

RUMINALER *IN SITU*-ABBAU SOWIE ROHPROTEIN- UND KOHLENHYDRAT-FRAKTIONEN DES CNCPS VON SILOMAIS IN ABHÄNGIGKEIT VON VEGETATIONSSTADIUM, SORTE, KONSERVIERUNG UND STANDORT

Leonhard GRUBER¹, Karin TAFERNER¹, Lucia HABERL², Günter MAIERHOFER¹, Johann GASTEINER³, Marcus URDL¹

AUSZUG

Material und Methoden: 54 Silomaisproben, Erntejahr 2003: 3 Vegetationsstadien (Ende Milchreife, Mitte und Ende Teigreife), 3 Sorten (Fuxxol RZ 240, Romario RZ 270, Atalante RZ 290), 3 Standorte (Lambach, OÖ; Kobenz, Stmk; Gumpenstein, Stmk), 2 Konservierungsformen (Grünmais, Maissilage). Untersuchungsmethoden: Weender Analyse (VDLUFA 1976), Detergenzienanalyse (Van Soest 1994), Protein- und Kohlenhydratfraktionen des Cornell Net Carbohydrate and Protein Systems (Krishnamoorthy et al. 1982, Van Soest et al. 1991, Fox et al. 1992, Russell et al. 1992, Sniffen et al. 1992, Licitra et al. 1996) sowie *in situ*-Methode (Ørskov & McDonald 1979, Huntington & Givens 1995, Mertens 1993). *In situ*-Versuche mit vier pansenfistulierten Ochsen, Inkubation mit 9 Zeitstufen in 7 Tagen (0, 3, 6, 10, 14, 24, 34, 72, 168 h).

Ergebnisse: Von den 4 Versuchsfaktoren übten vor allem Konservierung und Standort signifikante Einflüsse auf den Nährstoffgehalt aus, weniger dagegen Erntezeitpunkt und Sorte. Die Silierung erhöhte den Gehalt an Rohfaser bzw. Gerüstsubstanzen und verminderte dementsprechend den Gehalt an NfE bzw. Nichtfaser-Kohlenhydraten. Diese Entwicklung zeigte sich auch in den Kohlenhydrat- und Proteinfractionen des Cornell-Systems. Mit Ausnahme des Rohfettgehaltes übte der Faktor Erntezeitpunkt nur auf die Proteinfractionen signifikante Einflüsse aus (Verringerung der Fraktion A und Erhöhung der Fraktion B₂ mit fortschreitender Reife). Erwartungsgemäß wirkte sich der Faktor Standort – durch seinen Einfluss auf die Vegetationsdauer – signifikant auf die meisten Nährstoffparameter aus. Besonders die Gerüstsubstanzen sowie die Anteile an Faser- und Nichtfaser-Kohlenhydraten zeigten sich stark abhängig von diesen klimatischen Voraussetzungen, die sowohl die Kolbenbildung als auch den Alterungsprozess der Restpflanze entscheidend beeinflussen.

Während der Einfluss der Sorte auf den Nährstoffgehalt sehr gering war, zeigten sich hochsignifikante Unterschiede zwischen den Sorten bei den *in situ*-Abbauparametern der TM. Spätreife Sorten weisen eine höhere lösliche Fraktion (a) und eine niedrigere potentiell fermentierbare Fraktion (b) auf, ihre potentielle Abbaubarkeit [a + b] ist somit gleich. Einen signifikanten Einfluss auf die Abbauparameter a und b übten auch Vegetationsstadium und Standort aus. Die Fraktion a war höher bei frühem Erntezeitpunkt und Standorten mit kürzerer Vegetationsdauer. Diese Bedingungen führen zu niedrigen Kolben- jedoch höheren Restpflanzenanteilen und folglich zu höherem Gehalt rasch

¹ Univ.-Doz. Dr. Leonhard Gruber, DI Karin Taferner, Ing. Günter MAIERHOFER, DI Marcus Urdl, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Nutztierforschung, A-8952 Irdning, leonhard.gruber@raumberg-gumpenstein.at, 0043 (0)3682 22451 260

² Lucia HABERL, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Abteilung für Analytik, A-8952 Irdning

³ Dr. Johann Gasteiner, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Artgerechte Tierhaltung und Tiergesundheit, A-8952 Irdning

verfügbarer Kohlenhydrate. Diese morphologische Zusammensetzung bedingt niedrigere Abbauraten (c) jüngerer Maispflanzen (Zellulose wird wesentlich langsamer abgebaut als Stärke). Die in der Untersuchung angewandten Methoden (Cornell-System, *in situ*-Abbaubarkeit) erlauben eine über die Weender Analyse hinausgehende Charakterisierung des Futterwertes von Silomais.

RUMINAL *IN SITU* DEGRADATION AS WELL AS CRUDE PROTEIN AND CARBOHYDRATE FRACTIONS OF CNCPS OF FORAGE MAIZE DEPENDING ON VEGETATIVE STAGE, VARIETY, CONSERVATION AND SITE

ABSTRACT

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

The maize samples (n = 54) were harvested in the year 2003. They differed by stage of maturity (late milk stage [$< 25\%$ DM], early dent stage [25 – 30 % DM], late dent stage [30 – 35 % DM]); variety (Fuxxol FAO 240, Romario FAO 270, Atalante FAO 290); location (Lambach, Upper Austria; Kobenz, Styria; Gumpenstein, Styria) and conservation form (fresh maize, maize silage). The samples were analysed by different methods: Weende analysis (VDLUFÄ 1976), detergent analysis (Van Soest 1994), analysis according to the Cornell Net Carbohydrate and Protein System (Krishnamoorthy et al. 1982, Van Soest et al. 1991, Fox et al. 1992, Russell et al. 1992, Sniffen et al. 1992, Licitra et al. 1996) and the *in situ* method (Ørskov & McDonald 1979, Huntington & Givens 1995, Mertens 1993). The *in situ* analyses to determine the ruminal degradation of dry matter were carried out with four rumen cannulated steers with an incubation time of up to 168 hours.

Nutrient content was mainly influenced by conservation form and location. Stage of maturity and variety had only marginal effects. Due to fermentation processes of non-fibre carbohydrates during conservation, silages showed higher amounts of crude fibre and lower contents of N-free extracts. Van Soest detergent fibre as well as Cornell carbohydrate and protein fractions supported these results. With the exception of crude fat content, stage of maturity had a significant effect only on protein fractions (decrease in rapidly available fraction [A] and increase in slowly available fraction [B₂] due to maturity). As expected, the factor location had significant effects on most of the chemical parameters by determining the length of vegetation period. Detergent fibre content and fiber/non-fiber ratio were mainly dependent on climatic conditions, which significantly influenced ear growth as well as aging of plants.

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

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

1. EINLEITUNG

Für der Ernährung, sowohl der Wiederkäuer als auch der Pansenmikroben, stellen die Kohlenhydrate die wesentliche Energiequelle dar. Die sog. Strukturkohlenhydrate erfüllen durch ihre Wirkung auf den Speichelfluss und damit über die pH-Wert-Regulation zusätzlich eine wichtige Aufgabe für die Funktion der Vormägen. In der Weender Analyse sollten mit der Rohfaser die Gerüstsubstanzen (mit niedriger Verdaulichkeit) und mit den N-freien Extraktstoffen die hochverdaulichen Nichtfaser-Kohlenhydrate erfasst werden. Unter Gerüstsubstanzen wird die in neutraler Detergenzien-Lösung vollständig unlösliche Matrix-Faser verstanden (Van Soest et al. 1991). Sie besteht aus Zellulose, Hemizellulose und Lignin. Van Soest (1982, 1994) hat allerdings gezeigt, dass die Rohfaser die Gerüstsubstanzen aus mehreren Gründen nur unzureichend beschreibt. Erstens wird Hemizellulose überhaupt nicht erfasst und zweitens geht bei der Rohfaser-Bestimmung Lignin zum Teil in Lösung und wird daher, so wie auch die Hemizellulose, den N-freien Extraktstoffen zugerechnet. Ein weiteres Problem besteht darin, dass sich die Zusammensetzung der Gerüstsubstanzen zwischen den Pflanzenspecies unterscheidet, somit das Verhältnis von Rohfaser zu NDF nicht konstant ist.

Auch das Protein ist in den Futtermitteln hinsichtlich seiner Abbauraten im Pansen sehr unterschiedlich zusammengesetzt (Russell et al. 1992, Sniffen et al. 1992). Die Proteinabbaubarkeit wird neben der Herkunft (Species) vor allem von der Konservierung und der technologischen Verarbeitung beeinflusst. Das Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) unterscheidet 5 verschiedene Proteinfraktionen entsprechend ihrer Abbaugeschwindigkeit im Pansen (NPN, lösliches Protein, Protein mit mittlerer und geringer Abbaubarkeit, mit Zellulose assoziiertes nicht verfügbares Protein (Fox et al. 2004). Die Berücksichtigung der Proteinabbauraten ist wichtig für die Formulierung von Rationen mit hoher Effizienz der mikrobiellen Proteinsynthese. Diese wird erreicht, wenn Protein und Kohlenhydrate synchron abgebaut werden (Russell et al. 1992, Sinclair et al. 1993 und 1995, Blank et al. 1998).

Die *in situ*-Methode hat sich zu einem Standard in der Futterbewertung entwickelt (Ørskov et al. 1980, MAFF 1992, Sauvant et al. 2004). Die *in situ* ermittelten Ergebnisse des Proteinabbaues werden in den meisten Proteinbewertungssystemen als Schätzwert für das unabgebaute Futterprotein (UDP, undegraded dietary protein) herangezogen (INRA 1989, AFRC 1993, NRC 2001). Darüber hinaus sind die Abbauwerte der Trockenmasse und des Proteins im neuen Futterbewertungssystem Großbritanniens die Grundlage für die Ermittlung des Mikrobenproteins (FiM 2004).

Aus diesem Grund werden an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein in einem umfangreichen Forschungsprojekt die für die Ernährung der Wiederkäuer wesentlich Grob- und Kraftfutter über die Weender Analyse hinaus auch hinsichtlich der Gerüstsubstanzen (Van Soest et al. 1991), der Kohlenhydrat- und Protein-Fraktionen des CNCPS sowie auch der *in situ*-Abbaubarkeit analysiert. In der vorliegenden Arbeit wird über die Ergebnisse der Untersuchungen von Silomais berichtet.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1. Fragestellung und Versuchsplan

Der Versuch hatte zum Ziel, Silomais sehr unterschiedlicher Qualität zu erzeugen. Es wurde angestrebt, Restpflanzen mit sehr verschiedener Verdaulichkeit zu erhalten und auch der Kolbenanteil an der Gesamtpflanze sollte einen weiten Bereich abdecken. Das wurde durch die Versuchsfaktoren „Vegetationsstadium“, „Sorte“ und „Standort“ erreicht. Da durch die Fermentation bei der Silierung auch Änderungen des Nährstoffgehaltes erfolgen (Kohlenhydrate, Proteinabbau), wurde sowohl „Grünmais“ als auch „Maissilage“ untersucht. Der Versuchsplan bestand daher aus 4 Faktoren mit 3 bzw. 2 Faktorstufen ($3 \times 3 \times 3 \times 2 = 54$):

Vegetationsstadium: Ende Milchreife, Mitte Teigreife, Ende Teigreife

Sorte: Fuxxol (RZ 240), Romario (RZ 270), Atalante (RZ 290) [RZ = Reifezahl]

Standort: Lambach (Oberösterreich), Kobenz (Steiermark), Gumpenstein (Steiermark)

Konservierung: Grünmais, Maissilage

Die Standorte sind hinsichtlich Seehöhe und Klima sehr unterschiedlich und repräsentieren verschiedene Anbaugebiete. Dadurch war ein starker Einfluss auf Wachstumsverlauf, Ertrag und Kolbenbildung des Silomais zu erwarten.

Lambach: 366 m Seehöhe, 8.2 °C Jahrestemperatur, 957 mm Niederschlag

Kobenz: 630 m Seehöhe, 6.8 °C Jahrestemperatur, 850 mm Niederschlag

Gumpenstein: 700 m Seehöhe, 6.8 °C Jahrestemperatur, 1010 mm Niederschlag

Der Versuch wurde in den Jahren 2002 und 2003 durchgeführt. Die Untersuchungen der Fraktionen des CNCPS und der *in situ*-Abbaubarkeit erfolgten nur im Jahr 2003. Die beiden Versuchsjahre waren durch besonders hohe Temperaturen gekennzeichnet, wobei im August 2002 sintflutartige Regenfälle zu verzeichnen waren. Die Niederschlagswerte liegen im Jahr 2002 rund 30 % höher als im langjährigen Durchschnitt. Im Jahr 2003 herrschte eine extreme Trockenheit, die sich am stärksten am Standort Kobenz auswirkte, während die Niederschläge sowohl in Gumpenstein als auch in Lambach trotz einer Reduzierung um rund 20 % für eine entsprechende Ertragsbildung ausreichten. An jedem Standort wurde ein Feldversuch in vierfacher Wiederholung angelegt, die pflanzenbaulichen Maßnahmen entsprachen jenen der Sortenversuche. Bei der Ernte wurde der Silomais in Kolben und Restpflanze getrennt, der Ertrag beider Pflanzenteile an Frischmasse gewogen und die Trockenmasse bestimmt (24 h bei 105 °C). Weitere Angaben zur Versuchsdurchführung und den pflanzenbaulichen Ergebnissen (Ertrag, Futterwert, Kolbenanteil etc.) finden sich bei Gruber & Hein (2006).

2.2. Chemische Analysen

Die Analysen erfolgten im Labor der HBLFA Raumberg-Gumpenstein. Die Weender Analyse und die Untersuchung der Gerüstsubstanzen erfolgten nach den Methoden des VDLUFA (1976) und der ALVA (1983).

Die Kohlenhydrat-Fractionen des CNCPS wurden nach den Vorgaben von Van Soest et al. (1991) sowie Sniffen et al. (1992) und die Protein-Fractionen des CNCPS entsprechend den Arbeiten von Krishnamoorthy et al. (1982) sowie Licitra et al. (1996) ermittelt.

Die Kohlenhydrate (CHO) werden mit der Van Soest-Analytik in Faser- und Nichtfaser-Kohlenhydrate (FC, NFC) unterschieden. Unter FC sind die Gerüstsubstanzen zu verstehen, die in nicht-verfügbare (C) und verfügbare Faser (B₂) unterteilt werden. Die NFC bestehen aus Zucker (A) und Stärke (B₁). Der Gehalt an Stärke wurde aus den DLG-Tabellen Wiederkäuer (1997) entnommen, und zwar nach der von der Beziehung zur Rohfaser abgeleiteten linearen Regression:

$$\text{Stärke} = 107,16 - 0,057 \times \text{XF} \quad (\text{Gehalte in g/kg TM})$$

Die Kohlenhydrate werden wie folgt ermittelt:

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

$$\text{C} = \text{ADL} \times 2,4$$

$$\text{B}_2 = \text{NDF} - (\text{NDFIP} + \text{C})$$

$$\text{FC} = \text{C} + \text{B}_2$$

$$\text{NFC} = \text{CHO} - \text{FC}$$

$$\text{B}_1 = \text{XS} + \text{Pektin}$$

$$\text{A} = \text{NFC} - \text{B}_1 (= \text{XZ})$$

Protein wird in 5 Fractionen unterteilt, die unterschiedlichen Proteinabbauraten entsprechen. Zuerst wird das lösliche Protein (SolXP) mit einem Phosphat-Borat-Puffer ermittelt. Das darin enthaltene echte Protein (B₁) wird durch Trichlor-Essigsäure präzipitiert. Der Rest ist NPN (Fraktion A). Das in der ADF-Matrix enthaltene Protein (ADFIP, acid detergent insoluble protein) wird als nichtverfügbares Protein betrachtet (Fraktion C). NDFIP (Neutral detergent insoluble protein) minus ADFIP stellt das langsam abbaubare Protein dar. Die Fraktion B₂ (mittlere Proteinabbaurate) wird als Differenz zum Rohprotein ermittelt.

$$\text{Rohprotein (XP)} = \text{Kjehldal-N} \times 6,25$$

$$\text{SolXP} = \text{A} + \text{B}_1$$

$$\text{A} = \text{SolXP} - \text{B}_1 \quad [\text{NPN}]$$

$$\text{B}_1 = \text{SolXP} - \text{A} \quad [\text{Albumin, Globulin}]$$

$$\text{C} = \text{ADFIP}$$

$$\text{B}_3 = \text{NDFIP} - \text{ADFIP} \quad [\text{Extensin, Prolamin}]$$

$$\text{B}_2 = \text{XP} - (\text{A} + \text{B}_1 + \text{B}_3 + \text{C}) \quad [\text{Glutelin}]$$

2.3. *in situ*-Untersuchungen

Die *in situ*-Untersuchungen wurden nach den Vorgaben von Ørskov et al. (1980), Michalet-Doreau et al. (1987), Madsen & Hvelplund (1994), Huntington & Givens (1995), NRC (2001) und Südekum (2005) durchgeführt. Die nylon bags kamen von der Firma Ankom (Maschenweite 53 µm; Fairport, New York, USA). Das Verhältnis Einwaage zu Beutel-Oberfläche betrug etwa 15 mg pro cm², d.h. 6 g Probe pro Beutel (20 × 10 cm, d.h. für Grobfutter). Die Proben wurden gefriergetrocknet, durch ein 2 mm-Sieb gemahlen und lufttrocken eingewogen. Für die Inkubationen wurden 4 pansenfistulierte Ochsen (Bar Diamond-Fisteln, im Mittel 1.200 kg Lebendmasse) herangezogen, die in 4 Mahlzeiten pro Tag eine Ration auf Erhaltungsniveau erhielten (75 % Grundfutter, 25 % Kraftfutter). Die Ration war vielseitig zusammengesetzt (Grundfutter: 1/3 Heu, 1/3 Grassilage, 1/3 Mais-silage; Kraftfutter: 35 % Gerste, 25 % Weizen, 15 % Trockenschnitzel, 15 % Sojaextrak-

tionsschrot, 7 % Weizenkleie, 3 % Mineralstoffmischung). Die Inkubationszeiten waren mit 0, 3, 6, 10, 14, 24, 34, 72 und 168 h festgesetzt. Die beiden letzten Zeitstufen (3 und 7 Tage) wurden gewählt, um die Asymptote genau schätzen zu können (Mertens 1993). Der Waschvorgang zur Bestimmung der Wasserlöslichkeit wurde mit einer Haushaltswaschmaschine mit kaltem Wasser 45 min lang schonend durchgeführt (Programm Wolle). Die Daten wurden nach dem Modell von Ørskov & McDonald (1979) ausgewertet. Eine Korrektur auf Grund von Partikelverlusten in den bags (Weisbjerg et al. 1990) wurde nicht vorgenommen, da sich die Proben nur schwer filtrieren ließen (Verklebung des Filters):

$$\text{deg} = a + b \times (1 - \exp(-c \times (t - L))) \quad \text{für } t > L$$

deg = Abbau eines Futtermittels (Nährstoffs) zur Zeit t (%)

a = rasch und vollständig lösliche Fraktion (%)

b = unlösliche, potenziell abbaubare Fraktion (%)

c = Abbaurrate (pro h)

L = Lag-Phase

Da die Abbaubarkeit wesentlich von der Passagerate im Verdauungstrakt beeinflusst wird, wurde auch die effektive Abbaubarkeit (ED2, ED5, ED8) bei einer unterstellten Passage-rate von $k = 0.02, 0.05$ bzw. 0.08 (pro h) nach den Angaben von McDonald (1981) errechnet:

$$\text{ED} = a + [(b \times c) / (k + c)] \times \exp(-k \times L)$$

2.4. Statistische Auswertung

Der Datencheck, die deskriptive Statistik und die Auswertung der *in situ*-Daten nach dem Modell von Ørskov & McDonald (1979) erfolgte mit dem Programm Statgraphics Plus 5 (2000). Die Ergebnisse wurden mit dem Statistik-Paket von Harvey (1987) ausgewertet. Das Modell bestand aus den fixen Effekten „Vegetationsstadium“, „Sorte“, „Standort“ und „Konservierung“ sowie den Zweifach-Interaktionen.

3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Der Gehalt an Trockenmasse (TM) des Silomaises wurde durch alle Versuchsfaktoren signifikant beeinflusst (Tab. 1). Er erhöhte sich mit Fortschreiten der Vegetation von 29,3 auf 35,7 bzw. 38,1 %, war höher auf Standorten mit langer Vegetationsdauer (Lambach > Kobenz > Gumpenstein) und geringer bei Sorten mit hoher Reifezahl (Fuxxol > Romario > Atalante). Die physiologische Ursache ist, dass sich mit der Vegetation sowohl der Anteil des TM-reichen Kolbens erhöht und auch der TM-Gehalt der Restpflanze ansteigt (u. a. Groß 1979). Der TM-Gehalt des Kolbens wird daher von vielen Versuchsanstellern als der aussagekräftigste Parameter zur Beschreibung der physiologischen Reife des Silomaises angesehen (Groß 1979, Groß & Peschke 1980a, 1980b, 1980c, Gruber et al. 1983). Letztlich lassen sich alle Versuchsfaktoren auf die Frage reduzieren, welcher Vegetationszeitraum den einzelnen Versuchsvarianten für ihre Entwicklung zur Verfügung stand. Das gilt auch für den Gehalt an wertbestimmenden Nährstoffen (besonders Faser- und Nicht-Faser-Kohlenhydrate und auch die ruminale Abbaubarkeit, wobei dem Anteil des Kolbens die entscheidende Rolle zukommt.

3.1. Nährstoffgehalt und Fraktionen des CNCPS

Der Nährstoffgehalt und die Fraktionen des CNCPS sind in Tabelle 1 angeführt. Auf den Gehalt an Rohprotein wirkten sich Sorte und Standort hochsignifikant aus, tendenziell auch das Vegetationsstadium, nicht dagegen die Silierung im Vergleich zu Grünmais. Als Ursachen für die Differenzen im Rohproteingehalt sind vor allem das Verhältnis

Restpflanze/Kolben, das physiologische Alter der Restpflanze sowie Sorten- und Standortunterschiede (Boden und Klima) anzusehen (Zscheischler et al. 1974, Groß & Peschke 1980a und b, Gruber et al. 1983, Pex et al. 1996, Schwarz et al. 1996, Ettle & Schwarz 2003).

Bezüglich der Proteinfractionen des Cornell-Systems wirkte sich der Versuchsfaktor Konservierung am deutlichsten aus, außerdem auch das Vegetationsstadium. Dagegen übten Standort und Sorte kaum einen Einfluss auf den Anteil der Proteinfractionen am Rohproteingehalt aus (Tab. 1). Die Silierung führte zu einem signifikanten Anstieg der Fraktion A (NPN) von 31 auf 57 % des XP, was auf einen starken Proteinabbau im Zuge des Gärprozesses hinweist. Im Gegenzug verminderten sich die Fraktionen B₁ und besonders B₂ (von 50 auf 30 % des XP) sowie auch B₃ (von 13 auf 8 %). Mit steigendem Vegetationsstadium verminderte sich die Fraktion A (von 50 auf 41 %) und erhöhte sich dementsprechend die Fraktion B₂ von 34 auf 44 %. Die Verschiebung der Anteile der einzelnen Proteinfractionen während der Vegetation ist vor allem mit dem Anstieg des Kolbenanteils zu erklären. Das Protein des Maiskornes ist wesentlich langsamer abbaubar als das Protein von Maisrestpflanzen.

Hinsichtlich Rohfaser und Gerüstsubstanzen übte der Faktor Konservierung den größten Einfluss aus (Tab. 1). Im Zuge des Gärverlaufes werden leicht lösliche Kohlenhydrate fermentiert und der Gehalt an Gerüstsubstanzen steigt dadurch an (21 bzw. 23 % XF, 47 bzw. 50 % NDF). Dies ist auch eindeutig an den Kohlenhydrat-Fractionen des CNCPS abzulesen. Die NFC (Nonfiber-carbohydrates) machen in Grünmais 46,4 und in Maissilage 42,7 % aus. Noch viel deutlicher zeichnet sich der Gärprozess im Gehalt der Fraktionen A (19,6 bzw. 2,5 % Zucker) und B₁ ab (26,8 bzw. 40,2 % Stärke und Pektin in Grünmais bzw. Maissilage).

Mit steigendem Vegetationsstadium verminderte sich der Gehalt an Rohfaser (P = 0,06), der Gehalt an Gerüstsubstanzen (NDF, ADF, ADL) zeigte dagegen keinen statistisch signifikanten Einfluss und betrug im Mittel 484 g NDF, 250 g ADF und 31 g ADL in der TM (Tab. 1). Auch die Kohlenhydrat-Fractionen des CNCPS waren vom Vegetationsstadium nicht beeinflusst. Der Faktor Standort beeinflusste den Gehalt an Gerüstsubstanzen erwartungsgemäß in dem Sinn, dass der Gehalt an NDF, ADF, ADL und XF signifikant umso niedriger war, je länger die Vegetationsperiode bzw. je günstiger die klimatischen Wachstumsbedingungen für Silomais an einem Standort waren. Die physiologische Ursache dafür liegt in den höheren Kolbenanteilen, die durch diese Wachstumsbedingungen begünstigt werden. Dies spiegelt sich auch in den signifikant unterschiedlichen Kohlenhydrat-Fractionen des CNCPS wider (Tab. 1). Der Versuchsfaktor Sorte führte zu keinen Unterschieden im Gehalt an Gerüstsubstanzen, was allerdings durch die Versuchsanstellung bedingt ist, durch welche alle Sorten bei vergleichbaren Vegetationsstadien geerntet wurden.

In Tabelle 2 werden die Interaktionen [Vegetationsstadium × Konservierung] und [Vegetationsstadium × Sorte] mit den entsprechenden P-Werten angeführt. Bis auf ganz wenige Ausnahmen traten in keinem der Nährstoffparameter Wechselwirkungen auf, d.h. der Einfluss der Versuchsfaktoren Vegetationsstadium wirkte unabhängig vom Einfluss der Faktoren Konservierung bzw. Sorte.

3.2. Ruminaler *in situ*-Abbau der Trockenmasse

Die Resultate des ruminalen *in situ*-Abbaues der Trockenmasse sind in den Tabellen 3 und 4 sowie in den Abbildungen 1 und 2 angeführt. Auf die Parameter des *in situ*-Abbaues (a, b, c) nach Ørskov & McDonald (1979) wirkten sich die Versuchsfaktoren Konservierung, Vegetationsstadium und Sorte hochsignifikant aus (P < 0,01), nicht dagegen der Faktor

Tabelle 1: Gehalt an Nährstoffen und Gerüstsubstanzen sowie Anteil an Protein- und Kohlenhydratfraktionen (Haupteffekte)

Parameter	Konservierung		Vegetationsstadium			Standort			Sorte			RSD	P-Wert				R ²	
	Grün- mais	Mais- silage	Ende Milch- reife	Mitte Teig- reife	Ende Teig- reife	Lam- bach	Ko- benz	Gum- pen- stein	Fux- xol	Ro- mario	Ata- lante		Kon- ser- vierung	Vege- tations- stadium	Stand- ort	Sorte		Mo- dell
Probenanzahl	27	27	18	18	18	18	18	18	18	18	18							
Rohnährstoffe																		
TM	g/kg FM	355	332	293	357	381	422	340	269	366	347	317	17	0,000	0,000	0,000	0,000	0,977
XP	g/kg TM	79	79	80	81	77	73	86	79	83	81	74	6	0,889	0,122	0,000	0,000	0,750
XL	g/kg TM	28	29	25	29	32	32	25	29	28	30	27	3	0,907	0,000	0,000	0,032	0,874
XF	g/kg TM	212	230	231	217	216	203	227	233	228	216	219	21	0,004	0,061	0,001	0,223	0,674
XX	g/kg TM	642	621	622	635	638	656	614	625	620	634	640	25	0,004	0,152	0,000	0,055	0,699
XA	g/kg TM	41	43	43	42	41	38	47	41	43	40	42	4	0,061	0,396	0,000	0,141	0,750
Gerüstsubstanzen																		
NDF	g/kg TM	471	497	494	477	481	459	496	496	492	478	482	39	0,018	0,407	0,010	0,559	0,605
ADF	g/kg TM	237	263	253	247	249	234	254	262	259	245	246	19	0,000	0,579	0,001	0,072	0,733
ADL	g/kg TM	29	33	31	30	32	31	30	32	32	31	29	5	0,003	0,456	0,266	0,223	0,621
Proteinfraktionen																		
A	% des XP	31,3	56,9	49,5	41,9	40,8	43,6	44,4	44,2	44,6	43,3	44,4	5,8	0,000	0,000	0,900	0,781	0,921
B ₁	% des XP	2,4	0,9	1,5	1,7	1,9	1,9	1,5	1,7	1,7	1,6	1,8	0,4	0,000	0,027	0,007	0,305	0,913
B ₂	% des XP	50,4	29,8	33,9	42,7	43,7	41,5	40,4	38,3	39,6	42,0	38,8	6,8	0,000	0,000	0,367	0,352	0,865
B ₃	% des XP	12,5	8,3	11,5	10,1	9,7	9,2	10,3	11,8	10,3	9,6	11,4	2,5	0,000	0,093	0,017	0,105	0,720
C	% des XP	3,3	4,1	3,5	3,7	3,9	3,8	3,3	4,0	3,9	3,5	3,6	0,6	0,000	0,110	0,002	0,081	0,747
CHO-Fraktionen																		
CHO	g/kg TM	854	851	853	852	853	859	840	858	848	851	859	15	0,459	0,931	0,001	0,100	0,565
FC	% der CHO	53,6	57,3	56,5	54,7	55,2	52,4	57,7	56,3	56,6	54,9	54,8	4,5	0,006	0,475	0,004	0,422	0,632
NFC	% der CHO	46,4	42,7	43,5	45,3	44,8	47,6	42,3	43,7	43,4	45,1	45,2	4,5	0,006	0,475	0,004	0,422	0,632
A	% der CHO	19,6	2,5	12,4	10,3	10,4	7,7	12,8	12,6	12,0	10,0	11,1	4,5	0,000	0,298	0,003	0,417	0,898
B ₁	% der CHO	26,8	40,2	31,1	35,0	34,4	39,9	29,5	31,0	31,4	35,1	34,1	6,7	0,000	0,185	0,000	0,247	0,815
B ₂	% der CHO	45,6	48,0	47,8	46,3	46,2	43,8	49,3	47,3	47,5	46,2	46,6	4,3	0,047	0,444	0,002	0,687	0,605
C	% der CHO	8,1	9,3	8,7	8,4	9,0	8,6	8,4	9,0	9,2	8,7	8,2	1,3	0,002	0,444	0,386	0,131	0,635

Tabelle 2: Gehalt an Nährstoffen und Gerüstsubstanzen sowie Anteil an Protein- und Kohlenhydratfraktionen (Wechselwirkungen)

Parameter	Grünmais			Maissilage			Fuxxol			Romario			Atalante			P-Wert		
	Ende Milch- reife	Mitte Teig- reife	Ende Teig- reife	Ende Milch- reife	Mitte Teig- reife	Ende Teig- reife	Ende Milch- reife	Mitte Teig- reife	Ende Teig- reife	Ende Milch- reife	Mitte Teig- reife	Ende Teig- reife	Ende Milch- reife	Mitte Teig- reife	Ende Teig- reife	Kons. × Veg.	Sorte × Veg.	
Probenanzahl	9	9	9	9	9	9	6	6	6	6	6	6	6	6	6			
Rohnährstoffe																		
TM	g/kg FM	300	368	396	285	346	366	304	379	416	301	354	386	273	337	342	0,461	0,029
XP	g/kg TM	79	82	77	81	80	77	83	85	80	81	82	80	76	75	71	0,730	0,979
XL	g/kg TM	24	30	31	25	28	33	24	28	33	27	31	33	24	28	30	0,147	0,853
XF	g/kg TM	218	205	213	238	228	224	236	222	226	230	203	216	227	225	205	0,773	0,382
XX	g/kg TM	632	649	645	612	621	630	606	630	624	629	643	632	632	632	657	0,766	0,382
XA	g/kg TM	42	41	40	44	43	42	45	42	42	41	41	40	42	43	42	0,894	0,807
Gerüstsubstanzen																		
NDF	g/kg TM	497	451	464	491	503	498	508	479	488	493	460	481	481	492	474	0,181	0,865
ADF	g/kg TM	245	227	238	261	266	260	261	255	260	251	237	246	248	248	242	0,461	0,126
ADL	g/kg TM	30	26	30	31	34	34	31	31	35	30	30	33	31	29	28	0,076	0,452
Proteinfraktionen																		
A	% des XP	36,0	29,2	28,5	63,1	54,6	53,0	52,0	43,5	38,2	49,8	41,0	39,1	46,8	41,2	45,1	0,801	0,133
B ₁	% des XP	2,3	2,5	2,6	0,7	0,9	1,2	1,5	1,4	2,0	1,4	1,6	1,9	1,7	2,0	1,8	0,590	0,137
B ₂	% des XP	44,9	52,8	53,6	23,0	32,5	33,8	31,4	41,3	46,2	34,9	43,8	47,1	35,5	43,0	37,8	0,888	0,197
B ₃	% des XP	13,2	12,4	12,1	9,8	7,7	7,4	11,4	9,7	9,6	10,4	10,0	8,4	12,7	10,4	11,2	0,695	0,801
C	% des XP	3,6	3,1	3,2	3,4	4,2	4,5	3,6	4,1	4,0	3,4	3,5	3,6	3,4	3,4	4,1	0,001	0,441
CHO-Fraktionen																		
CHO	g/kg TM	855	854	854	852	850	852	843	852	850	859	846	848	858	857	862	0,979	0,421
FC	% der CHO	56,6	51,4	53,0	56,5	58,0	57,4	58,9	54,8	56,2	56,1	53,1	55,6	54,6	56,2	53,7	0,092	0,502
NFC	% der CHO	43,4	48,6	47,0	43,5	42,0	42,6	41,1	45,2	43,8	43,9	46,9	44,4	45,4	43,8	46,3	0,092	0,502
A	% der CHO	22,1	18,1	18,6	2,7	2,4	2,3	13,6	10,8	11,6	11,8	7,9	10,3	11,8	12,1	9,4	0,449	0,669
B ₁	% der CHO	21,4	30,5	28,4	40,8	39,5	40,4	27,5	34,4	32,2	32,1	39,0	34,1	33,6	31,6	36,9	0,073	0,316
B ₂	% der CHO	48,0	44,2	44,5	47,6	48,4	47,9	50,0	46,1	46,3	47,6	44,8	46,3	45,8	48,1	45,9	0,244	0,427
C	% der CHO	8,5	7,2	8,5	8,8	9,6	9,5	8,9	8,7	9,9	8,4	8,4	9,2	8,7	8,2	7,8	0,061	0,401

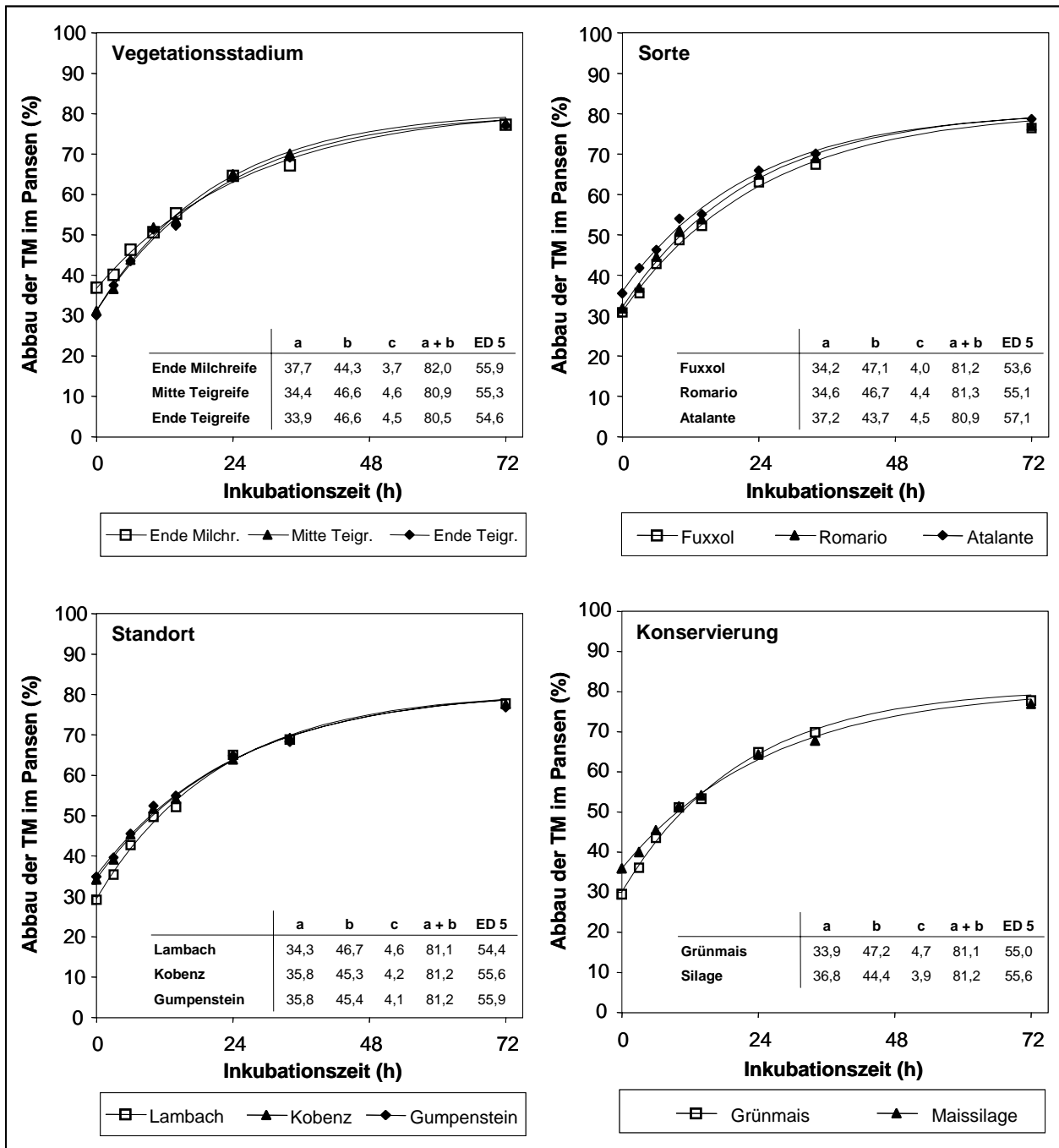
Tabelle 3: Parameter des ruminalen *in situ*-Abbaues der Trockenmasse (Haupteffekte)

Parameter	Konservierung		Vegetationsstadium			Standort			Sorte			RSD	P-Wert				R ²	
	Grün- mais	Mais- silage	Ende Milch- reife	Mitte Teig- reife	Ende Teig- reife	Lam- bach	Ko- benz	Gum- pen- stein	Fux- xol	Ro- mario	Ata- lante		Kon- ser- vierung	Vege- tations- stadium	Stand- ort	Sorte		Mo- dell
Probenanzahl	27	27	18	18	18	18	18	18	18	18	18							
Abbau-Parameter																		
a	%	33,9	36,8	37,7	34,4	33,9	34,3	35,8	35,8	34,2	34,6	37,2	2,5	0,000	0,000	0,146	0,002	0,747
b	%	47,2	44,4	44,3	46,6	46,6	46,7	45,3	45,4	47,1	46,7	43,7	2,3	0,000	0,006	0,136	0,000	0,751
c	pro h	0,047	0,039	0,037	0,046	0,045	0,046	0,042	0,041	0,040	0,044	0,045	0,007	0,000	0,002	0,112	0,206	0,692
lag	h	1,44	0,44	0,41	1,23	1,17	1,83	0,71	0,27	1,30	1,01	0,50	0,84	0,000	0,011	0,000	0,026	0,784
[a + b]	%	81,1	81,2	82,0	80,9	80,5	81,1	81,2	81,2	81,2	81,3	80,9	1,6	0,802	0,032	0,972	0,725	0,511
ED2	%	65,8	65,5	65,8	66,0	65,3	65,2	65,8	66,0	64,5	65,7	66,8	1,9	0,587	0,536	0,448	0,005	0,546
ED5	%	55,0	55,6	55,9	55,3	54,6	54,4	55,6	55,9	53,6	55,1	57,1	2,2	0,328	0,261	0,111	0,000	0,639
ED8	%	49,3	50,7	51,1	49,8	49,1	48,8	50,4	50,8	48,2	49,7	52,1	2,4	0,046	0,060	0,034	0,000	0,689

Tabelle 4: Parameter des ruminalen *in situ*-Abbaues der Trockenmasse (Wechselwirkungen)

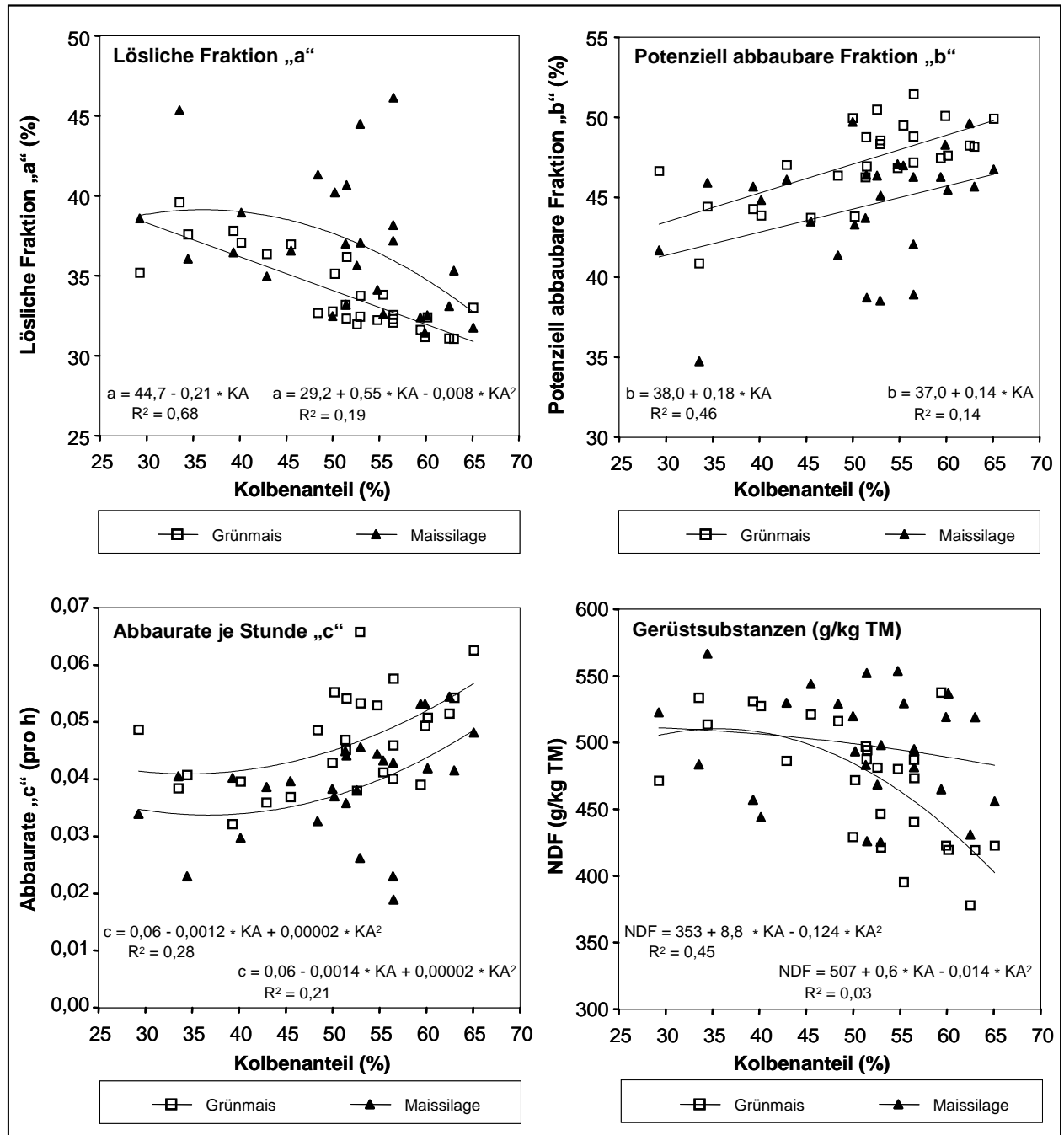
Parameter	Grünmais			Maissilage			Fuxxol			Romario			Atalante			P-Wert		
	Ende Milch- reife	Mitte Teig- reife	Ende Teig- reife	Ende Milch- reife	Mitte Teig- reife	Ende Teig- reife	Ende Milch- reife	Mitte Teig- reife	Ende Teig- reife	Ende Milch- reife	Mitte Teig- reife	Ende Teig- reife	Ende Milch- reife	Mitte Teig- reife	Ende Teig- reife	Kons. × Veg.	Sorte × Veg.	
Probenanzahl	9	9	9	9	9	9	6	6	6	6	6	6	6	6	6			
Abbau-Parameter																		
a	%	35,6	33,1	32,8	39,8	35,6	35,0	36,2	33,0	33,2	37,7	33,6	32,6	39,3	36,5	35,9	0,477	0,850
b	%	46,0	47,4	48,3	42,5	45,8	44,9	45,6	48,0	47,6	45,4	47,6	47,2	41,8	44,2	45,0	0,363	0,940
c	pro h	0,044	0,048	0,048	0,030	0,044	0,042	0,033	0,046	0,042	0,037	0,050	0,045	0,042	0,043	0,048	0,117	0,187
lag	h	1,97	1,56	0,78	0,63	0,46	0,22	0,25	2,08	1,56	0,66	1,18	1,20	0,32	0,42	0,77	0,581	0,167
[a + b]	%	81,7	80,5	81,1	82,3	81,4	79,9	81,8	81,0	80,9	83,0	81,1	79,8	81,1	80,7	80,9	0,124	0,224
ED2	%	66,5	65,4	65,5	65,0	66,6	65,0	64,1	65,0	64,4	66,1	66,8	64,3	67,1	66,3	67,1	0,151	0,310
ED5	%	56,1	54,5	54,3	55,6	56,2	54,9	53,9	53,6	53,3	55,9	56,0	53,5	57,8	56,4	57,1	0,369	0,500
ED8	%	47,6	48,9	51,5	48,8	50,5	52,7	49,1	47,8	47,7	50,9	50,3	47,9	53,1	51,4	51,8	0,651	0,672

Abbildung 1: Ruminaler *in situ*-Abbau der Trockenmasse in Abhängigkeit von Vegetationsstadium, Sorte, Standort und Konservierung



Standort. Durch die Silierung erhöhte sich die leichtlösliche Fraktion a gegenüber Grünmais von 34 auf 37 % und die Fraktion b (nicht löslich, potenziell fermentierbar) verminderte sich im Gegenzug von 47 auf 44 %. Dies bedeutet, dass die potenzielle Abbaubarkeit [a + b] in beiden Konservierungsformen identisch ist (81 %). Die effektive Abbaubarkeit [ED] unterscheidet sich (bei allen Versuchsfaktoren) umso mehr, je höher die Passagerate angenommen wird, was methodisch bedingt ist (es wird nur die Fraktion b mit der Passagerate gewichtet, McDonald 1981). Die Abbaurate (c) vermindert sich durch

Abbildung 2: Beziehung zwischen dem Kolbenanteil und den Abbauparametern (a, b, c) nach Ørskov & McDonald (1979) sowie dem NDF-Gehalt



die Silierung von 4,7 auf 3,9 % pro Stunde. Mit steigendem Vegetationsstadium geht die Fraktion a von 38 auf 34 % zurück und die Fraktion b erhöht sich von 44 auf 47 %. Die Abbaureate in der Milchreife ist mit 3,7 gegenüber 4,6 % in der Teigreife signifikant niedriger. Auch dies ist über den Kolbenanteil erklärbar, der Abbau von Stärke (= Kolben) erfolgt wesentlich rascher als der Abbau von Zellulose (= Restpflanze) (Gruber et al. 2005 und 2006). Der Anstieg der Abbaureate mit steigendem Kolbenanteil ist in Abb. 2 dargestellt. Die potenzielle Abbaubarkeit geht folglich von 82,0 auf 80,5 % zurück.

Im Gegensatz zum Gehalt an Gerüstsubstanzen und den Fraktionen des Cornell-Systems zeigten die *in situ*-Untersuchungen signifikante Unterschiede zwischen den Sorten. Je spätreifer die Sorte, desto höher war der lösliche Anteil (a) der TM (34, 35 bzw. 37 %) und desto niedriger war der potenziell fermentierbare Anteil (b) der TM (47, 47 bzw. 44 %), mit dem Ergebnis, dass keine Unterschiede in der potenziellen Abbaubarkeit auftraten. Die Ergebnisse hinsichtlich der Sortenunterschiede sind in gleicher Weise wie die des Vegetationsstadiums zu interpretieren. Varianten mit höherem Kolbenanteil (frühreife Sorten) weisen eine niedrigere Fraktion a (rasch löslich) und eine höhere Fraktion b (potenziell fermentierbar) auf. Allerdings wiesen die spätreiferen Sorten auch eine höhere Abbaurrate auf. Ein Grund dafür könnten überreife Restpflanzen der frühreifen Sorte Fuxxol sein. Kurtz & Schwarz (2005) fanden eine signifikant negative Beziehung zwischen der *in situ*-Abbaubarkeit von Mais-Restpflanzen und dem NDF-Gehalt bei frühem Erntezeitpunkt ($r = -0,74^{**}$), nicht jedoch bei später Ernte ($r = -0,26^{n.s.}$). Wie beim Nährstoffgehalt, traten auch bei den Ergebnissen der ruminalen Abbaubarkeit zwischen Vegetationsstadium und Konservierung bzw. Sorte keine Wechselwirkungen auf.

Als Schlussfolgerung ist abzuleiten, dass die in der Untersuchung angewandten Methoden (Cornell-System, *in situ*-Abbaubarkeit) eine über die Weender Analyse hinausgehende Charakterisierung des Futterwertes von Silomais erlauben. Besonders die Veränderungen durch den Gärprozess bei der Silierung (Bildung von Gärsäuren durch Fermentation von Zucker, teilweise Auflösung der Proteinmatrix) spiegeln sich in den Kohlenhydrat- und Protein-Fraktionen des Cornell-Systems wider. Auch die durch die Versuchsanstellung (Vegetationsstadium, Sorte, Standort) bedingten Veränderungen des Kolbenanteils und der Verdaulichkeit der Maisrestpflanzen werden durch die Analyse der Gerüstsubstanzen und besonders durch die *in situ*-Abbaubarkeit wesentlich besser abgebildet als durch die herkömmliche Analyse der Rohnährstoffe.

4. LITERATUR

- ALVA (Arbeitsgemeinschaft landwirtschaftlicher Versuchsanstalten), 1983: Österreichisches Methodenbuch für die Untersuchung von Futtermitteln, Futterzusatzstoffen und Schadstoffen. Selbstverlag ALVA.
- AFRC (Agricultural Food and Research Council), 1993: Energy and Protein Requirements of Ruminants. An advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients. CAB International, Wallingford, UK, 159 S.
- Blank, R., K.-H. Südekum, I. Immig und J. Kleinmans, 1998: Synchroner Abbau von Kohlenhydraten und Rohprotein in den Vormägen – eine neue Variable für die Rationsgestaltung? Übers. Tierernährg. 26, 157-188.
- DLG (Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft), 1997: DLG-Futterwerttabellen – Wiederkäuer. 7. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 212 S.
- Ettle, T. und F.J. Schwarz, 2003: Effect of maize variety harvested at different maturity stages on feeding value and performance of dairy cows. Anim. Res. 52, 337-349.
- FiM (Feed into Milk Consortium), 2004: Feed into Milk. A new applied feeding system for dairy cows. An advisory manual. Ed. C. Thomas. Nottingham University Press, 68 S.
- Fox, D.G., C.J. Sniffen, J.D. O'Connor, J.B. Russell und P.J. Van Soest, 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy. J. Anim. Sci. 70, 3578-3596.
- Fox, D.G., L.O. Tedeschi, T.P. Tytlutki, J.B. Russell, M.E. van Amburgh, L.E. Chase, A.N. Pell und T.R. Overton, 2004: The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. Anim. Feed Sci. Technol. 112, 29-78.
- Groß, F., 1979: Nährstoffgehalt und Verdaulichkeit von Silomais. 1. Mitteilung: Bewertung von Silomais. Das wirtschaftseig. Futter 25, 215-225.
- Groß, F. und W. Peschke, 1980a: Nährstoffgehalt und Verdaulichkeit von Silomais. 2. Mitteilung: Nährstoffgehalt und Verdaulichkeit von Maisstroh (Maispflanze ohne Kolben). Das wirtschaftseig. Futter 26, 104-117.

- Groß, F. und W. Peschke, 1980b: Nährstoffgehalt und Verdaulichkeit von Silomais. 3. Mitteilung: Nährstoffgehalt und Verdaulichkeit der Maiskolben. Das wirtschaftseig. Futter 26, 184-192.
- Groß, F. und W. Peschke, 1980c: Nährstoffgehalt und Verdaulichkeit von Silomais. 4. Mitteilung: Einfluss der Kolbenbildung auf Nährstoffgehalt und Verdaulichkeit von Silomais. Das wirtschaftseig. Futter 26, 193-206.
- Gruber, L., H. Kopal, F. Lettner und F. Parrer, 1983: Einfluss des Erntezeitpunktes auf den Nährstoffgehalt und den Ertrag von Silomais. Das wirtschaftseig. Futter 29, 87-109.
- Gruber, L., G. Stögmüller, K. Taferner, L. Haberl, G. Maierhofer, B. Steiner, A. Steinwidder, A. Schauer und W. Knaus, 2005: Protein- und Kohlenhydrat-Fractionen nach dem Cornell System sowie ruminaler Trockenmasseabbau *in situ* von energie- und proteinreichen Kraftfuttermitteln. Übers. Tierernährg. 33, 129-143.
- Gruber, L. und W. Hein, 2006: Ertrag und Futterqualität von Silomais in Abhängigkeit von Vegetationsstadium, Sorte und Standort. 118. VDLUFA-Kongress, Freiburg/Breisgau, im Druck.
- Gruber, L., J. Häusler, A. Steinwidder, A. Schauer und G. Maierhofer, 2006: Influence of cutting frequency in Alpine permanent grassland on nutritive value, DM yield and agronomic parameters of milk production. Slovak J. Anim. Sci., im Druck.
- Harvey, W.R., 1987: User's guide for mixed model least-squares and maximum likelihood computer program. Ohio State University, USA.
- Huntington, J.A. und D.I. Givens, 1995: The *in situ* technique for studying the rumen degradation of feeds: A review of the procedure. Nutr. Abstr. Rev. (Series B) 65, 63-93.
- INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), 1989: Ruminant Nutrition, Recommended Allowances and Feed Tables, 389 S.
- Krishnamoorthy, U., T.V. Muscato, C.J. Sniffen und P.J. Van Soest, 1982: Nitrogen fractions in selected feedstuffs. J. Anim. Sci. 65, 217-222.
- Kurtz, H. und F.J. Schwarz, 2005: *in situ*-Abbaukinetik von Restpflanzen verschiedener Maishybriden im Reifeverlauf. Übers. Tierernährung 33, 111-120.
- Licitra, G., T.M. Hernandez und P.J. Van Soest, 1996: Standardization of procedure for nitrogen fractionation of ruminant feeds. Anim. Feed Sci. Technol. 57, 347-358.
- Madsen, J. und T. Hvelplund, 1994: Prediction of *in situ* protein degradability in the rumen. Results of a European ringtest. Livest. Prod. Sci. 39, 201-212.
- MAFF (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food), 1992: Feed Composition. UK Tables of Feed Composition and Nutritive Value for Ruminants. Standing Committee on Tables of Feed Composition. Chalcombe Publications, 2nd edition, 99 S.
- McDonald, I., 1981: A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. J. Agric. Sci. (Camb.) 96, 251-252.
- Michalet-Doreau, B., R. Verite und P. Chapoutot, 1987: Méthodologie de mesure de la dégradabilité in sacco de l'azote des aliments dans le rumen. Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, INRA 69, 5-7.
- Mertens, D.R., 1993: Rate and extent of digestion. In: Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism. Eds. J.M. Forbes & J. France. CAB International UK, 13-51.
- NRC (National Research Council), 2001: Nutrient Requirements of Dairy Cattle (7th Edition). National Academy Press, Washington, D.C., 381 S.
- Ørskov, E.R. und I. McDonald, 1979: The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. Agric. Sci. (Camb.) 92, 499-503.
- Ørskov, E.R., F.D. Hovell und F. Mould, 1980: The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. Tropical Anim. Prod. 5, 195-213.
- Pex, E.J., F.J. Schwarz und M. Kirchgeßner, 1996: Zum Einfluss des Erntezeitpunktes von Silomais auf Verdaulichkeit und Energiegehalt von Maissilage bei Rind und Schaf. Das wirtschaftseig. Futter 42, 83-96.
- Russell, J.B., J.D. O'Connor, D.G. Fox, P.J. Van Soest und C.J. Sniffen, 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. I. Ruminant fermentation. J. Anim. Sci. 70, 3551-3561.
- Sauvant, D., J.-M. Perez und G. Tran (Eds.), 2004: Tables of Composition and Nutritional Value of Feed Materials, 2nd revised and corrected edition, Wageningen Academic Publishers und INRA 2004, 304 S.
- Schwarz, F.J., E.J. Pex und M. Kirchgeßner, 1996: Zum Sorteneinfluss von Silomais auf Verdaulichkeit und Energiegehalt von Maissilage bei Rind und Schaf. Das wirtschaftseig. Futter 42, 161-172.

- Sinclair, L.A., P.C. Garnsworthy, J.R. Newbold und P.J. Buttery, 1993: Effect of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release on rumen fermentation and microbial protein synthesis in sheep. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 120, 251-263.
- Sinclair, L.A., P.C. Garnsworthy, J.R. Newbold und P.J. Buttery, 1995: Effects of synchronizing the rate of dietary energy and nitrogen release in diets with similar carbohydrate composition on rumen fermentation and microbial protein synthesis in sheep. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 124, 463-472.
- Sniffen, C.J., J.D. O'Connor, P.J. Van Soest, D.G. Fox und J.B. Russell, 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.* 70, 3562-3577.
- STATGRAPHICS Plus 5, 2000: Manugistics Leveraged Intelligence. User Manual. Maryland, USA.
- Südekum, K.H., 2005: Möglichkeiten und Grenzen der Standardisierung der *in situ*-Methodik zur Schätzung des ruminalen Nährstoffabbaus. *Übers. Tierernährg.* 33, 71-86.
- Van Soest, P.J., 1982 und 1994: *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 1. und 2. Auflage, Cornell University Press, Ithaca und London.
- Van Soest, P.J., J.B. Robertson und B.A. Lewis, 1991: Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583-3597.
- VDLUFA (Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten), 1976 inkl. Ergänzungsblätter 1983, 1988, 1993, 1997: *Methodenbuch Band III – Die chemische Untersuchung von Futtermitteln*. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Weisbjerg, M.R., P.K. Bhargava, T. Hvelplund und J. Madsen, 1990: Use of degradation curves in feed evaluation. 679. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsog (Report from the National Institute of Animal Science, Foulum, Denmark (in Dänisch), 32 S.
- Zscheischler, J., F. Groß und L. Hepting, 1974: Einfluss von Schnittzeit, Sorte und Standweite auf Ertrag und Futterwert von Silomais. *Bayer. Landw. Jahrb.* 51, 611-636.