

**PROTEIN- UND KOHLENHYDRAT-FRAKTIONEN NACH DEM
CORNELL NET CARBOHYDRATE AND PROTEIN SYSTEM SOWIE
RUMINALER NÄHRSTOFFABBAU *IN SITU* VON
ENERGIE- UND PROTEINREICHEN KRAFTFUTTERMITTELN**

PROTEIN AND CARBOHYDRATE FRACTIONS OF THE CORNELL NET CARBOHYDRATE AND PROTEIN SYSTEM AS WELL AS RUMINAL NUTRIENT DEGRADATION *IN SITU* OF ENERGY AND PROTEIN CONCENTRATES

von/by

L. GRUBER¹, G. STÖGMÜLLER², K. TAFERNER², L. HABERL³, G. MAIERHOFER¹,
B. STEINER³, A. STEINWIDDER¹, A. SCHAUER¹, W. KNAUS²

GLIEDERUNG

- 1 Einleitung
- 2 Material und Methoden
 - 2.1 Futtermittel
 - 2.2 Analysen und Auswertung
 - 2.2.1 Chemische Analysen
 - 2.2.2 *in situ*-Untersuchungen
 - 2.2.3 Statistische Analyse
- 3 Ergebnisse und Diskussion
 - 3.1 Rohnährstoffe und Gerüstsubstanzen
 - 3.2 Kohlenhydrat- und Proteinfractionen der Futtermittel nach dem CNCPS
 - 3.3 Ergebnisse der *in situ*-Untersuchungen
- 4 Schrifttum

¹ Univ.-Doz. Dr. Leonhard GRUBER, Ing. Günter MAIERHOFER, Dr. Andreas STEINWIDDER, Ing. Anton SCHAUER, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Nutztierforschung, Gumpenstein, A-8952 Irdning, leonhard.gruber@raumberg-gumpenstein.at, 0043 (0)3682 22451 260

² Dipl.-Ing. Gerald STÖGMÜLLER, cand. Ing. Karin Taferner, Ao. Univ.-Prof. Dr. Wilhelm KNAUS, Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Universität für Bodenkultur, Gregor Mendelstraße 33, A-1180 Wien

³ Lucia HABERL, Barbara STEINER, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Abteilung für Analytik, Gumpenstein, A-8952 Irdning

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurden von den in der Fütterungspraxis in Österreich wichtigsten Kraftfuttermitteln in Mischfutterwerken, landwirtschaftlichen Forschungsanstalten und Betrieben sowie Erzeugungsstätten repräsentative Proben gezogen (n = 85). Die Futtermittel wurden in 7 Gruppen eingeteilt:

1. Getreide (Gerste, Weizen, Hafer, Roggen, Triticale, Mais, CCM, Maiskornsilage, Sorghum-Hirse)
2. Nebenprodukte (Weizenfuttermehl, Weizenkleie, Pressschnitzel, Trockenschnitzel, Sojashalen)
3. Wurzeln und Knollen (Futterrübe, Kartoffel, Tapioka)
4. Leguminosen-Samen und Ölsaaten (Ackerbohne, Erbse, Sojabohne, Raps, Sonnenblume)
5. Extraktionsschrote (Sojaextraktionsschrot 44 und 50 sowie geschützt, Rapsextraktionsschrot, Rapsextraktionsschrot geschützt, Sonnenblumenextraktionsschrot)
6. Ölkuchen und Expeller (Rapskuchen, Sonnenblumenkuchen, Kürbiskernkuchen, Palmkernexpeller)
7. Nebenprodukte (Gärungs- und Stärkeindustrie) (Biertrebersilage, Biertreber getrocknet, Weizenschlempe getrocknet, Maisschlempe getrocknet, Maizeglutenfeed, Maiskleber)

Zusätzlich zu den Weender Rohnährstoffen und den Van Soest-Gerüstsubstanzen wurden auch der *in situ*-Trockenmasseabbau an 4 fistulierten Ochsen nach dem Modell von ORSKOV & McDONALD (1979) sowie die Protein- und Kohlenhydrat-Fractionen des Cornell Net Carbohydrate and Protein Systems (CNCPS, SNIFFEN et al. 1992) untersucht.

Die Futtermittel bzw. Futtermittelgruppen unterschieden sich signifikant und charakteristisch in ihren Gehalten an den 5 Proteinfractionen (A, B₁, B₂, B₃, C; im Pansen sofort löslich bis von den Mikroben nicht abbaubar). Die 5 Proteinfractionen machten im Mittel 22, 6, 49, 16 und 7 % des Gesamt-N aus. Besonders hoch ist der Gehalt der A-Fraktion (= NPN) in silierten Kraftfuttern (CCM, Biertreber etc.), in den frischen Wurzeln und Knollen (Rübe, Kartoffel) sowie in den Leguminosen-Samen. Demgegenüber finden sich in den getrockneten Produkten (Biertreber, Schlempe, Trockenschnitzel, Mais), in den „geschützten“ Eiweißfuttermitteln sowie in Raps-erzeugnissen höhere Anteile an der Fraktion B₃ und C (langsam abbaubar bzw. im Pansen unverfügbar). Rund die Hälfte des Proteins weist eine mittlere Abbaurate auf (B₂), ebenfalls mit deutlichen Unterschieden zwischen den Futtermitteln (Einfluss von Trocknung und Spezies). Die technologische Verarbeitung der Futtermittel („geschütztes Protein“, Trocknung) führt zu einer Verschiebung der Protein-Fractionen in Richtung niedrigere Abbaurate. Dies spiegelt sich auch in den Trockenmasse-Abbaukurven aus der *in situ*-Untersuchung wider. Die Getreidearten sind durch eine hohe Abbaurate charakterisiert (29 %/h), mit Ausnahme von Mais und Sorghum (7 und 6 %/h). Die Abbaurate der Leguminosen und Ölsaaten ist etwas niedriger (13 %/h); die Futtermittel mit der niedrigsten Abbaurate sind die Extraktionsschrote (8 %/h) und die getrockneten Nebenprodukte der Alkoholerzeugung (6 %/h). Mit beiden in der vorliegenden Arbeit untersuchten Methoden (CNCPS, *in situ*-Technik) kann das Nährstoffangebot für die Pansenmikroben gut dargestellt werden.

Schlüsselwörter: Cornell Net Carbohydrate and Protein System, Protein, Kohlenhydrate, *in situ*-Trockenmasse-Abbau, Kraftfutter

SUMMARY

Representative samples of the most important concentrates used in Austria were drawn at feed mills, at agricultural research institutes as well as on farms (n = 85). The feedstuffs were divided into 7 groups:

1. Cereals (barley, wheat, oat, rye, triticale, maize, CCM, high moisture corn, sorghum)
2. By-products (wheat meal, wheat bran, pressed beet pulp, dried beet pulp, soybean hulls)
3. Roots and tubers (fodder beet, potato, manioc)
4. Legume seeds and oil seeds (faba beans, peas, soybean, rapeseed, sunflower seed)
5. Oil meals (soybean meal 44 and 50 and protected, rapeseed meal, rapeseed meal protected, sunflower meal)
6. Oil cake (rapeseed cake, sunflower cake, pumpkin kernel cake, palm kernel cake)
7. By-products of alcohol and starch industry (brewer's ensiled grains, brewer's dried grains, wheat distiller's dried grains, maize distiller's dried grains, maize gluten feed, maize gluten meal)

Additionally to Weende crude nutrient analysis and Van Soest cell wall constituents, the *in situ* degradability was investigated using 4 rumen fistulated steers, based on the exponential model of ORSKOV & McDONALD (1979). Further, the protein and carbohydrate fractions according to the Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS, SNIFFEN et al. 1992) were analysed.

The feedstuffs and groups of feedstuffs differed significantly and typically in content of the 5 protein fractions (A, B₁, B₂, B₃, C; range of immediately soluble in the rumen to undegradable by rumen microbes). The 5 protein fractions were 22, 6, 49, 16 and 7 % of total N on average. The content of fraction A is especially high with ensiled concentrates (CCM, brewer's ensiled grains), in fresh roots and tubers (fodder beet, potato) as well as with legume seeds. On the other hand, there are higher proportions of fractions B₃ and C (slowly degradable and undegradable in the rumen) in dried products (brewer's dried grains, distiller's dried grains, dried beet pulp, maize), in "protected" protein concentrates as well as in rapeseed products. Approximately half of total protein is of medium degradability (B₂), there are however significant differences between the feedstuffs (impact of drying and species). The processing of feedstuffs (protection of protein, drying) results in a shift towards fractions of lower degradability. This corresponds well with the degradability data determined by the *in situ* nylon bag technique. The cereals are characterized by a high degradability rate (29 %/h), except for maize and sorghum (7 and 6 %/h). The degradability rate of legumes and oil seeds is somewhat lower (13 %/h), the feedstuffs of lowest degradability rate being oil meals (8 %/h) and dried by-products of the alcohol industry (6 %/h). Both procedures applied in the present investigation, the CNCPS and the *in situ* nylon bag technique, proved to be suitable methods to describe the nutrient supply to rumen microbes.

Keywords: Cornell Net Carbohydrate and Protein System, Protein, Carbohydrates, *in situ* dry matter degradation, concentrates

1 EINLEITUNG

Die Kohlenhydrate sind die wesentliche Energiequelle in der Ernährung sowohl der Wiederkäuer als auch der Pansenmikroben. 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 gezeigt, dass die Rohfaser allerdings 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 Pflanzenspezies 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 (Spezies) vor allem von der Konservierung und der technologischen Verarbeitung beeinflusst. Das Cornell Net Carbohydrate and Proteinsystem (CNCPS) unterscheidet 5 verschiedene Proteinfractionen 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 (ORSKOV 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).

Es ist daher nahe liegend, zur Beschreibung und Bewertung von Futtermitteln über die Weender Analyse hinaus die Gerüstsubstanzen (Van SOEST et al. 1991), die Kohlenhydrat- und Protein-Fractionen des CNCPS sowie auch die *in situ*-Abbaubarkeit zu untersuchen und die Werte gegenüber zu stellen. In der vorliegenden Publikation werden die Ergebnisse der in der Fütterungspraxis häufigsten Kraftfutter dargestellt. In weiteren Arbeiten ist auch die Untersuchung von Wiesenfutter und Silomais vorgesehen.

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 Futtermittel

Für die Untersuchungen wurden die in der Fütterungspraxis in Österreich wichtigsten Kraftfuttermittel ausgewählt (n = 38). Dabei wurde zwischen Energie- (n = 17) und Protein-

trägern (n = 21) unterschieden. Der Großteil der Proben wurde in Mischfutterwerken gezogen (Getreide, Extraktionsschrote, Importfuttermittel etc.), ein Teil der Proben kam direkt von Verarbeitungsbetrieben (Müllerei, Ölmühlen, Zucker- und Stärkeindustrie, Alkohol- und Gärungsgewerbe). Einige Proben wurden in landwirtschaftlichen Versuchsanstalten genommen (Futterrüben, Kartoffel, Getreide), auf landwirtschaftlichen Betrieben (CCM- und Maiskornsilage, Biertrebersilage) sowie in Lagerhäusern (Leguminosensamen, Ölfrüchte)⁴. Die Probenanzahl betrug 3 bzw. 2 pro Futtermittel (N = 85). Die Futtermittel wurden in 7 Gruppen eingeteilt:

1. Getreide (Gerste, Weizen, Hafer, Roggen, Triticale, Mais, CCM, Maiskornsilage, Sorghum-Hirse)
2. Nebenprodukte (Weizenfuttermehl, Weizenkleie, Pressschnitzel, Trockenschnitzel, Sojashalen)
3. Wurzeln und Knollen (Futterrübe, Kartoffel, Tapioka)
4. Leguminosen- und Ölsaaten (Ackerbohne, Erbse, Sojabohne, Raps, Sonnenblume)
5. Extraktionsschrote (Sojaextraktionsschrot 44 und 50 sowie geschützt, Rapsextraktionsschrot, Rapsextraktionsschrot geschützt, Sonnenblumenextraktionsschrot)
6. Ölkuchen und Expeller (Rapskuchen, Sonnenblumenkuchen, Kürbiskernkuchen, Palmkernexpeller)
7. Nebenprodukte (Gärungs- und Stärkeindustrie) (Biertrebersilage, Biertreber getrocknet, Weizenschlempe getrocknet, Maisschlempe getrocknet, Maizeglutenfeed, Maiskleber)

2.2 Analysen und Auswertung

2.2.1 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).

Die Kohlenhydrate werden wie folgt ermittelt:

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

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

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

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

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

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

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

⁴ Herrn Dipl.-Ing. Dr. Ch. Muraier (Garant-Tiernahrung GesmbH, 3380 Pöchlarn, NÖ) sei an dieser Stelle für die gewissenhafte und umsichtige Durchführung der Probenahmen aufrichtig gedankt.

Das Protein wird in 5 Fraktionen 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.

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

$$\text{SolXP} = A + B_1$$

$$A = \text{SolXP} - B_1 \quad [\text{NPN}]$$

$$B_1 = \text{SolXP} - A \quad [\text{Albumin, Globulin}]$$

$$C = \text{ADFIP}$$

$$B_3 = \text{NDFIP} - \text{ADFIP} \quad [\text{Extensin, Prolamin}]$$

$$B_2 = \text{XP} - (A + B_1 + B_3 + C) \quad [\text{Glutelin}]$$

2.2.2 *in situ*-Untersuchungen

Die *in situ*-Untersuchungen wurden nach den Vorgaben von ORSKOV et al. (1980), MICHALET-DOREAU et al. (1987), MADSEN & HVELPLUND (1994), HUNTINGTON & GIVENS (1995) und NRC (2001) durchgeführt. Die nylon bags wurden von der Firma Ankom (Maschenweite 53 µ; Fairport, New York, USA) gekauft. Das Verhältnis Einwaage zu Beutel-Oberfläche betrug etwa 15 mg pro cm², d.h. 6 g Probe pro Beutel (20 x 10 cm). Die Proben wurden lufttrocken eingewogen, feuchte Futtermittel und Silagen wurden gefriergetrocknet. Die Futtermittel wurden durch ein 2 mm-Sieb gemahlen. Für die Inkubationen wurden 4 pansenfistulierte Ochs (im Mittel 1.130 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 Maissilage; Kraftfutter: 35 % Gerste, 25 % Weizen, 15 % Trockenschnitzel, 15 % Sojaextraktionsschrot, 7 % Weizenkleie, 3 % Mineralstoffmischung). Die Inkubationszeiten waren mit 0, 2, 4, 8, 12, 20, 32 und 48 h festgesetzt, langsam abbaubare Futtermittel (z.B. Mais, Hirse, getrocknete und „geschützte“ Futter) wurden zusätzlich auch 72 und 96 h lang inkubiert, 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 ORSKOV & McDONALD (1979) ausgewertet. Eine Korrektur auf Grund von Partikelverlusten in den bags (WEISBJERG et al. 1990) wurde nicht vorgenommen:

$$\text{deg} = a + b * (1 - \exp(-c * t))$$

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

a = rasch und vollständig lösliche Fraktion (%)

b = unlösliche, potenziell abbaubare Fraktion (%)

c = Abbaurate (pro h)

Da die Abbaubarkeit wesentlich von der Passagerate im Verdauungstrakt beeinflusst wird, wurde auch die effektive Abbaubarkeit (ED₂, ED₅, ED₈) bei einer unterstellten Passagerate von k = 0.02, 0.05 bzw. 0.08 (pro h) nach den Angaben von ORSKOV & McDONALD (1979) errechnet [ED = a + (b * c) / (k + c)].

2.2.3 Statistische Analyse

Der Datencheck, die deskriptive Statistik und die Auswertung der *in situ*-Daten nach dem Modell von ORSKOV & McDONALD (1979) erfolgte mit dem Programm STAT-GRAPHICS Plus 5 (2000).

3 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

3.1 Rohnährstoffe und Gerüstsubstanzen

Die Gehalte an den Rohnährstoffen der Weender Analyse und den Van Soest-Gerüstsubstanzen sind in Tabelle 1 angeführt. Die Gehalte an den Rohnährstoffen entsprechen weitgehend den Angaben in den gängigen Tabellenwerken (DDR-Tabelle 1986, INRA 1989, MAFF 1992, DLG 1997, SAUVANT et al. 2004).

Die Proteingehalte der Getreidearten betragen 10 – 15 % der TM. Durch die Verarbeitung in der Mülerei (Gewinnung des Mehlkörpers) erhöhen sich die Proteingehalte auf etwa 20 % im Futtermehl und in der Kleie. Wurzeln und Knollen sind durch einen sehr niedrigen Proteingehalt von 5 – 8 % der TM gekennzeichnet. Der Proteingehalt der Leguminosensamen und Ölsaaten liegt im Bereich von 17 – 40 % der TM. Auch die Proteingehalte der verschiedenen Extraktionsschrote entsprechen üblichen Werten (z.B. 37 % für Sonnenblumen- und 52 % für Sojaextraktionsschrot 50). Hervorzuheben ist der hohe Proteingehalt des Kürbiskernkuchens von 63 % und des Maisklebers von 66 % der TM.

Während der Gehalt an Rohfett in den meisten Kraftfuttermitteln (in Getreide mit Ausnahme von Mais sowie in Wurzeln und Knollen) sehr niedrig ist, finden sich erwartungsgemäß in den Ölsaaten sehr hohe Fettgehalte (19 und 35 % in Sojabohnen bzw. Sonnenblumensamen). Ölkuchen weisen im Vergleich zu Extraktionsschroten höhere Fettgehalte auf, was sich aus dem Verarbeitungsprozess ergibt (Extraktionsmittel lösen das Öl in höherem Ausmaß als dies durch Pressen möglich ist (MENKE & HUSS 1987, JEROCH et al. 1993). Auch in den Biertrebern und Maisschlempen wurden relativ hohe Fettgehalte von 7 – 12 % ermittelt.

Auch die Gehalte an Rohfaser und den Van Soest-Gerüstsubstanzen werden im Vergleich zu Getreide in dessen Verarbeitungsprodukten angereichert. In Wurzeln und Knollen ist der Gehalt an Gerüstsubstanzen besonders niedrig (11 – 18 % NDF). Von den Ölfrüchten fällt der hohe Gehalt an Gerüstsubstanzen bei Sonnenblumensamen auf, was sich auch im Sonnenblumenextraktionsschrot niederschlägt. Bierteber (59 %) und ganz besonders Palmkernexpeller (73 %) weisen die höchsten Gehalte an Gerüstsubstanzen auf, was auch in besonders niedrigen Abbauraten und Abbaubarkeiten dieser Futtermittel resultierte. Die Futtermittel unterschieden sich auch hinsichtlich der Zusammensetzung der Gerüstsubstanzen. In den Getreidearten bestehen diese vorwiegend aus Hemizellulose. Bei Mühlennachprodukten, Biertrebern und Schlempen nimmt dagegen die Zellulose einen höheren Anteil ein. Bei Futterrüben, Press- und Trockenschnitzeln sowie Tapioka bestehen die Gerüstsubstanzen vorwiegend aus Zellulose, ebenso bei den Ölsaaten. Die Zusammensetzung der Gerüstsubstanzen der Extraktionsschrote ist dem Ausgangsmaterial (Ölsaaten) ähnlich. Bei den Ölsaaten und deren Verarbeitungsprodukten (Extraktionsschrote und Ölkuchen) ist der relativ hohe Anteil des Lignins hervorzuheben.

Tabelle 1: Gehalt der Futtermittel an Rohnährstoffen und Gerüstsubstanzen (n = 38)

FUTTERMITTEL	TM	XP	XL	XF	XX	XA	NDF	ADF	ADL	ZEL	HEM
ENERGIETRÄGER (n = 17)											
Getreidearten (Gruppe 1) (n = 9)											
Gerste	908	142	14	38	782	24	362	47	9	38	315
Weizen	914	154	13	23	790	20	196	43	9	34	153
Hafer	929	122	40	134	674	30	379	162	29	133	217
Roggen	914	119	11	25	825	19	234	45	16	29	189
Triticale	916	140	11	34	789	26	186	41	12	29	145
Mais	908	96	47	28	814	14	154	38	6	31	117
CCM-Silage	652	99	38	26	821	15	125	30	6	24	95
Maiskornsilage	804	106	37	33	810	14	201	33	10	23	168
Sorghum-Hirse	906	106	32	25	819	18	208	47	23	24	162
Nebenprodukte (Gruppe 2) (n = 5)											
Weizenfuttermehl	920	200	50	87	605	58	411	127	34	93	284
Weizenkleie	918	188	34	111	601	66	511	146	39	107	364
Pressschnitzel	319	90	7	189	657	57	419	238	12	226	181
Trockenschnitzel	934	117	7	165	613	98	400	227	24	202	174
Sojaschalen	925	193	50	301	400	56	538	365	24	341	174
Wurzeln und Knollen (Gruppe 3) (n = 3)											
Futterrübe	239	51	2	56	848	43	110	65	19	47	45
Kartoffel	246	81	2	30	810	76	175	41	15	26	134
Tapioka	931	54	6	80	798	62	153	104	28	76	49
PROTEINTRÄGER (n = 21)											
Leguminosensamen und Ölsaaten (Gruppe 4) (n = 5)											
Ackerbohne	920	331	10	92	528	39	317	123	42	82	193
Erbsen	907	223	9	73	660	35	398	108	5	103	290
Sojabohne	954	398	185	110	252	55	168	138	32	105	31
Rapssamen	973	206	351	249	151	44	252	236	55	181	16
Sonnenblumensamen	970	167	344	303	156	31	372	300	94	206	71
Extraktionsschrote (Gruppe 5) (n = 6)											
Sojaextraktionsschrot 44	932	472	17	83	347	82	167	121	18	103	45
Sojaextraktionsschrot 50	929	515	12	51	347	76	98	70	9	61	29
Sojaextraktionsschrot geschützt	925	496	10	42	376	76	262	67	9	58	194
Rapsextraktionsschrot	919	387	21	135	380	77	268	229	87	141	40
Rapsextraktionsschrot geschützt	884	388	25	121	383	83	314	226	92	135	88
Sonnenblumenextraktionsschrot	936	367	32	219	308	74	341	255	72	183	86
Ölkuchen bzw. Expeller (Gruppe 6) (n = 4)											
Rapskuchen	936	348	80	129	372	70	319	234	84	151	85
Sonnenblumenexpeller	952	332	41	210	348	69	382	275	91	184	107
Kürbiskernkuchen	939	627	118	48	89	118	131	64	8	55	67
Palmkernexpeller	944	184	89	215	466	46	730	440	138	303	289
Nebenprodukte (Gruppe 7) (n = 6)											
Biertrebersilage	258	270	88	170	421	51	561	219	58	161	342
Biertreber getrocknet	935	254	68	187	453	38	620	255	66	189	365
Weizenschlempe getrocknet	922	351	27	73	495	54	317	132	56	75	185
Maisschlempe getrocknet	920	292	116	77	466	48	332	108	41	67	223
Maizeglutenfeed	914	253	14	71	592	69	389	92	11	81	297
Maiskleber	903	655	18	18	280	29	66	31	3	29	35

TM = Trockenmasse (g/kg FM),

XP, XL, XF, XX, XA = Rohprotein, Rohfett, Rohfaser, N-freie Extraktstoffe, Rohasche (g/kg TM)

NDF, ADF, ADL, ZEL, HEM = Neutrale Detergenzienfaser, Saure Detergenzienfaser, Lignin,

Zellulose (ADF – ADL), Hemizellulose (NDF – ADF) (g/kg TM)

3.2 Kohlenhydrat- und Proteinfraktionen der Futtermittel nach dem CNCPS

Die Kohlenhydrate machen den überwiegenden Anteil der Energieträger aus (im Mittel 83 % der TM bei den Getreidearten, 75 % bei den Nebenprodukten, 87 % bei den Wurzeln und Knollen). Dagegen beträgt ihr Anteil bei den Eiweißfuttermitteln im Durchschnitt nur etwa 50 % der TM, was sich durch höhere Protein- und Fettgehalte dieser Futtermittel erklärt (36 bzw. 8 % der TM) (siehe Tabelle 2).

Bei den Getreidearten (mit Ausnahme von Hafer) sowie den Wurzeln und Knollen ist der Anteil der Nichtfaser-Kohlenhydrate (NFC) an den Kohlenhydraten (CHO) mit 76 bzw. 84 % der CHO besonders hoch, was ihre hohe Verdaulichkeit, Energiekonzentration und *in situ*-Abbaubarkeit erklärt. Im Zuge der Verarbeitung des Getreides (Müllerei, Alkoholerzeugung etc.) werden Nichtfaser-Kohlenhydrate (= Stärke) entnommen und somit Faser-Kohlenhydrate (FC) relativ angereichert. Die Nichtfaser-Kohlenhydrate machen bei den Nebenprodukten im Mittel nur 45 % der CHO aus. Auch bei den Proteinträgern gibt es große Unterschiede hinsichtlich der Zusammensetzung der Kohlenhydrate. Gegenüber den Leguminosen (Ackerbohne, Erbsen und Sojabohne) sowie Rapssamen weisen Sonnenblumensamen auf Grund ihres Schalenanteils mit 25 % einen besonders niedrigen Anteil an NFC (% der CHO) auf. Bei den Sojaextraktionsschroten fällt der hohe Anteil an NFC auf (im Mittel 79 % der CHO), was die bekannt hohe Verdaulichkeit dieser Produkte erklärt. Wie auch beim Ausgangsmaterial ist der NFC-Anteil bei Raps- und ganz besonders bei Sonnenblumenextraktionsschrot deutlich niedriger.

Die weitere Differenzierung der NFC in A (= Zucker) und B₁ (= Stärke) sowie der FC in B₂ (pansen-verfügbare FC) bzw. C (pansen-nichtverfügbare FC) nach dem Cornell-System ergibt hohe Stärkeanteile bei den Getreidearten (besonders bei Mais und mit Ausnahme von Hafer), während sich bei den Verarbeitungsprodukten des Getreides die Anteile der pansen-verfügbaren Gerüstsubstanzen erhöhen. Im Gegensatz zu allen anderen Energieträgern bestehen bei Futterrübe die NFC aus Zucker. Bei den Leguminosensamen und Ölsaaten ist der höhere Anteil an der Fraktion C (pansen-nichtverfügbare FC) hervorzuheben, der aus dem Ligningehalt * 2.4 errechnet wird. Dies zieht sich auch bei den aus diesen Ausgangsmaterialien hergestellten Extraktionsschroten und Ölkuchen durch. Allerdings weisen FOX et al. (2000) darauf hin, dass der Faktor 2.4 zur Errechnung von C nicht für jedes Futtermittel zutreffend ist (siehe Tabelle 2).

Die Ergebnisse der Proteinfraktionierung nach dem Cornell-System in 5 Fraktionen zeigen deutliche Unterschiede zwischen den Futtermitteln (Tabelle 2), die über die Herkunft (Spezies) und über die Konservierung bzw. Verarbeitung (Trocknung, Silierung, „geschütztes Protein“ etc.) zu erklären sind. Bei den meisten Futtermitteln (Getreide, Extraktionsschrote, Ölkuchen, Nebenprodukte der Alkoholherstellung) macht die Fraktion B₂ (mittlere Proteinabbaurate) den größten Anteil aus. Bei geschütztem Sojaextraktionsschrot geht dieser Anteil auf Kosten der Fraktion B₃ (niedrige Proteinabbaurate) zurück. Daran ist die gezielte technologische Bearbeitung zur Erhöhung des Anteils an unabgebautem Protein (UDP) deutlich zu erkennen. Raps- und Sonnenblumenextraktionsschrot weisen etwas niedrigere Anteile an der Fraktion B₂ und höhere Anteile der Fraktion A auf, was auf höhere Abbauraten hinweist, wie auch die *in situ*-Untersuchungen gezeigt haben. Die technologische Bearbeitung zur Erhöhung des UDP-Anteils bei Rapsextraktionsschrot führte ebenfalls zu einer Verschiebung der Proteinfraktionen, allerdings von A zu B₂. Bei den Leguminosen und Ölsaaten weisen Ackerbohne und Erbsen sowie Sonnenblumensamen hohe Anteile der Fraktion A auf, was einer hohen Proteinabbaurate gleichkommt. Dagegen ist Sojabohne (nicht nur Sojaextraktionsschrot) durch einen niedrigen Anteil der Fraktion A gekennzeichnet.

Tabelle 2: Kohlenhydrat- und Proteinfractionen der Futtermittel (CNCPS) (n = 38)

FUTTERMITTEL Fraktionen	KOHLENHYDRATE							PROTEIN				
	CHO	FC	NFC	A	B ₁	B ₂	C	A	B ₁	B ₂	B ₃	C
ENERGIETRÄGER (n = 17)												
Getreidearten (Gruppe 1) (n = 9)												
Gerste	820	319	501	6,1	55,0	36,2	2,7	14,3	2,3	52,8	28,2	2,5
Weizen	813	165	648	8,0	71,7	17,6	2,8	16,9	2,8	60,4	17,6	2,3
Hafer	808	351	457	5,6	50,9	34,9	8,6	23,2	3,5	50,9	20,0	2,4
Roggen	850	215	635	7,5	67,3	20,6	4,7	26,3	1,1	55,8	13,8	3,0
Triticale	823	160	663	8,1	72,6	16,0	3,4	22,7	3,7	54,8	16,9	1,9
Mais	843	142	701	1,2	81,9	15,0	1,8	21,2	3,3	62,4	2,5	10,6
CCM-Silage	848	119	729	4,3	81,7	12,4	1,7	47,4	0,7	45,6	4,3	2,0
Maiskornsilage	843	181	662	3,9	74,6	18,7	2,8	22,3	2,1	57,2	12,6	5,8
Sorghum-Hirse	844	173	671	7,9	71,5	14,0	6,5	12,7	2,7	51,8	21,8	11,0
Nebenprodukte (Gruppe 2) (n = 5)												
Weizenfuttermehl	692	386	306	4,4	40,0	43,8	11,7	38,4	7,7	41,3	9,8	2,7
Weizenkleie	712	457	255	1,9	33,9	51,0	13,3	29,4	5,1	36,9	26,0	2,5
Pressschnitzel	846	390	456	5,4	48,6	42,6	3,4	24,1	2,2	41,3	27,6	4,8
Trockenschnitzel	778	354	423	5,5	49,1	38,1	7,4	34,5	1,2	24,6	27,1	12,6
Sojaschalen	701	479	222	3,2	28,5	60,3	8,1	13,1	1,4	55,0	22,5	8,0
Wurzeln und Knollen (Gruppe 3) (n = 3)												
Futterrübe	904	107	797	88,2	0,0	6,9	4,9	65,3	8,3	20,3	3,5	2,7
Kartoffel	840	171	669	2,2	77,4	16,0	4,3	65,0	10,4	20,0	2,0	2,5
Tapioka	879	146	732	3,6	79,7	9,1	7,6	23,7	2,0	61,8	3,6	8,9
PROTEINTRÄGER (n = 21)												
Leguminosensamen und Ölsaaten (Gruppe 4) (n = 5)												
Ackerbohne	620	253	366	4,3	54,6	25,2	15,8	48,9	8,8	23,2	12,8	6,3
Erbsen	732	359	374	4,1	46,9	47,5	1,5	47,1	6,8	28,6	13,9	3,7
Sojabohne	361	110	251	6,9	62,5	9,3	21,3	19,9	4,8	60,7	1,8	12,8
Rapssamen	400	211	189	47,2	0,0	19,6	33,2	24,4	13,0	42,4	3,5	16,8
Sonnenblumensamen	458	344	114	25,0	0,0	25,7	49,3	33,4	13,9	36,1	10,4	6,2
Extraktionsschrote (Gruppe 5) (n = 6)												
Sojaextraktionsschrot 44	430	129	301	7,0	63,0	19,9	10,2	9,8	2,7	79,5	5,0	3,0
Sojaextraktionsschrot 50	397	71	327	8,2	74,0	12,4	5,4	8,4	2,5	83,7	2,6	2,8
Sojaextr.schrot geschützt	417	65	352	8,4	76,0	10,2	5,3	5,2	0,3	54,8	32,8	6,9
Rapsextraktionsschrot	515	218	298	57,7	0,0	1,6	40,6	23,5	4,3	59,1	4,9	8,2
Rapsextr.schrot geschützt	504	258	246	48,8	0,0	7,7	43,5	7,9	1,7	75,8	8,1	6,6
Sonnenblumenextr.schrot	527	310	217	41,0	0,0	25,9	33,1	30,2	2,1	59,4	4,5	3,9
Ölkuchen bzw. Expeller (Gruppe 6) (n = 4)												
Rapskuchen	502	217	285	56,8	0,0	3,2	40,0	18,6	0,6	51,2	11,0	18,5
Sonnenblumenexpeller	558	320	238	42,6	0,0	18,4	39,0	14,3	0,3	66,7	15,2	3,5
Kürbiskernkuchen	137	84	53	38,0	0,0	47,2	14,8	13,5	1,3	77,6	6,3	1,2
Palmkernexpeller	681	607	74	10,8	0,0	40,7	48,5	7,7	0,4	25,2	49,5	17,1
Nebenprodukte (Gruppe 7) (n = 6)												
Biertrebersilage	591	475	116	0,0	19,6	57,0	23,4	7,5	0,2	60,7	20,8	10,9
Biertreber getrocknet	640	521	119	0,0	18,5	56,7	24,8	7,6	0,3	52,7	23,3	16,1
Weizenschlempe getrocknet	568	217	351	0,0	61,8	14,5	23,7	11,8	0,3	59,6	20,2	8,0
Maisschlempe getrocknet	543	267	276	0,0	51,1	30,8	18,2	8,3	0,2	69,5	13,7	8,3
Maizeglutenfeed	663	360	303	0,0	45,6	50,3	4,1	62,8	0,6	25,0	10,1	1,6
Maiskleber	298	23	275	3,6	88,6	5,5	2,2	3,3	0,4	89,7	3,0	3,5

CHO, FC, NFC = Kohlenhydrate, Faser-Kohlenhydrate, Nichtfaser-Kohlenhydrate (g/kg TM)
A, B₁, B₂, B₃, C = Kohlenhydrat- bzw. Protein-Fractionen des CNCPS (% der CHO bzw. des XP)

Bei den Getreidearten liegt der Anteil der Fraktion A zwischen den Leguminosensamen und Extraktionsschroten. Besonders hoch ist der Anteil der Fraktion A bei Futterrüben und Kartoffeln (und auch Maizeglutenfeed). Es fällt auf, dass getrocknete Futtermittel (Mais, Trockenschnitzel, Tapioka, Biertreber, Getreideschlempen) relativ hohe Anteile an den Fraktionen B₃ und C (nicht verfügbares Protein) aufweisen. Durch Trocknen wird also die Proteinabbaurate herabgesetzt (Van SOEST 1982) und – im schlechten Fall – eine Hitzeschädigung hervorgerufen, wodurch das Protein für die Pansenmikroben unverfügbar wird (Maillard-Reaktion). Eine Sonderstellung nimmt Palmkernexpeller ein, dessen Protein zu 50 % in B₂ vorliegt und zu 17 % für die Pansenmikroben unverfügbar ist. Auch die *in situ*-Ergebnisse weisen eine geringe Abbaurate aus. Das in der vorliegenden Untersuchung dargestellte Spektrum an Kraftfuttermitteln ist breiter und vielfältiger als in der sog. Feed Library des CNCPS (FOX et al. 2000). Trotz gewisser Unterschiede zwischen den Werten der Proteinfractionen der Feed Library des CNCPS und der vorliegenden Arbeit in einigen Futtermitteln zeichnen sich grundsätzlich ähnliche Gehaltszahlen ab.

3.3 Ergebnisse der *in situ*-Untersuchungen

Die Ergebnisse der *in situ*-Untersuchungen sind in Tabelle 3 dargestellt.

Die Abbauraten (TM) der Getreidearten (außer Mais) betragen im Durchschnitt 30 %/h, die Abbauraten des Maises dagegen je nach Konservierung nur 10 %/h. Das Getreide mit der niedrigsten Abbaurate ist Sorghum-Hirse (6 %/h). Auch die Mühlennachprodukte (Weizenfuttermehl, Weizenkleie) zeigen hohe Abbauraten (25 und 17 %/h), dagegen werden Press- und Trockenschnitzel langsamer abgebaut (kein Einfluss der Konservierung, 10 %/h). Wurzeln und Knollen gehören ebenfalls zu den rasch abbaubaren Futtermitteln (16 – 19 %/h), ebenso die Leguminosensamen und Ölsaaten (10 – 16 %/h). Die typischen und häufigsten Eiweiß-Ergänzungsfutter (Extraktionsschrote, Ölkuchen) weisen dagegen eine wesentlich geringere Abbaurate der TM auf (im Durchschnitt 7 %/h). Doch innerhalb dieser Futtermittelgruppe zeigen sich Unterschiede, die auf Einflüsse der Spezies (Soja, Raps, Sonnenblume, Palmkern) und der Verarbeitung (Extrahieren, Pressen, geschütztes Protein) zurückzuführen sind. Die Abbauraten von Soja-, Raps- und Sonnenblumenextraktionsschrot betragen 7,4, 11,0 und 11,7 %/h. Die Behandlung mit Xylose zum „Schutz des Proteins vor der Fermentation“ im Pansen reduzierte die Abbaurate besonders bei Sojaextraktionsschrot, bei Rapsextraktionsschrot nur in einer von zwei Futtermittelherkünften (Erzeugungsbetrieben). In Expellern und Ölkuchen war die Abbaurate gegenüber Extraktionsschroten erniedrigt. Die Nebenprodukte der Alkohol- und Stärkeerzeugung wiesen niedrige Abbauraten auf, was vor allem auf die Trocknung zurückzuführen ist (Biertreber 7,6 %/h, Getreideschlempen 4,7 %/h, Maizeglutenfeed 5,5 %/h). Die niedrigsten Abbauraten von allen Futtermitteln zeigten Palmkernexpeller (2,7 %/h) und Maiskleber (0,7 %/h).

Die Getreidearten weisen nicht nur sehr hohe Abbauraten auf, sondern auch sehr hohe Abbaubarkeiten (im Mittel ohne Mais 90 %, Hafer 76 %, Mais 97 %). Die Fraktion a (sofort löslich) ist bei Hafer und CCM höher als bei den übrigen Getreidearten. Die Nebenprodukte der Müllerei sind auf Grund des höheren Gehaltes an Gerüstsubstanzen weniger abbaubar, Press- und Trockenschnitzel sowie Sojaschalen dagegen zeichnen sich durch eine dem Getreide vergleichbare Abbaubarkeit auf, was auf hohe Verfügbarkeit ihrer Gerüstsubstanzen schließen lässt. Die Wurzeln und Knollen sowie Leguminosensamen und Ölsaaten gehören zu den Futtermitteln mit höchster Abbaubarkeit (Ausnahme Sonnenblumensamen – 66 %, infolge des Schalenanteils). Der Anteil der Fraktion a an der Gesamtabbaubarkeit ist bei Wurzeln und Knollen besonders hoch. Die Abbaubarkeit von Sojaextraktionsschrot beträgt

Tabelle 3: *in situ*-Abbaubarkeit der Trockenmasse (n = 38)

FUTTERMITTEL	a	b	c	(a + b)	ED2	ED5	ED8
ENERGIETRÄGER (n = 17)							
Getreidearten (Gruppe 1) (n = 9)							
Gerste	30,2	61,8	0,308	91,9	88,0	83,0	78,8
Weizen	35,7	59,0	0,292	94,7	90,8	85,9	81,8
Hafer	49,5	26,7	0,253	76,2	74,2	71,7	69,7
Roggen	39,1	55,8	0,320	94,9	91,6	87,3	83,7
Triticale	34,5	59,0	0,326	93,5	90,0	85,5	81,7
Mais	22,6	74,5	0,070	97,0	80,2	65,7	57,1
CCM-Silage	64,5	32,5	0,131	97,1	92,7	88,0	84,7
Maiskornsilage	26,6	69,4	0,084	96,0	82,4	69,8	61,8
Sorghum-Hirse	26,2	72,0	0,061	98,2	80,2	65,6	57,2
Nebenprodukte (Gruppe 2) (n = 5)							
Weizenfuttermehl	34,8	43,7	0,245	78,5	75,2	71,1	67,8
Weizenkleie	35,0	40,1	0,171	75,1	70,8	65,9	62,2
Pressschnitzel	18,2	76,9	0,105	95,0	82,7	70,2	61,8
Trockenschnitzel	24,3	72,9	0,109	97,2	85,5	73,7	65,7
Sojaschalen	25,8	69,6	0,047	95,4	74,7	59,6	51,6
Wurzeln und Knollen (Gruppe 3) (n = 3)							
Futterrübe	77,3	21,2	0,164	98,5	96,2	93,6	91,6
Kartoffel	41,9	57,0	0,156	98,9	92,3	84,9	79,5
Tapioka	53,4	38,6	0,194	92,1	88,5	84,1	80,8
PROTEINTRÄGER (n = 21)							
Leguminosensamen und Ölsaaten (Gruppe 4) (n = 5)							
Ackerbohne	37,5	58,0	0,112	95,5	86,7	77,6	71,3
Erbsen	40,1	59,6	0,108	99,7	90,4	80,8	74,3
Sojabohne	29,0	70,6	0,099	99,6	87,7	75,9	68,1
Rapssamen	16,0	75,0	0,128	91,0	80,8	69,9	62,1
Sonnenblumensamen	35,4	30,5	0,157	65,9	62,4	58,5	55,6
Extraktionsschrote (Gruppe 5) (n = 6)							
Sojaextraktionsschrot 44	29,4	67,9	0,068	97,3	81,8	68,5	60,5
Sojaextraktionsschrot 50	31,4	67,3	0,079	98,7	85,1	72,6	64,8
Sojaextraktionsschrot geschützt	34,0	62,6	0,031	96,6	72,2	58,1	51,6
Rapsextraktionsschrot	32,2	50,4	0,110	82,6	74,8	66,8	61,4
Rapsextraktionsschrot geschützt	27,4	56,2	0,079	83,6	69,5	59,1	53,2
Sonnenblumenextraktionsschrot	23,0	55,1	0,117	78,2	70,1	61,7	55,8
Ölkuchen bzw. Expeller (Gruppe 6) (n = 4)							
Rapskuchen	33,3	44,7	0,053	78,0	65,2	55,8	50,7
Sonnenblumenexpeller	20,9	57,5	0,039	78,4	58,7	45,9	39,5
Kürbiskernkuchen	31,1	66,8	0,096	97,9	81,4	69,5	62,8
Palmkernexpeller	19,7	64,8	0,027	84,6	56,8	42,3	36,0
Nebenprodukte (Gruppe 7) (n = 6)							
Biertrebersilage	17,8	47,2	0,105	65,0	57,5	49,8	44,7
Biertreber getrocknet	10,7	51,0	0,076	61,7	51,1	41,5	35,6
Weizenschlempe getrocknet	34,8	52,1	0,047	86,9	71,4	60,1	54,1
Maisschlempe getrocknet	39,1	50,5	0,048	89,6	74,7	63,8	58,0
Maizeglutenfeed	47,6	44,0	0,055	91,6	79,9	70,6	65,5
Maiskleber	19,8	75,2	0,007	95,0	39,3	29,0	25,8

a = rasch und vollständig lösliche Fraktion (%)

b = nicht löslicher, potenziell abbaubarer Teil des Nährstoffs (%)

c = Konstante der Abbaurrate der Fraktion b je Stunde

(a + b) = potenziell abbaubarer Teil des Futters = potenzielle Abbaubarkeit (%)

ED = Effektive Abbaubarkeit (%) bei einer Passagerate des Futters von 0,02, 0,05 bzw. 0,08

nahezu 100 %, die der Rapsextraktionsschrote und -kuchen ist deutlich geringer (im Mittel 81 %). Die Abbaubarkeit der Biertreber (63 %) ist etwas niedriger als die der Mühlennachprodukte (77 %), wogegen die Getreideschlempen zu 88 % abbaubar sind.

In der Literatur gibt es zahlreiche Untersuchungen zum Abbau der TM *in situ*, wenn auch für die einzelnen Kraftfutter in unterschiedlichem Ausmaß (LINDBERG 1981, BONSEMBIANTE et al. 1990, FIEMS et al. 1990, SUSMEL et al. 1990, 1993 und 1999, TAMMINGA et al. 1990, AGUILERA et al. 1992, De PETERS et al. 1997, SÜDEKUM & ANDREE 1997, BATAJOO & SHAVER 1998, GOELEMA et al. 1998, OLAISEN et al. 2003, PRESTLOKKEN 1999, WOODS et al. 2003). Die Arbeiten stimmen dahingehend überein, dass Getreide und Mühlennachprodukte hohe Abbauraten aufweisen und Extraktionsschrote demgegenüber mit geringerer Geschwindigkeit abgebaut werden. Die Abbauparameter (a, b, c, ED) liegen in ähnlicher Größenordnung wie die in der vorliegenden Untersuchung festgestellten Werte. Auftretende Differenzen zwischen den Angaben verschiedener Autoren sind zum Teil auf Unterschiede in der Methodik der *in situ*-Technik zurückzuführen (MADSEN & HVELPLUND 1994).

Die vorliegenden *in situ*-Untersuchungen zeigen deutliche Unterschiede der Kraftfutter sowohl in der Abbaubarkeit als auch in der Abbaurate auf. Die Abbaurate spielt eine entscheidende Rolle für den Verlauf des pH-Wertes im Pansen und ist damit eine wichtige Grundlage bei der Gestaltung von wiederkäuergerechten Rationen. Mit beiden in der vorliegenden Arbeit untersuchten Methoden (CNCPS, *in situ*-Technik) kann das Nährstoffangebot für die Pansenmikroben gut dargestellt werden.

4 SCHRIFTTUM

- AGUILERA, J.F., M. BUSTOS und E. MOLINA, 1992: The degradability of legume seed meals in the rumen: effect of heat treatment. *Anim. Feed Sci. Technol.* **36**, 101-112
- ALVA (Arbeitsgemeinschaft landwirtschaftlicher Versuchsanstalten), 1986: 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.
- BATAJOO, K.K. und R.D. SHAVER, 1998: *In situ* dry matter, crude protein, and starch degradabilities of selected grains and by-product feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* **71**, 165-176
- 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
- BONSEMBIANTE, M., G. BITTANTE, M. RAMANZIN, G. COZZI und G. GUIDETTI, 1990: *in situ* dry matter degradation kinetics of feedstuffs for ruminants (*in Italienisch*). *Zoot. Nutr. Anim.* **16**, 381-392
- 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.
- FIEMS, L.O., B.G. COTTYN, C.V. BOUCQUE, J.M. VANACKER und F.X. BUYSSE, 1990: Effect of grain processing on *in sacco* digestibility and degradability in the rumen. *Arch. Anim. Nutr.* **40**, 713-721
- FOX, D.G., T.P. TYLUTKI, M.E. Van AMBURGH, L.E. CHASE, A.N. PELL, T.R. OVERTON, L.O. TEDESCHI, C.N. RASMUSSEN und V.M. DURBAL, 2000: The net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. CNCPS version 4.0, Model Documentation. Animal Science Mimeo 213, Department of Animal Science, Cornell University, 130 Morrison Hall, Ithaca, New York 14853-4801, USA, 237 S.

- FOX, D.G., L.O. TEDESCHI, T.P. TYLUTKI, J.B. RUSSELL, M.E. Van AMBURGH, L.E. CHASE, A.N. PELL und T.R. OVERTON, 2004: The Cornell net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Anim. Feed Sci. Technol.* 112, 29-78
- DDR-Futterbewertungssystem, 1986: Kennzahlen des Futterwertes und Futterbedarfes für Fütterung und Futterplanung. Autorenkollektiv. 5. Auflage, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, 328 S.
- DePETERS, E.J., J.G. FADEL und A. AROSEMENA, 1997: Digestion kinetics of neutral detergent fiber and chemical composition within some selected by-product feedstuffs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 67, 127-140
- DLG (Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft), 1997: DLG-Futterwerttabellen – Wiederkäuer. 7. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 212 S.
- GOELEMA, J.O., M.A.M. SPREEUWEENBERG, G. HOF, A.F.B. van der POEL und S. TAMMINGA, 1998: Effect of pressure toasting on the rumen degradability and intestinal digestibility of whole and broken peas, lupins and faba beans and a mixture of these feedstuffs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 76, 35-50
- 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.
- JEROCH, H., G. FLACHOWSKY und F. WEIßBACH, 1993: Futtermittelkunde. Gustav Fischer Verlag, Jena und Stuttgart, 510 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
- 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
- LINDBERG, J.E., 1981: Rumen degradation pattern of dry matter and nitrogenous compounds of some concentrates studied with the nylon-bag technique. *Swedish J. Agric. Res.* 11, 171-176
- 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.
- MENKE, K.-H. und W. HUSS, 1987: Tierernährung und Futtermittelkunde. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 3. Aufl., 424 S.
- 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.
- OLAISEN, V., T. MEJDELL, H. VOLDEN und N. NESSE, 2003: Simplified *in situ* method for estimating ruminal dry matter and protein degradability of concentrates. *J. Anim. Sci.* 81, 520-528
- ORSKOV, 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
- ORSKOV, 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
- PRESTLOKKEN, E., 1999: *In situ* ruminal degradation and intestinal digestibility of dry matter and protein in expanded feedstuffs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 77, 1-23
- RUSSELL, J.B., J.D. O'CONNOR, D.G. FOX, P.J. Van SOEST, C.J. SNIFFEN, 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. I. 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.
- 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.
- SUSMEL, P., B. STEFANON, C.R. MILLS und E. PIASENTIER, 1990: Use of different mathematical models and effect of milling and sieving on *in situ* rumen degradability of dry matter and nitrogen. *Zoot. Nutr. Anim.* 16, 157-156
- SUSMEL, P., C.R. MILLS, M. COLITTI und B. STEFANON, 1993: *In vitro* solubility and degradability of nitrogen in concentrate ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 42, 1-13
- SUSMEL, P., M. SPANGHERO und B. STEFANON, 1999: Interpretation of rumen degradability of concentrate feeds with a Gompertz model. *Anim. Feed Sci. Technol.* 79, 223-237
- SÜDEKUM, K.-H. und H. ANDREE, 1997: Evaluation of three rape seed commodities in the rumen of steers. 1. Degradation of dry matter and crude protein and disappearance of amino acids *in situ*. *J. Anim. Feed Sci.* 6, 23-40
- TAMMINGA, S., A.M. Van VUUREN, C.J. Van der KOELEN, R.S. KETELAAR und P.L. Van der TOGT, 1990: Ruminal behaviour of structural carbohydrates, non-structural carbohydrates and crude protein from concentrate ingredients in dairy cows. *Neth. J. Agric. Sci.* 38, 513-526
- 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.
- WOODS, V.B., F.P. O'MARA, A.P. MOLONEY, 2003: The nutritive value of concentrate feedstuffs for ruminant animals. Part I: *In situ* ruminal degradability of dry matter and organic matter. *Anim. Feed Sci. Technol.* 110, 111-130