFIN TS, RODRIGUEZ J, PATCHING SC, HESTERMAN OB, RUST SR 2000 Protein degradability and forage quality in maturing alfalfa, red clover, and birdsfoot trefoil. *Crop Sci.* 40: 209-215
- CASTILLO AR, KEBREAB E, BEEVER DE, BARBI JH, SUTTON JD, KIRBY HC, FRANCE J 2001 The effect of protein supplementation on nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diets. *J. Anim. Sci.* 79: 247-253
- CHAVES AV, WAGHORN GC, BROOKES IM, WOODFIELD DR 2006 Effect of maturation and initial harvest dates on the nutritive characteristics of ryegrass. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 127: 293-318
- CHAVES AV, BURKE JL, WAGHORN GC, BROOKES IM 2006 Digestion kinetics of leaf, stem and inflorescence from five species of mature grasses. *J. Sci. Food Agric.* 86: 816-825
- CHEN L, AUH C, CHEN, F, CHENG, X, ALJOE, H, DIXON RA, WANG Z 2002 Lignin deposit and associated changes in anatomy, enzyme activity, gene expression and ruminal degradability in stems of tall fescue at different developmental stages. *J. Agric. Food Chem.* 50: 5558-5565
- CHESSON A, FORSBERG CW 1988 Polysaccharide degradation by rumen microorganisms. In: Hobson PN: *The Rumen Microbial Ecosystem*. Elsevier Applied Science, London & New York, 251-285
- CHUMPAWADEE S, SOMMART K, VONGPRALUB T, PATTARAJINDA V 2006 Effect of synchronizing the rate of degradation of dietary energy and nitrogen release on growth performance in Brahman cattle. *J. Sci. Technol.* 28: 59-70
- CLAESSENS A, MICHAUD R, BELANGER G, MATHER DE 2005 Leaf and stem characteristics of timothy plants divergently selected for the ratio of lignin to cellulose. *Crop Sci.* 45: 2425-2429
- CLARK JH, KLUSMEYER TH, CAMERON MR 1992 Symposium: Nitrogen Metabolism and Amino Acid Nutrition in Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 75: 2304-2323
- COBLENTZ WK, FRITZ JO, FICK WH, COCHRAN RC, SHIRLEY JE, TURNER JE 1999 In situ disappearance of neutral detergent insoluble nitrogen from Alfalfa and Eastern Gamagrass at three maturities. *J. Anim. Sci.* 77: 2803-2809
- COHEN DC 2001 Degradability of crude protein from clover herbage used in irrigated dairy production systems in northern Victoria. *Austr. J. Agric. Res.* 52: 415-425
- CZERKAWSKI JW 1976 Chemical composition of microbial matter in the rumen. *J. Sci. Food Agric.* 27: 621-632
- CZERKAWSKI JW 1986 *An introduction to rumen studies*. Pergamon Press, Oxford. 236 pp.

- DANFAER A, HUHTANEN P, UDEN P, SVEINBJÖRNSSON J, VOLDEN H 2006 The Nordic Dairy Cow Model, Karoline - Description. In: Kebreab E, Dijkstra J, Bannink A, Gerrits WJJ, France J (Eds.): Nutrient Digestion and Utilization in Farm Animals Modelling Approaches. CABI Publishing, 383-406
- DANFAER A, HUHTANEN P, UDEN P, SVEINBJÖRNSSON J, VOLDEN H 2006 The Nordic Dairy Cow Model, Karoline - Evaluation. In: Kebreab E, Dijkstra J, Bannink A, Gerrits WJJ, France J (Eds.): Nutrient Digestion and Utilization In Farm Animals Modelling Approaches. CABI Publishing, 407-415
- DEWHURST RJ, HEPPER D, WEBSTER AJF 1995 Comparison of in-sacco and in-vitro techniques for estimating the rate and extent of rumen fermentation of a range of dietary ingredients. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 51: 211-229
- DIERCHEN E, HOFFMANN M, BOLDT E, ULBRICH M 1982 Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Faktoren auf Kennzahlen der Pansenprotozoen bei Mastbullen. *Arch. Tierernährg.* 32: 209-220
- EISNER I 2004 Charakterisierung des Proteinwertes von Grünfütter: Ein Beitrag zur Verbesserung der Proteinversorgung von Milchkühen im Ökologischen Landbau. Master Thesis. Institut für Tierernährung und Stoffwechselphysiologie, Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät der CAU, Kiel.
- ELIZALDE JC, MERCHEN NR, FAULKNER D 1999 Fractionation of fiber and crude protein in fresh forages during the spring growth. *J. Anim. Sci.* 77: 476-484
- FLACHOWSKY G, LEBZIEN P, MEYER U 2000 Zur Fütterung von Hochleistungskühen. *Züchtungskunde* 72: 471-485
- FORD CW, MORRISON IM, WILSON JR 1979 Temperature effects on lignin, hemicellulose and cellulose in tropical and temperate grasses. *Austr. J. Agric. Res.* 30: 621-633
- FRANZ G 1991 Lehrbuch: Polysaccharide. Springer Verlag, Heidelberg Berlin, 1-15
- GASA J, HOLTENIUS K, SUTTON JD, DHANOA MS, NAPPER DJ 1991 Rumen fill and digesta kinetics in lactating Friesian cows given two levels of concentrates with two types of grass silage ad lib. *Br. J. Nutr.* 66: 381-398
- GfE (GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE) 1997 Empfehlungen zur Energie und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. Frankfurt/Main
- GIERUS M., KLEEN J, TAUBE F 2005 Protein quality of grass/legume swards at different growth stages. Proceedings of the 2nd COST 852 workshop held in Grado, Italy 10-12 November 2005
- GOERING HK, VAN SOEST PJ 1970 Forage fiber analysis. *Agric. handbook NO 379*. ARS, USDA, Washington, DC, 20
- GRABBER JH 2005 How do lignin composition, structure, and cross-linking affect degradability? A review of cell wall model studies. *Crop Sci.* 45: 820-831

- GROOT JCJ, NEUTEBOOM JH, DEINUM B 1999 Composition and digestibility during ageing of consecutive leaves on the main stem of Italian ryegrass plants, growing undisturbed or regrowing after cutting. *J. Sci. Food Agric.* 79: 1691-1697
- GRUBER L, STEINWIDDER A, GUGGENBERGER T, SCHAUER A, HÄUSLER J, STEINWENDER R, STEINER B 2000 Einfluss der Grünlandbewirtschaftung auf Ertrag, Futterwert, Milcherzeugung und Nährstoffausscheidung. 27. Viehwirtschaftliche Fachtagung Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein. Tagungsband: 41-88
- HARTLEY RD, FORD CW 1989 Phenolic constituents of plant cell walls and wall biodegradability. In: Lewis NG, Paice MG (Eds.): *Plant Cell Wall Polymers, Biogenesis and Biodegradation*. Washington, 135-145
- HENNING PH, STEYN DG, MEISSNER HH 1993 Effect of synchronization of energy and nitrogen supply on ruminal characteristics and microbial growth. *J. Anim. Sci.* 71: 2516-2528
- HERRERA-SALDANA R, HUBER JT 1989 Influence of varying protein and starch degradabilities on performance of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 72: 1477-1483
- HIRST EL, MACKENZIE DJ, WYLAM CB 1959 Analytical studies on the carbohydrates of grasses and clovers. IX. - changes in carbohydrate composition during the growth of lucerne. *J. Sci. Food Agric.* 10: 19-26
- HOFFMAN PC, SIEVERT SJ, SHAVER RD, WELCH DA, COMBS DK 1993 In-situ dry-matter, protein, and fiber degradation of perennial forages. *J. Dairy Sci.* 76: 2632-2643
- HUHTANEN P, JAAKKOLA S 1994 Influence of grass maturity and diet on ruminal dry matter and neutral detergent fiber digestion kinetics. *Arch. Anim. Nutr.* 47: 153-167
- HUHTANEN P, AHVENJÄRVI S, WEISBJERG MR, NORGAARD P 2006 Digestion and passage of fibre in ruminants. In: Sejrsen K, Hvelplund T, Nielson MO (Eds.): *Ruminant physiology*. Wageningen Academic Publishers, Niederlande, 87-133
- JULIER B, HUYGHE C, EMILE JC, MORRIS P, ALLISON G, ROBBINS M 2001 Variation for protein degradation in three legume species. In: Lloveras J, Celgado I (Eds.): *Quality in lucerne and medics for animal production = Qualité de la luzerne et des medics pour la production animale*. CIHEAM-IAMZ, Zaragoza, Spain, 265-269
- JUNG H-JG 1989 Forage lignins and their effects on fiber digestibility. *Agron. J.* 81: 33-38
- JUNG H-JG 2003 Designing forages with improved cell wall digestibility and greater intake potential. *Phytochemistry* 63: 543-549
- JUNG HG, VOGEL KP 1986 Influence of lignin on digestibility of forage cell wall material. *J. Anim. Sci.* 62: 1703-1712
- JUNG HG, CASLER MD 1991 Relationship of lignin and esterified phenolics to fermentation of Smooth Bromegrass fiber. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 32: 63-68
- JUNG HG, ALLEN MS 1995 Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *J. Anim. Sci.* 73: 2774-2790

- KASWARI T 2004 Synchronization of energy and protein supply in the rumen of dairy cows. Dissertation. Universität Göttingen, Bundesforschungsanstalt (FAL) Braunschweig
- KELLER S, STEINGASS H, DROCHNER W 2002 Einfluss der Synchronisierung von Kohlenhydrat- und Proteinabbau auf Parameter der Verdauungsphysiologie und Leistung bei Milchkühen. 114. VDLUFA-Kongress, Leipzig, Kurzfassungen der Referate, 118-119
- KIM KH, OH Y-G, CHOUNG JJ, CHAMBERLAIN DG 1999 Effects of varying degrees of synchrony of energy and nitrogen release in the rumen on the synthesis of microbial protein in cattle consuming grass silage. *J. Sci. Food Agric.* 79: 833-838
- KIRCHHOF S, SÜDEKUM K-H, GRUBER L 2006 Schätzung des ruminalen Rohproteinabbaus von Grünlandaufwüchsen aus dem *in situ*-Abbau und der chemischen Rohproteinfraktionierung. 118. VDLUFA Kongress, Freiburg, Kurzfassungen der Referate, 46
- KLEEN J 2004 Qualitätsdynamik von Futterleguminosen. Master Thesis. Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau, CAU Kiel.
- KLOPFENSTEIN TJ, MASS RA, CREIGHTON KW, PATTERSON HH 2001 Estimating forage protein degradation in the rumen. *J. Anim. Sci.* 79: 208-217
- KLUTH H, GABEL M, VOIGT J, SCHÖNHUSEN U 2000 The use of endogenous nitrogen for microbial crude protein synthesis in the rumen of growing bulls. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 84: 136
- KLUTH H, ENGELHARD T, RODEHUTSCORD M 2003 Zur Notwendigkeit eines Überschusses in der Stickstoffbilanz im Pansen von Kühen mit hoher Milchleistung. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 87: 280
- KÖNIG A, GRIESE J, PFEFFER E 2005 Einfluss einer negativen RNB auf die Milchleistung. Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich-Willhelms-Universität Bonn. Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL 122, 1-21
- KOLVER ES, MULLER LD, BARRY MC, PENNO JW 1998 Evaluation and application of the Cornell Net Carbohydrate and Protein System for dairy cows fed diets based on pasture. *J. Dairy Sci.* 81: 2029-2039
- KRAWIELITZKI K, SCHMIDT TH, VOIGT J, KOWALCZYK J, GABEL M 2006 Dynamics of microbial contamination of protein during ruminal *in situ* incubation of feedstuffs. *J. Anim. Feed Sci.* 15: 313-328
- KÜHBAUCH W 1987 Veränderung der Qualität von Grünlandfutter unter dem Einfluss von Standort und Bewirtschaftung. *Kali-Briefe (Büntehof)* 18: 485-510
- KUIPERS A, MANDERSLOOT F 1999 Reducing nutrient losses on dairy farms in the Netherlands. *Livest. Prod. Sci.* 61: 139-144
- LAMPE C, DITTERT K, SATTELMACHER B, WACHENDORF M, LOGES R, TAUBE F 2006 Sources and rates of nitrous oxide application of <sup>15</sup>N-labelled emissions from grazed grassland after mineral fertilizer and slurry. *Soil Biol. Biochem.* 38: 2602-2613

- LEICK BCE 2003 Emission von Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) von landwirtschaftlich genutzten Böden in Abhängigkeit von produktionstechnischen Maßnahmen. Dissertation. Universität Hohenheim
- LICITRA G, HERNANDEZ TM, VAN SOEST PJ 1996 Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 57: 347-358
- MAEK, P 2002 Biochemische Charakterisierung von Pflanzen unterschiedlicher Nutzungsintensität zur Ableitung von Parametern für die Ermittlung des energetischen Futterwertes. Dissertation. Universität Berlin
- MASS RA, LARDY GP, GRANT RJ, KLOPFENSTEIN TJ 1999 *In situ* neutral detergent insoluble nitrogen as a method for measuring forage protein degradability. *J. Anim. Sci.* 77: 1565-1571
- MCCARTHY RD, KLUSMEYER TH, VICINI JL, CLARK JH, NELSON DR 1989 Effects of source of protein and carbohydrate on ruminal fermentation and passage of nutrients to the small intestine of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 72: 2002-2010
- MCDONALD I 1981 A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *J. Agric. Sci., Camb.* 96: 251-252
- MERRY RJ, MCALLAN AB 1983 A comparison of the chemical composition of mixed bacteria harvested from the liquid and solid fractions of rumen digesta. *Br. J. Nutr.* 50: 701-709
- MICHALET-DOREAU B, OULD-BAH MY 1989 Estimation of the extent of bacterial contamination in bag residues and its influence on *in sacco* measurements of forage nitrogen degradation in rumen. XVI Int. Grassland Congress, Nice, France, 909-910
- MICHAUD R, TREMBLAY GF, BELANGER G, MICHAUD J 2001 Crude protein degradation in leaves and stems of alfalfa (*medicago sativa*). In: Delgado I, Lloveras J (Eds.): Quality in lucerne and medics for animal production = Qualité de la luzerne et des medics pour la production animale. CIHEAM-IAMZ, Zaragoza, Spain, 211-214
- MOULD FL, ORSKOV ER 1983 Manipulation of rumen fluid pH and its influence on cellulolysis in sacco dry matter degradation and the rumen microflora of sheep offered either hay or concentrate. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 10: 1-14
- NOCEK JE, GRANT RJ 1987 Characterization of *in situ* nitrogen and fiber digestion and bacterial nitrogen contamination of hay crop forages preserved at different dry matter percentages. *J. Anim. Sci.* 64: 552-564
- NOCEK JE 1988 *In Situ* and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. *J. Dairy Sci.* 71: 2051-2069
- OESTMANN A, SÜDEKUM K-H, VOIGT K, STANGASSINGER M 1995 Zur Rolle von Lignin und phenolischen Monomeren in Futtermitteln für Wiederkäuer I. Vorkommen und Nachweisverfahren. *Übers. Tierernährg.* 23: 105-131
- OKAIJIMA T, KAMIJOH T, YOKOTA H, OHSHIMA M 1996 Relationships between daily herbage intake of grazing cattle with daily herbage allowance and leafiness. *Asian J. Anim. Sci.* 9: 577-582

- O'MARA FP, FITZGERALD JJ, MURPHY JJ, RATH M 1998 The effect on milk production of replacing grass silage with maize silage in the diet of dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 55: 79-87
- OMBABI A, SÜDEKUM K.-H., TAUBE F 2001 Untersuchungen am Primäraufwuchs zweier Weidelgräser zur Dynamik der Veränderung in der Verdaulichkeit und der Futteraufnahme durch Schafe. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 85: 385-405
- ØRSKOV ER 2000 The *in situ* technique for the estimation of forage degradability in ruminants. In: D.I.Givens / E.Owen / R.F.E.Axford / H.M.Omed (Eds.): *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*. CAB International, Wallingford, 175-188
- PFEFFER E 1987 Protein- und Energiestoffwechsel. In: Scheunert A, Trautmann A (Eds.): *Lehrbuch der Veterinärphysiologie*. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, 19 pp
- POSCH B 1998 Overwintering and spring growth of white clover (*Trifolium repens* L.): Development and importance of leaves. Dissertation. Agrar. Univ. Zürich
- PUZIO S 1998 Untersuchungen zur Überwinterung und zum jahreszeitlichen Verlauf der Ertragsbildung von Weißklee in Abhängigkeit von der Witterung und der Sorteneigenschaft. Dissertation. Universität Kiel.
- ROTZ CA, SATTER LD, MERTENS DR, MUCK RE 1999 Feeding strategy, nitrogen cycling and profitability of dairy farms. *J. Dairy Sci.* 82: 2841-2855
- RUSSELL JB, OCONNOR JD, FOX DG, VAN SOEST PJ, SNIFFEN CJ 1992 A Net Carbohydrate and Protein System for evaluating cattle diets .1. Ruminal fermentation. *J. Anim. Sci.* 70: 3551-3561
- SAIRANEN A, KHALILI H, NOUSIAINEN JI, AHVENJARVI S, HUHTANEN P 2005 The effect of concentrate supplementation on nutrient flow to the omasum in dairy cows receiving freshly cut grass. *J. Dairy Sci.* 88: 1443-1453
- SAS INSTITUTE INC. SAS/STAT™ 1988 User's guide, Release 6.03 Edition. Cary, NC: 551 – 640 / 774 - 875
- SCHÄFER K 1996 Nährstoffabbau und Mengenelementfreisetzung frischer und siliertes Gräser im Pansen von Rindern. Dissertation. Universität Kiel.
- SCHMIDT T, KRAWIELITZKI K, VOIGT J, GABEL M 2005 Methodische Aspekte der *in situ*-Technik zur Schätzung des Nährstoffabbaus im Pansen - mikrobielle Kontamination und Verzögerung des messbaren mikrobiellen Abbaus. *Übers. Tierernährg.* 33: 87-100
- SCHUBINGER FX, LEHMANN J 2001 Die Bestimmung der Verdaulichkeit von Futterpflanzen. *Agrar Forschung* 8: 360-363
- SCHWARZ FJ 2000 Fütterung hochleistender Milchkühe (Energie- und Proteinversorgung, Wiederkäuergerechtigkeit). 27. Viehwirtschaftliche Fachtagung der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 6. - 8. 06. 2000, Tagungsband, 19-25
- SHANNAK S, SÜDEKUM KH, SUSENBETH A 2000 Estimating ruminal crude protein degradation with *in situ* and chemical fractionation procedures. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 85: 195-214

- SHANNAK S 2000 Organic matter and crude protein characteristics of feedstuffs during *in situ* ruminal fermentation. Dissertation. Universität Kiel
- SINCLAIR LA, GARNSWORTHY PC, NEWBOLD CJ, BUTTERY PJ 1995 Effects of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release in diets with a similar carbohydrate composition on rumen fermentation and microbial protein synthesis in sheep. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 124: 463-472
- SINCLAIR LA, GARNSWORTHY PC, NEWBOLD JR, BUTTERY PJ 1993 Effect of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release on rumen fermentation and microbial protein synthesis in Sheep. *J. Agric. Sci.* 120: 251-263
- SPIEKERS H, RODEHUTSCORD M 1999 Knackpunkte der Proteinversorgung. In: *Fütterung der 10.000-Liter-Kuh*. Band 196 DLG-Verlag Frankfurt/Main, 65-84
- STEINGASS H, KELLER S, DROCHNER W 2003. Das Konzept einer synchronen Rationsgestaltung für Milchkühe - Umsetzungsmöglichkeiten in Beratung und Praxis. 30. Viehwirtschaftliche Fachtagung Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Tagungsband, 17-27
- STEG A, VAN STRAALLEN WM, HINDLE VA, WENSINK WA, DOOPER FMH, SCHILS RLM 1994 Rumen degradation and intestinal digestion of grass and clover at 2 maturity levels during the season in dairy cows. *Grass Forage Sci.* 49: 378-390
- STOKES S 1997 Balancing carbohydrates for optimal rumen function and animal health. In: Kennelly J: *Proceedings of the Western Canadian Dairy Seminar*. 73-86
- SÜDEKUM K-H 1999 Wiederkäuergerechte Ernährung der Hochleistungskuh. 25. Viehwirtschaftliche Fachtagung. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein. Tagungsband, 1-8
- SÜDEKUM K-H 2002 Grundlagen internationaler Futter-Bewertungssysteme für Milchkühe und Perspektiven für die deutschen Empfehlungen (Energie, Protein und Aminosäuren). *Übers. Tierernährg.* 30: 135-162
- SÜDEKUM K-H 2006 Probleme der Energie- und Proteinversorgung bei Hochleistungskühen, Lösung durch pansenstabiles Fett und Protein? - Umsetzung in der Fütterungspraxis. 33. Viehwirtschaftliche Fachtagung, HBLFA Raumberg-Gumpenstein. Tagungsband, 19-26
- SÜDEKUM K-H, OESTMANN A, STANGASSINGER M 1995 Zur Rolle von Lignin und Phenolischen Monomeren in Futtermitteln für Wiederkäuer II. Einfluss auf die Verdauung pflanzlicher Gerüstsubstanzen. *Übers. Tierernährg.* 23: 229-260
- SÜDEKUM K-H, THORSEN JP, STANGASSINGER M 1996 Effect of wheat silage maturity on *in situ* degradation of organic matter, crude protein, starch and fibre. *J. Appl. Anim. Res.* 10: 1-14
- TAMMINGA S 1996 A review on environmental impacts of nutritional strategies in ruminants. *J. Anim. Sci.* 74: 3112-3124

- TAMMINGA S, SÜDEKUM K-H 2000 Optimize feeding value of forage protein. In: K. Søgard, C. Ohlsen, J. Sehestedt, N.J. Hutchings, and T. Kristensen (Eds.): Grassland Farming - Balancing environmental and economic demands 5. EGF. 143-156
- TAWHEEL HZ, TAS BM, SMIT HJ, ELGERSMA A, DIJKSTRA J, TAMMINGA S 2005 Improving the quality of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) for dairy cows by selecting for fast clearing and/or degradable neutral detergent fiber. *Livest. Prod. Sci.* 96: 239-248
- TERRY RA, TILLEY JMA 1964 The digestibility of the leaves and stems of Perennial Ryegrass, Cocksfoot, Timothy, Tall Fescue, Lucerne and Sainfoin as measured by an *in vitro* procedure. *Grass and Forage Sci.* 19: 363 - 372
- TILLEY JMA, TERRY RA 1963 A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *J Brit. Grassl. Soc.* 18: 104-111
- TITGEMEYER EC, COCHRAN RC, TOWNE EG, ARMENDARIZ CK, OLSON KC 1996 Elucidation of factors associated with the maturity-related decline in degradability of big bluestem cell wall. *J. Anim. Sci.* 74: 648-657
- UGHERUGHE PO 1986 Relationship between digestibility of *Bromus inermis* plant parts. *J. Agron. Crop Sci.* 157: 136-143
- UNIVERSITÄT HOHENHEIM – DOKUMENTATIONSSTELLE 1997 DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer. 7. Auflage. Frankfurt/Main, DLG-Verlag
- VALK H, KAPPERS IE, TAMMINGA S 1996 In sacco degradation characteristics of organic matter, neutral detergent fibre and crude protein of fresh grass fertilized with different amounts of nitrogen. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 63: 63-87
- VAN SOEST PJ 1973 The uniformity and nutritive availability of cellulose. *Feed Proc.* 32: 1804-1808
- VAN SOEST PJ 1994 Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press, Ithaka, NY
- VAN STRAALLEN WM, DOOPER FMH, ANTONIEWICZ AM, KOSMALA I, VAN VUUREN AM 1993 Intestinal digestibility of protein from grass and clover in dairy cows measured with mobile nylon bag and other methods. *J. Dairy Sci.* 76: 2970-2981
- VANZANT ES, COCHRAN RC, TITGEMEYER EC 1998 Standardization of *in situ* techniques for ruminant feedstuff evaluation. *J. Anim. Sci.* 76: 2717-2729
- VAREL VH, JUNG HG, KRUMHOLZ LR 1991 Degradation of cellulose and forage fiber fractions by ruminal cellulolytic bacteria alone and in coculture with phenolic monomer-degrading bacteria. *J. Anim. Sci.* 69: 4993-5000
- VDLUFA 2001 Methodenbuch, Band III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. 3. Aufl., Meth. Nr. 4.1.2 VDLUFA-Verlag, Darmstadt
- VERBIC J 2002 Factors affecting microbial protein synthesis in the rumen with emphasis on diets containing forages. 29. Viehwirtschaftliche Fachtagung, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein. Tagungsband, 13-18

- VOLDEN H, MYDLAND LT, OLAISEN V 2002 Apparent ruminal degradation and rumen escape of soluble nitrogen fractions in grass and grass silage administered intraruminally to lactating dairy cows. *J. Anim. Sci.* 80: 2704-2716
- WANDERLEY RC, HUBER JT, WU Z, PESSARAKLI M, FONTES C 1993 Influence of microbial colonization of feed particles on determination of nitrogen degradability by in situ incubation. *J. Anim. Sci.* 71: 3073-3077
- WATERS CJ, GIVENS DI 1992 Nitrogen degradability of fresh herbage - effect of maturity and growth type, and prediction from chemical composition and by Near-Infrared Reflectance Spectroscopy. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 38: 335-349
- WEIMER PJ 1996 Why don't ruminal bacteria digest cellulose faster? *J. Dairy. Sci.* 79: 1496-1502
- WEISBJERG MR, HVELPLUND T, KRISTENSEN T, STENSIG T 1998 The requirement for rumen degradable protein and the potential for nitrogen recycling to the rumen in dairy cows. Proceedings of the 25th Scientific Conference AICC - Arusha, 5. - 7. August 1998. 110-118
- WEISBJERG MR, HVELPLUND T 2005 Current status of use in situ estimates in feedstuff evaluation for dairy cows in the nordic countries. *Übers. Tierernährg.* 33: 157-167
- WILSON JR, DEINUM B, ENGELS FM 1991 Temperature effects on anatomy and digestibility of leaf and stem of tropical and temperate forage species. *Neth. J. Agric. Sci.* 39: 31-48
- WILSON JR, MERTENS DR, HATFIELD RD 1993 Isolates of cell types from Sorghum stems digestion, cell wall and anatomical characteristics. *J. Sci. Food Agric.* 63: 407-417
- WILSON JR, HATFIELD RD 1997 Structural and chemical changes of cell wall types during stem development: Consequences for fibre degradation by rumen microflora. *Austr. J. Agric. Res.* 48: 165-180
- YAN T, AGNEW RE 2004 Prediction of nutritive values in grass silages: II. Degradability of nitrogen and dry matter using digestibility, chemical composition, and fermentation data. *J. Anim. Sci.* 82: 1380-1391
- YU P 2004 In situ rumen degradation kinetics of timothy and alfalfa as affected by cultivar and stage of maturity. *Can. J. Anim. Sci.* 84: 255-263

## **Danksagung**

Nach Abschluss meiner Promotion möchte ich allen von ganzem Herzen danken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Ich danke Herrn Prof. Dr. Südekum für die Überlassung des Themas und für seine ständige Gesprächs- und Hilfsbereitschaft sowie die Geduld bei unseren zahlreichen Diskussionen.

Ebenso danke ich Herrn Dr. Gruber von der HBLFA, der mir die Futtermittelproben zur Verfügung gestellt hat und mir bei vielen fachlichen Fragen hilfreich zur Seite stand.

Ich danke Herrn Prof. Dr. Susenbeth und Herrn Prof. Dr. Wolffram für die Aufnahme am Institut und die Einbindung ins Institutsleben.

Ich danke Ralf Blank und Bart Tas für ihre Hilfe bei allen fachlichen Fragen vor Ort und die Unterstützung bei der statistischen Verrechnung meiner Daten.

Rita Kopp, Wiebke Kühl, Monika Paschke-Beese, Anne Westphal, Uschi Lies und Maike Jürgensen danke ich für ihre Hilfe bei allen im Labor anfallenden Arbeiten.

Ich danke Maike Wulf für die bereits im Vorwege durchgeführten Inkubationen.

Clemens Benthin und den fleißigen Hiwis danke ich für die gute Versorgung von Berti, Brutus, Roberto, Goliath, Granat und Sokrates während der Versuche, ebenso danke ich Birga Müller-Siegwardt und Michael Dahl für ihre Hilfe beim Beutelauspinseln und Mahlen.

Saskia Plos und ihren Mitarbeiterinnen im Labor in Bonn danke ich für die Organisation und Durchführung von noch mehr Analysen.

Meinen Kolleginnen und Kollegen aus 007 und 409 möchte ich an dieser Stelle für die schöne und produktive gemeinsame Zeit am Institut danken. Vielen Dank, dass Ihr immer Anteil genommen und geholfen habt, wenn Not am Mann war!

Ich danke meiner Familie, die mir durch ihre fortwährende Unterstützung die Fertigstellung der Arbeit ermöglicht hat, sei es durch Hilfe im Stall, durch Betreuung meiner Kinder oder moralische Unterstützung in harten Zeiten.

## *Lebenslauf*

### **Persönliche Angaben**

Susanne Kirchhof, geb. Dahl  
 geb. am 13. August 1973 in Flensburg  
 Familienstand: verheiratet, 2 Kinder (geb. 1997 und 1999)  
 Staatsangehörigkeit: deutsch

### **Schulausbildung**

1979 - 1983 Grundschule Altenholz-Stift / Kiel  
 1983 - 1992 Kieler Gelehrtenschule  
 1992           Abitur

### **Studium**

1992 - 2001 Studium der Agrarwissenschaften an der Christian-  
 Albrechts-Universität, Kiel

Juli 2001   **Diplom - Agraringenieurin**  
 Fachrichtung: Pflanzenproduktion

### **Praktika**

06/1992	landwirtschaftliches Praktikum	Joroinen/Finnland
07/92 – 08/92	landwirtschaftliches Praktikum	Altwittenbek bei Kiel
07/93 – 09/93	Praktikum Umweltbildungsstätte	„Umwelthaus Neustädter Bucht“
01/95 – 06/95	landwirtschaftliches Praktikum	Tüttendorf bei Kiel
01/94 – 12/94	Wissenschaftliche Hilfskraft	Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, CAU
10/95 - 08/96	Wissenschaftliche Hilfskraft	Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, CAU
10/06 - 02/07	Praktikum	HanseAgro, Beratung und Entwicklung, GmbH

### **Promotion**

12/02 - 02/07 Institut für Tierernährung und Stoffwechselphysiologie der Christian-  
 Albrechts-Universität zu Kiel