

Universität für Bodenkultur, Wien

**Department für Lebensmittelwissenschaften und –technologie
Abteilung Tierische Lebensmittel, Tierernährung und Ernährungsphysiologie**

**Department für Nachhaltige Agrarsysteme
Institut für Nutztierwissenschaften**



**Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Irndning
Institut für Nutztierforschung**



**Futterbewertung von Kraftfuttermitteln auf Basis des
Cornell Net Carbohydrate and Protein Systems (CNCPS)
und der *in-situ*-Methode**

Diplomarbeit
eingereicht von
GERALD STÖGMÜLLER

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

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

Wien, im August 2005

Vorwort

*Gut Ding braucht Weile
oder
Der Aufwand hat sich gelohnt*

Um den vorgegebenen Versuch perfekt aufzuarbeiten, habe ich sehr viel Zeit investiert. Nach der praktischer Versuchsdurchführung, der Inkubation von Futtermitteln bei vier Versuchsochsen an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein und sechsmonatiger Literatursuche und Schreibearbeit, habe auch ich das Studium abgeschlossen. Den zeitlichen Vorsprung im Studium habe ich durch dieses aufwendige Projekt zwar eingebüßt, dafür konnte ich mich in das interessante Kapitel der Wiederkäuerverdauung vertiefen.

Diese Seite dient der Danksagung an all jene, die mich bei dieser Diplomarbeit, aber auch während meines gesamten Studiums unterstützt haben.

An erster Stelle danke ich Herrn Univ. Doz. Dr. Leonhard Gruber. Er hat mir dieses Thema für die Diplomarbeit angeboten, bereitete mir Daten auf, verpasste dieser Arbeit den „Feinschliff“ und beurteilte diese. Seine Fachkundigkeit wurde vielfach herangezogen, wenn die von Günter Maierhofer und mir am Ende angelangt war.

Ing. Günter Maierhofer danke ich für die vielen motivierenden Aufmunterungen. Günter musste viele meiner Ideen einbremsen, um nicht schlussendlich einen anderen Versuch zu erhalten. Er fusionierte alle Daten meines Projektes zu einem riesigen Datenpool. Dass er es war, den ich wöchentlich antelefonierte, um nach mehr als einem Jahr endlich meine Labordaten zu erhalten, liegt nicht allein in seiner Schuld.

Dank gilt dem Team des Chemielabors an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein. Sie mussten meine gewaltigen Probenmengen analysieren.

Vielen weiteren Personen der Forschungsanstalt ist noch für die Vorbereitung und Nachbereitung der Proben und die Betreuung der Versuchstiere zu danken.

Ao. Univ. Prof. Wilhelm F. Knaus war mein Zweitbetreuer auf der BOKU. Ihm danke ich für die fachliche Hilfe bei meinen spontanen Kurzbesuchen auf der Uni.

Vielen herzlichen Dank erntet meine Lebensgefährtin Bernadette. Sie unterstützte mich während meines gesamten Studiums erfreut mich immer durch ihre nette Art.

Meiner Familie danke ich für das Vertrauen in meine Arbeit und für die Verpflegung mit Nahrungsmitteln.

Danken möchte ich auch meinen Studienkollegen, meinen Musikkollegen und Freunden für die Unterstützung und Toleranz während meines Studiums.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
2	LITERATURÜBERSICHT	2
2.1	Nährstoff- und Futtermittelanalytik	2
2.2	Weender Futtermittelanalyse	3
2.3	Detergentienanalyse nach VAN SOEST	4
2.4	Das Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS)	5
2.4.1	Vorzüge des Systems	5
2.4.2	Die Kohlenhydratfraktionen	7
2.4.3	Die Proteinfraktionen	8
2.5	Der Pansenstoffwechsel	9
2.5.1	Anatomie der Vormägen	9
2.5.2	Besonderheiten der Wiederkäuerverdauung	10
2.5.3	Mikrobielle Verdauung in den Vormägen	11
2.5.4	Mikroorganismenpopulation in den Vormägen	11
2.5.5	Kohlenhydratfermentation	14
2.5.6	Proteinfermentation	16
2.5.7	Nährstoffgehalte und Abbauraten	17
2.5.8	Passagerate und Fermentation	18
2.5.9	Zusammensetzung des Mikrobenproteins	19
2.5.10	Kohlenhydrat- und Proteinverfügbarkeit	19
2.6	Die in-situ –Technik	20
2.6.1	Einführung in die Technik	20
2.6.2	Einflussfaktoren auf das Ergebnis	21
3	MATERIAL UND METHODEN	27
3.1	Futtermittel	27
3.1.1	Im Versuch analysierte Futtermittel	27
3.1.2	Energiereiche Kraftfuttermittel	28
3.1.3	Proteinreiche Kraftfuttermittel	32
3.1.4	Veränderung der Pansenverfügbarkeit	35
3.1.5	Behandlung von Futtermitteln	36
3.2	Ermittlung der Abbaubarkeit durch die in-sacco–Methode	37
3.2.1	Vorbereitung der Proben	37

3.2.2	Die Nylon-bags	37
3.2.3	Die Versuchstiere	38
3.2.4	Durchführung der Inkubation	39
3.2.5	Entnahme und weitere Behandlung	39
3.2.6	Mathematische Modelle	40
3.2.7	Rechenmodelle	41
3.3	Chemische Analyse	43
3.3.1	Chemische Parameter und Methoden	43
3.4	Statistische Auswertung	45
4	ERGEBNISSE UND DISKUSSION	46
4.1	Nährstoffgehalt und Fraktionen des CNCPS	46
4.1.1	Kohlenhydratfraktionen des CNCPS	56
4.1.2	Ergebnisse der Kohlenhydratfraktionierung	57
4.1.3	Proteinfraktionen des CNCPS	59
4.1.4	Ergebnisse der Proteinfraktionierung	60
4.2	TM-Abbauraten nach der in-situ Methode	62
4.2.1	Die Parameter des Abbaumodells	62
5	ZUSAMMENFASSUNG	83
6	ABSTRACT	84
7	LITERATURVERZEICHNIS	85

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.2-1	Weender Futtermittelanalyse	3
Abbildung 2.3-1	Nährstofffraktionen nach der Weender- und Van Soest-Analyse	5
Abbildung 2.4-1	Ermittlung der Stickstofffraktionen	9
Abbildung 2.5-1	Schematische Darstellung des Pansens	10
Abbildung 2.5-2	Bildung flüchtiger Fettsäuren	15
Abbildung 2.5-3	N-Umsetzung in den Vormägen	19
Abbildung 3.1-1	Einfluss der Zerkleinerung von Getreidekörnern auf den Abbau	36
Abbildung 3.2-1	Abbaukurve eines Futtermittels	42
Abbildung 4.1-1	Gehalte an Nährstoffen nach der Weender-Analyse	48
Abbildung 4.1-2	Nährstoffgehalte der Spezies Raps und Gerste	49
Abbildung 4.1-3	Nährstoffgehalte der Spezies Soja und Mais	49
Abbildung 4.1-4	Nährstoffgehalte der Spezies Weizen und Rübe	50
Abbildung 4.1-5	Gehalte an Gerüstsubstanzen	52
Abbildung 4.1-6	Gerüstsubstanzengehalte der Spezies Mais und Soja	53
Abbildung 4.1-7	Gerüstsubstanzengehalte der Spezies Gerste und Weizen	53
Abbildung 4.1-8	Absolute Gehalte an Kohlenhydratfraktionen	56
Abbildung 4.1-9	Kohlenhydratfraktionen innerhalb der Spezies Mais und Soja	58
Abbildung 4.1-10	Kohlenhydratfraktionen innerhalb der Spezies Gerste und Weizen	58
Abbildung 4.1-11	Absolute Gehalte an Proteinfractionen	59
Abbildung 4.1-12	Proteinfractionen innerhalb der Spezies Mais und Soja	61
Abbildung 4.1-13	Proteinfractionen innerhalb der Spezies Gerste und Weizen	61
Abbildung 4.2-1	<i>in-situ</i> -Abbaubarkeit der TM der einzelnen Futtermittel (a)	65
Abbildung 4.2-2	<i>in-situ</i> -Abbaubarkeit der TM der einzelnen Futtermittel (b)	66
Abbildung 4.2-3	<i>in-situ</i> -Abbaubarkeit der TM der einzelnen Futtermittel (c)	67
Abbildung 4.2-4	<i>in-situ</i> -Abbaubarkeit der TM der einzelnen Futtermittel (d)	68
Abbildung 4.2-5	<i>in-situ</i> -Abbaubarkeit der TM der einzelnen Futtermittel (e)	69
Abbildung 4.2-6	<i>in-situ</i> -Abbaubarkeit der TM der einzelnen Futtermittel (f)	70
Abbildung 4.2-7	<i>in-situ</i> -Abbaubarkeit der TM der einzelnen Futtermittel (g)	71
Abbildung 4.2-8	Vergleich der Abbaukurven verschiedener Autoren	72
Abbildung 4.2-9	Verlauf der effektiven Abbaubarkeit bei steigender Passagerate	76
Abbildung 4.2-10	Effektive Pansenabbaubarkeit bei einer Passagerate von 5%	77
Abbildung 4.2-11	<i>in-situ</i> -Abbaubarkeit der TM der einzelnen Futtermittel-Gruppen	78
Abbildung 4.2-12	<i>in-situ</i> -Abbaubarkeit der TM der Rohkomponenten und deren Verarbeitungsprodukte	81

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.2-1	Stoffgruppen nach der Weender-Analyse	4
Tabelle 2.4-1	Ermittlung der Kohlenhydratfraktionen	7
Tabelle 2.4-2	Ermittlung der Proteinfraktionen	9
Tabelle 2.5-1	Die wichtigsten Gruppen von Pansenbakterien	12
Tabelle 2.5-2	Wichtige Bakterienarten des Panseninhalts und ihre	13
Tabelle 2.5-3	Mikrobiologie des Pansensaftes	13
Tabelle 2.5-4	Anfall flüchtiger Fettsäuren durch verschiedene Futtermittel	15
Tabelle 2.6-1	Einfluss der Mahlfeinheit des Futtermittels	23
Tabelle 2.6-2	Vergleich von Methoden zur Messung der ruminalen Abbaubarkeit	26
Tabelle 3.1-1	Antinutritive Substanzen in Körnerleguminosen	32
Tabelle 3.1-2	Mögliche Behandlungen von Futtermittelgruppen	36
Tabelle 4.1-1	Gehalte der Futtermittel an Rohnährstoffen und Gerüstsubstanzen	47
Tabelle 4.1-2	Kohlenhydrat- und Proteinfraktionen der Futtermittel (CNCPS)	51
Tabelle 4.1-3	Vergleich der Gerüstsubstanzwerte verschiedener Autoren (1)	54
Tabelle 4.1-4	Vergleich der Gerüstsubstanzwerte verschiedener Autoren (2)	55
Tabelle 4.2-1	in-situ–Abbaubarkeit der Trockenmasse	64
Tabelle 4.2-2	Vergleich der ermittelten Kurvenparameter mit anderen Autoren	73
Tabelle 4.2-3	Vergleich der ermittelten Kurvenparameter mit anderen Autoren	74

Abkürzungsverzeichnis

ADF	acid detergent fiber
ADIP	acid detergent insoluble protein
ADL	acid detergent lignin
CNCPS	Cornell Net Carbohydrate and Protein System
FFS	flüchtige Fettsäuren
N	Stickstoff
NDF	neutral detergent fiber
NDF-P	in NDF enthaltenes Protein
NDIP	neutral detergent insoluble Protein
NFC	non-fiber carbohydrates, Nichtfaser Kohlenhydrate
NPN	Nichtprotein-Stickstoff
NSC	Nichtstrukturkohlenhydrate
P	Phosphat
SC	structural carbohydrates, Strukturkohlenhydrate
T, TM	Trockenmasse
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
XX	Stickstoff-freie Extraktstoffe

Weitere Abkürzungen sind im Text erklärt.

1 EINLEITUNG

Durch die Veredelung über Wiederkäuer können indirekt auch solche Futtermittel für die menschliche Ernährung genützt werden, die ein Säugetier mit seiner Enzymausstattung von Natur aus nicht selbst verdauen kann. Neben Grundfutter werden heutzutage häufig auch energie- und eiweißreiche Ackerfrüchte sowie Abfälle aus der industriellen Verarbeitung über die Wiederkäuer verwertet. Solche Krafftuttermittel werden in der Wiederkäuerfütterung bei hoher Leistung zur Deckung des Energie- und Eiweißbedarfes eingesetzt. Vorwiegend werden hier Getreide, Körnermais, Leguminosensamen, Ölsaaten und deren Verarbeitungsprodukte verfüttert. Auch Wurzeln und Knollen (Kartoffeln, Futterrüben etc.) und vor allem deren Verarbeitungsprodukte wie Trockenschnitzel, Melasse etc. können auf Grund ihrer pansenphysiologischen Wirkung zu den Krafftuttermitteln gezählt werden (STEINWIDDER und WURM 1999). Jedes dieser Futtermittel ist unterschiedlich zusammengesetzt. Daraus ergibt sich auch eine unterschiedliche Umsetzung und Wirkung im Pansen, im weiteren Verdauungstrakt sowie im Stoffwechsel der Tiere. Eine wirtschaftliche und langfristig erfolgreiche Tierproduktion setzt eine bedarfsgerechte Fütterung voraus (DACCORD 1992). Neben der richtigen Einschätzung des physiologischen Nährstoffbedarfes ist aber auch das Nährstoffliefervermögen der Futtermittel zu ermitteln.

Die klassische Weender Futtermittelanalyse wird heute in zunehmendem Maß durch weiter reichende Futterbewertungssysteme (z.B. AFRC 1993, FOX et al. 2000 (CNCPS), NRC 2001) ersetzt. Verbessert wurde diese Analysenmethode durch eine zutreffendere Auftrennung der kritisierten Kohlenhydratfraktionen (Rohfaser, Stickstoff-freie Extraktstoffe) über die so genannte Detergentien-Analyse nach VAN SOEST. Um die verdauungsphysiologischen Vorgänge der verschiedenen Stoffgruppen in ein Rechenmodell zu fassen, wurde von Wissenschaftlern der Cornell Universität (USA) das Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) entwickelt. Um dieses Bewertungssystem für die Produktionsbedingungen in Österreich zu adaptieren, wurden im vorliegenden Projekt die Gehalte an den Nährstofffraktionen des CORNELL-Systems von den wesentlichsten Krafftuttermitteln ermittelt.

Eine weitere wichtige Informationsquelle über den Futterwert ist das Ausmaß sowie die Geschwindigkeit des Nährstoffabbaues im Pansen. Zur Bestimmung dieser Parameter wird seit Jahren die so genannte *in-situ*-Methode herangezogen (u.a. NOCEK 1988, ØRSKOV und RYLE 1990). Die ermittelten Abbauraten der einzelnen Fraktionen erlauben eine Aussage über die zeitliche Verfügbarkeit von Nährstoffen für die Pansenmikroben im Tagesverlauf (SINCLAIR et al. 1993, BLANK et al. 1998, DLG 2001, FOX et al. 2000). In der vorliegenden Arbeit wurde die *in-situ*-Abbaubarkeit von 34 verschiedenen Krafftuttermitteln ermittelt.

Die bestmögliche Fütterung von Hochleistungskühen erfordert eine gut funktionierende Pansentätigkeit (DE BRABANDER et al. 1999a). Die Anforderungen an die Fütterung und Ration erhöhen sich mit der Leistung der Tiere, da das Futteraufnahmevermögen

nicht in gleichem Ausmaß ansteigt wie die Milchleistung oder der Fleischansatz (GRUBER et al. 1995). Bei hohen Leistungen stößt der Stoffwechsel der Tiere an seine Grenzen und ist in diesem Zustand sehr empfindlich auf Fehler in der Nährstoffversorgung. Die Energiekonzentration einer Futterration kann sowohl über eine höhere Grundfutterqualität als auch über einen höheren Krafffutteranteil verbessert werden. Zur Abdeckung des Nährstoffbedarfes bei sehr hohen Leistungen sind beste Grundfutterqualität und ein hoher Krafffutteranteil Voraussetzung (GRUBER et al. 1995).

Die Futterkosten machen in der Milchproduktion je nach Bestandesgröße 18 – 28% der gesamten Produktionskosten aus (PFINGSTNER 1993). Der Deckungsbeitrag pro Kuh erhöht sich mit steigender Milchleistung bzw. steigendem Krafffuttereinsatz wegen der in einigen Bereichen auftretenden Kostendegressionen (BMLF 1994, GRUBER 1995). Die Produktionskosten je kg Milch vermindern sich jedoch nur vom niedrigen bis zu mittleren Leistungsbereich deutlich; ab 6.000 kg Milch sinken die Produktionskosten wegen progressiv steigender Kosten für das Krafffutter nur noch unwesentlich (PFINGSTNER 1993).

Die tierische Veredelungswirtschaft in Österreich ist durch natürliche Produktionsbedingungen und eine bäuerliche Besitzstruktur geprägt (GRÜNER BERICHT 2004). Der Produktionswert tierischer Erzeugnisse nahm an der Landwirtschaft 2003 mit 45,6% einen bedeutenden Stellenwert ein. Die Milchproduktion (14,6%), die Rinder- und Kälbererlöse (13,5%) zusammen mit der Schaf- und Ziegenproduktion stellten mehr als ein Viertel der Gesamtwirtschaft des Agrarsektors in Österreich (GRÜNER BERICHT 2004). Von den insgesamt 2.052.033 Rindern (GRÜNER BERICHT 2004, Stichtag 1.12.2003) entfielen 800.980 auf Kühe insgesamt. Weitere 325.495 Schafe und 54.607 Ziegen ergänzten die Sparte der Wiederkäuer.

2 LITERATURÜBERSICHT

2.1 Nährstoff- und Futtermittelanalytik

Die Futtermittelanalyse dient dem Zweck, die chemische Zusammensetzung der Futtermittel zu bestimmen und auf diesem Weg ihren Futterwert zu beschreiben. Chemische Untersuchungsmethoden und Informationen über die Zusammensetzung der Futtermittel sind zur Basis der wissenschaftlichen Fütterung geworden und haben entscheidenden Anteil am erreichten Leistungsniveau der modernen Tierproduktion (JEROCH et al. 1993). Die Wertbestimmung eines Futtermittels über die chemische Analyse ist aber nur mit Einschränkungen realisierbar, denn der materielle, aber auch der finanzielle Aufwand für eine vollständige Analyse wirkt der Genauigkeit entgegen. Bei der Futtermittelanalyse sind Kompromisse unumgänglich und deshalb müssen Stoffgruppen gebildet werden, welche in Hinblick auf Verdaulichkeit, Gehalt an speziellen Inhaltsstoffen und Energiegehalt ähnlich sind (JEROCH et al. 1999).

2.2 Weender Futtermittelanalyse

Im Jahr 1860 wurde von den Professoren HENNEBERG und STOHMANN in Weende bei Göttingen diese bis heute in vielen Labors angewandte Methode der Futtermittelanalyse erarbeitet (GRANZ et al. 1990). Noch heute ist die Fütterungslehre vieler Länder darauf aufgebaut. Bei der Weender Futtermittelanalyse werden neben der Trockenmasse (T) folgende **Stoffgruppen** chemisch-analytisch bestimmt. Die Fraktion der Stickstoff-freien Extraktstoffe (XX) wird rechnerisch als Rest bestimmt.

Rohasche (XA)
Rohprotein (XP)
Rohfett (XL)
Rohfaser (XF)

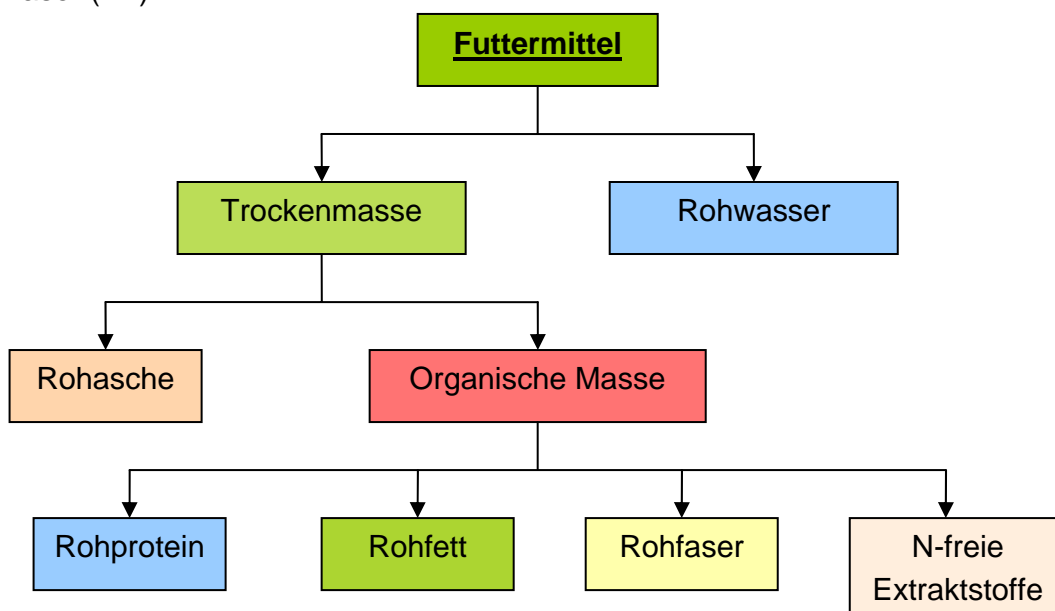


Abbildung 2.2-1 **Weender Futtermittelanalyse**
(nach GRANZ et al. 1990)

Die Weender Futtermittelanalyse birgt gewisse Schwachstellen. Fälschlicherweise werden Nährstoffe mit unterschiedlichem ernährungsphysiologischem Wert pauschal in Stoffgruppen gefasst. Durch die indirekte Bestimmung von Rohwasser und XX kann es zu einer Summierung von Analysefehlern kommen. Weiters werden keine Informationen zum Gehalt wichtiger Nährstoffe, wie z. B. bestimmter Aminosäuren oder Zucker, gemacht. Die Kohlenhydrate werden in Hinblick auf den Nährwert zu ungenau differenziert, denn der leichter lösliche Teil der Gerüstsubstanzen wird zu XX gezählt. Da diese Gerüstsubstanzen aber nur bakteriell und insgesamt schlechter verdaulich sind als Stärke und Zucker, kommt es hier zu einer Fehleinschätzung der Nährstoffverwertbarkeit (JEROCH et al. 1999).

Tabelle 2.2-1 **Stoffgruppen nach der Weender-Analyse**
(nach McDONALD et al. 1989)

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

2.3 Detergentienanalyse nach VAN SOEST

Die Detergentienanalyse stellt eine Erweiterung und Verbesserung der Weender Futtermittelanalyse dar. VAN SOEST entwickelte 1967 dieses Analysenverfahren zur Erfassung und stofflichen Differenzierung der Zellwandkomponenten.

Die Summe der Gerüstsubstanzen bezeichnet er als NDF (neutral detergent fiber). Es ist der in neutraler Detergentienlösung (Na-Laurylsulfat, EDTA, pH 7) nicht lösliche Rückstand des Futtermittels. Die NDF-Fraktion beinhaltet Hemizellulose, Zellulose, Lignin und Asche. Der restliche Teil der Kohlenhydrate besteht vor allem aus Stärke und Zucker und wird auch als NFC (non fiber carbohydrates) bezeichnet.

Kocht man die Futtermittelprobe mit schwefelsaurer Detergentienlösung (Cetyltrimethylammoniumbromid in 1 N H₂SO₄), verbleiben im wesentlichen Zellulose, Lignin und Asche als Rückstand. Die so erhaltene Fraktion wird als ADF (acid detergent fiber) bezeichnet.

Bei weiterer Behandlung mit höher konzentrierter (72%) Schwefelsäure wird auch die Zellulose hydrolysiert. Der Rückstand ist ADL (acid detergent lignin) mit den Komponenten Lignin und Asche.

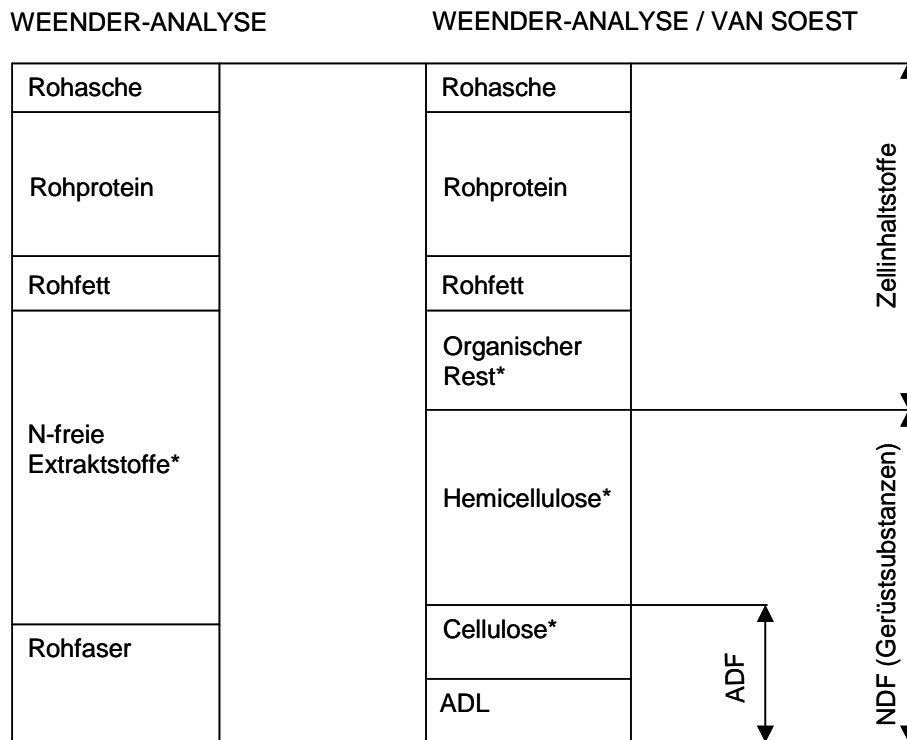
Da bei diesen Stoffgruppen nur der unlösliche organische Rest von Interesse ist, muss jeweils der Anteil der Rohasche abgezogen werden. Auch bei dieser Methode werden jedoch nur Stoffgruppen und keine chemisch definierten Substanzen erfasst.

Stoffgruppen der Detergentienanalyse:

- NDF: enthält Asche, Lignin, Zellulose, Hemizellulose
- ADF: enthält Asche, Lignin, Zellulose
- ADL: enthält Asche, Lignin

Ermittlung der Komponenten:

- Hemizellulose = NDF – ADF
- Zellulose = ADF – ADL
- Lignin = ADL – Asche



* durch Differenz errechnet

Abbildung 2.3-1 Nährstofffraktionen nach der Weender- und Van Soest-Analyse

2.4 Das Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS)

2.4.1 Vorzüge des Systems

Die Anfänge des Cornell Net Carbohydrate and Protein Systems (CNCPS) reichen bis in die 70-er Jahre zurück, als an der Cornell University in Ithaca, New York, eine Gruppe

von Wissenschaftlern unter Leitung von Prof. D.G. FOX begann, ein dynamisches Modell zur Optimierung der Rationsgestaltung bei Rindern zu entwickeln (KNAUS 2000). GILL et al. (1989) beschreiben das Modell als einen integrierten Satz von Gleichungen und Koeffizienten, der eine Vielzahl von physiologischen Funktionen in Rindern beschreibt. Das Modell beinhaltet die Abschätzung des Nährstoffbedarfs für Körpererhaltung, Wachstum, Trächtigkeit, Laktation und Bildung von Körperreserven einerseits und die Abschätzung der notwendigen Nährstoffversorgung aus Trockenmasseaufnahme, Menge der verschiedenen Kohlenhydrat- und Proteinfractionen und deren charakteristische Verdauungs- und Passageraten, mikrobielles Wachstum, Verdauung im Dün- und Dickdarm, sowie den Stoffwechsel der absorbierten Nährstoffe zur Bedarfsdeckung andererseits (KNAUS 2000).

Die Nährstofftabellen des NRC (National Research Council) oder der DLG (Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft) sind für moderne Futterberechnungsmodelle nicht ausreichend detailliert, da die Vielzahl der beeinflussenden umweltbedingten Variablen nicht berücksichtigt wird (CUNHA 1987). Verschiedene Rinderrassen werden unter zum Teil sehr unterschiedlichen Bedingungen gehalten und mit Futtermitteln verschiedener Energie- und Proteingehalte auf Grund unterschiedlicher Bodenarten, Düngungsintensität, Pflanzengesellschaften, Ernteverfahren und Lagerungsbedingungen gefüttert. Bei vereinfachten Berechnungsverfahren werden die Futterwerte, die unter standardisierten Bedingungen ermittelt wurden, für diese unterschiedlichsten Bedingungen herangezogen. Das Körperendgewicht, das Entwicklungsstadium, der Kraftfutteranteil, die Rasse, das Geschlecht, die Futterbereitung und das Fütterungsmanagement üben ebenso einen Einfluss auf die Körperkonditionsentwicklung aus (FOX und BLACK 1984, NRC 1984, OLTJEN et al. 1986). Die Möglichkeit eines Tieres, zu seinen benötigten Nährstoffen zu kommen, hängt einerseits vom Energie- und Proteinangebot in der Ration ab, welches im Pansen von den Mikroben fermentiert werden kann, und andererseits vom Verhältnis der Mikrobenmasse zu unabgebautem Futter, welches die Pansenfermentation umgeht. Der ruminale und postruminale Abbau von Nährstofffraktionen hängt nicht nur von der Gesamtkonzentration an verschiedenen Kohlenhydraten und Proteinfractionen der Ration ab, sondern ebenso vom Mengenverhältnis, in welchem ihre Abbauprodukte anfallen (FOX et al. 1990).

Die Futterverwertung einer Rinderration wird bestimmt von den absoluten Mengen an Rohnährstoffen, den Protein- und Kohlenhydratabbauraten im Pansen, der Passagerate der einzelnen Futtermittelfractionen, der Bakterienerhaltungsrate, dem maximalen Bakterienertrag, der Rate der ruminalen Ammoniakproduktion, der Darmverdaulichkeit und von Umweltbedingungen (FOX et al. 1990).

Die Zuverlässigkeit einer Ration als ein entscheidender Faktor der tierischen Leistung baut auf einer genauen Charakterisierung der Futtermittel in Hinblick auf Nährstoffzusammensetzung, Abbauraten und Passageraten auf (FOX et al. 1990). Die Genauigkeit einer brauchbaren Rationsgestaltung hängt ab von einer realistischen Einschätzung von Trockenmasse, Fett, Asche, Protein- und Kohlenhydratanteilen mengenmäßig, aber auch von deren zeitlicher Verfügbarkeit.

Die Kohlenhydrate und Proteine werden nach dem CORNELL-System auf der Grundlage ihrer ruminalen Abbaubarkeit und der Verdaulichkeitscharakteristika weiter in Untergruppen geteilt.

2.4.2 Die Kohlenhydratfraktionen

Die Strukturkohlenhydrate (SC) eines Futtermittels werden über NDF, ADF und ADL ermittelt. Den restlichen Teil der Kohlenhydrate bilden Nichtstrukturkohlenhydrate (NSC). Im CNCPS werden die Kohlenhydrate nach deren Abbauraten klassifiziert. Die Fraktionen A und B₁ zählen zu den Nichtstrukturkohlenhydraten, die Fraktionen B₂ und C sind Strukturkohlenhydrate.

Fraktion A wird schnell abgebaut und besteht aus Zucker und organischen Säuren. Der Gehalt an Zucker ist in den meisten Rationen gering.

Fraktion B₁ wird mittelschnell abgebaut und setzt sich zusammen aus Stärke und Pektin. Stärke ist ein Hauptbestandteil von Getreide. Stärke von Silagen wird rasch abgebaut, Stärke von getrocknetem Getreide kann einen beträchtlichen Teil an unlöslicher Stärke beinhalten. Hohe Gehalte an Pektinen weisen Leguminosen, Zitrusrester und Zuckerrüben auf.

Fraktion B₂ wird langsamer abgebaut und besteht aus verfügbaren Zellwandkohlenhydraten.

Fraktion C ist das unabbaubare Zellwandmaterial. Diese Fraktion der unabbaubaren Fasern enthält das nicht verwertbare ADL.

Tabelle 2.4-1 **Ermittlung der Kohlenhydratfraktionen**
(nach SNIFFEN et al. 1992)

A	=	Zucker
B ₁	=	Stärke und Pektin
B ₂	=	$NDF - (NDF - P - ADL \times 2,4)$
C	=	$ADL \times 2,4$

2.4.3 Die Proteinfractionen

Die Weender Futtermittelanalyse sieht das Rohprotein als eine einheitliche Fraktion. Da bei der Analyse nach Kjeldahl neben echtem Protein auch andere N-hältige Substanzen erfasst werden, diese aber eine andere Pansenverfügbarkeit als echtes Protein aufweisen, ist diese Vorgehensweise sehr ungenau.

Nach dem CNCPS wird das Rohprotein in 5 Fraktionen unterschiedlicher Proteinabbaurate aufgeteilt.

Fraktion A ist Nichtprotein-Stickstoff (NPN). NPN wird im Pansen schnell in Ammoniak umgebaut.

Fraktion B₁ ist im Pansen schnell abgebautes echtes Protein. Es wird im Pansen vollständig abgebaut (McDONALD et al. 1989, PIAKTOWSKI et al. 1990, SNIFFEN et al. 1992, JEROCH et al. 1999).

Die Fraktionen A und B₁ werden durch Lösung in einem Phosphat-Borat-Puffer bestimmt (=lösliches Protein). Die Fraktion B₁ wird in TCA (Tri-Chlor-Essigsäure) gefällt (TCA-Präzipitat). Die Fraktion A errechnet sich aus der Differenz Lösliches Protein – B₁.

Fraktion B₂ ist echtes Protein mit einer mittleren Abbaugeschwindigkeit. Diese Fraktion wird rechnerisch ermittelt als die Differenz zwischen Rohprotein und den vier weiteren Proteinfractionen.

Fraktion B₃ ist das langsam abgebaute echte Protein. B₃ ist in der Zellwand enthalten, es ist aber nicht fest gebunden, sodass es noch abbaubar ist. Ein großer Teil dieser Fraktion umgeht die Pansenfermentation. Die Fraktion B₃ ist der in neutralen Detergentienlösungen unlösliche Teil (NDIP) minus Fraktion C.

Fraktion C ist unerreichbares, zellwandgebundenes Protein. Es setzt sich zusammen aus an Lignin gebundenem Protein, Tannin-Protein-Komplexen und Produkten der Maillardreaktion. Die Fraktion C kann von Pansenbakterien nicht abgebaut werden und liefert im Dünndarm keine Aminosäuren (KRISHNAMOORTHY et al. 1982). Höhere Anteile an gebundenem oder unabbaubarem Protein enthalten überständiges Heu, getrocknete Luzerne, Zitrustrester, Weizenschlempe, Biertreber (WALDO und GOERING 1979). Die Fraktion C ist in saurer Detergentienlösung unlöslich (ADIP).

Tabelle 2.4-2 **Ermittlung der Proteinfractionen**
(nach SNIFFEN et al. 1992)

A	=	NPN
B ₁	=	lösliches, echtes Protein
B ₂	=	Rohprotein – (A + B ₁ + B ₃ + C)
B ₃	=	(NDF-N – ADF-N) * 6,25 (= NDIP)
C	=	ADF-N * 6,25 (= ADIP)

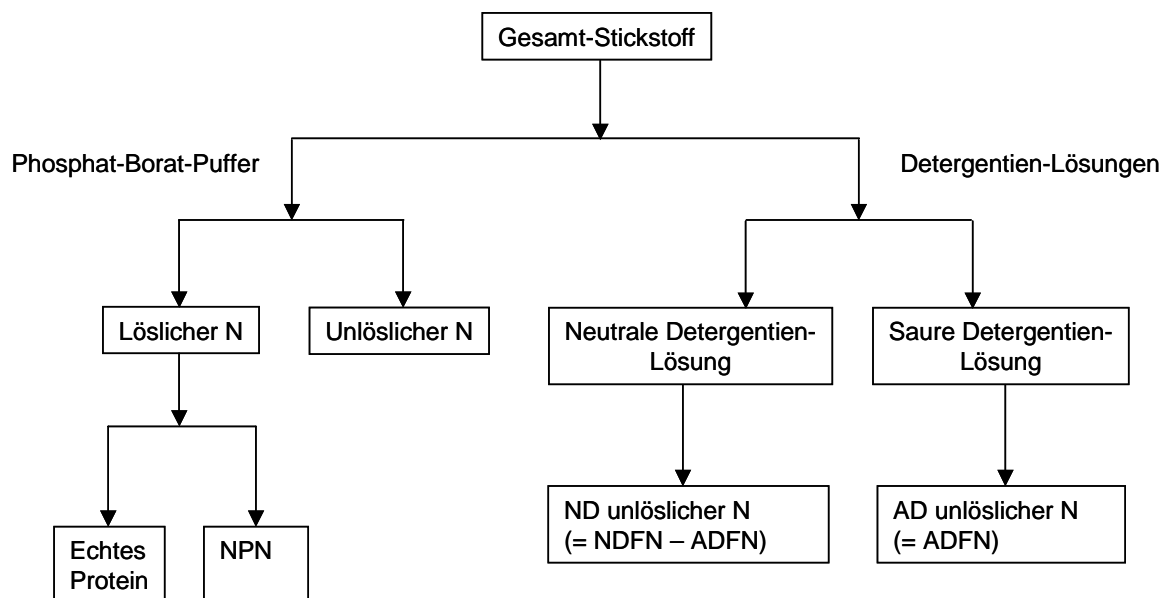


Abbildung 2.4-1 **Ermittlung der Stickstofffraktionen**
(nach KRISHNAMOORTHY et al. 1982)

2.5 Der Pansenstoffwechsel

2.5.1 Anatomie der Vormägen

Die domestizierten Wiederkäuer Rind, Schaf und Ziege verfügen über einen sehr großen Magen-Darm-Kanal. Der größte Anteil wird dabei von den Vormägen eingenommen, die aus dem Pansen (Rumen), dem Netzmagen (Haube, Reticulum) und dem Blättermagen (Psalter, Omasum) bestehen. Das gesamte Vormagensystem eines erwachsenen Rindes fasst durchschnittlich 200 l, wobei davon rund 80% auf den Pansen entfallen (KOCH und BERG 1990). Während die drei Vormägen mit drüsenloser kutaner

Schleimhaut ausgekleidet sind, stellt der Labmagen (Abomasum) den eigentlichen Drüsenmagen dar (LÖFFLER 1994).

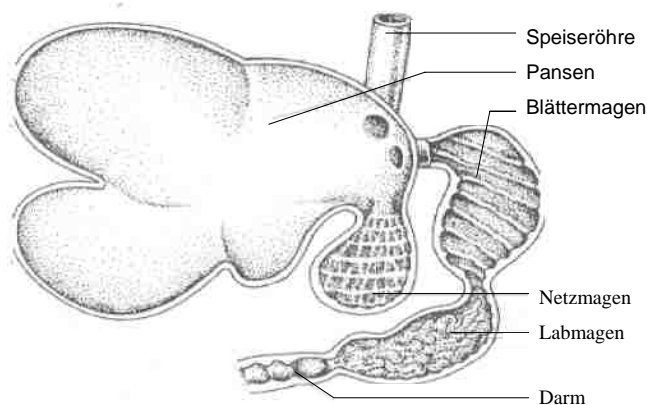


Abbildung 2.5-1 **Schematische Darstellung des Pansens**
(nach Homepage: de.wikipedia.org)

2.5.2 Besonderheiten der Wiederkäuerverdauung

Da der großräumige Vormagenabschnitt über keine Wanddrüsen verfügt, geschieht im Pansen kein Abbau über körpereigene Enzyme. Der physikalische und chemische Abbau der Futtermittel erfolgt hier alleine durch mikrobielle Enzyme. Die sehr dichte mikrobielle Besiedlung der Vormägen setzt sich hauptsächlich aus anaeroben Bakterien und Protozoen sowie auch Pilzen zusammen. Der Abbau der Nährstoffe erfolgt in erster Linie durch die Pansenmikroorganismen und führt gewöhnlich über die Stufe der Bausteine hinaus. Zusätzlich kommt es auch zur Bildung neuer mikrobieller Proteine, Fette und Kohlenhydrate als Mikrobenmasse. Diese Mikrobenmasse wird mit Substanzen, die nicht in den Vormägen abgebaut wurden, gemeinsam im Dünndarm von körpereigenen Enzymen verdaut. Die Verweildauer des Futters im Magen-Darm-Kanal ist bei Wiederkäuern sehr hoch. Um ein geeignetes Pansenmilieu zu erreichen, werden große Flüssigkeitsmengen von rund 150 Litern über den Speichel bereitgestellt. Durch das Wiederkauen erreichen die Wirtstiere (=der Wiederkäuer) eine intensive Zerkleinerung der Futterpartikel, was die Angriffsfläche für die Mikroorganismen des Pansens erhöht. Es kommt zu einer regelmäßigen Durchmischung des Panseninhaltes durch Pansenkontraktionen (7 – 12 in 5 Minuten beim Rind). Die anfallenden Gärgase werden regelmäßig über die Speiseröhre beim sog. Ruktus abgegeben (5 – 8 in 5 Minuten beim Rind). Eine kontinuierliche Entfernung von mikrobiellen Stoffwechselendprodukten (flüchtige Fettsäuren) durch Absorption über die Pansenschleimhaut und die Abpufferung des Panseninhaltes durch NaHCO_3 des Speichels verhindern einen zu tiefen pH-Wert, der die Lebensbedingungen für die Mikroben im Pansen verschlechtern würde (McDONALD et al. 1989, PIATKOWSKI et al. 1990, JEROCH et al. 1999).

2.5.3 Mikrobielle Verdauung in den Vormägen

Die Vormägen fungieren als Gärbehälter, in denen das Futter über längere Zeit verweilt. Die mikrobielle Verdauung geht langsamer vor sich als der Aufschluss durch körpereigene Verdauungsenzyme. Menge und Art der ruminalen Fermentationsprodukte beruhen auf den Arten und der Aktivität der Mikroorganismen im Pansen. In den Vormägen unterliegen die Futtermittel einer komplexen Einwirkung mikrobieller Enzyme. Dadurch werden die Nährstoffe über die Bausteine hinaus abgebaut, wobei aus Kohlenhydraten flüchtige Fettsäuren, aus Proteinen Ammoniak und flüchtige Fettsäuren und aus Fetten flüchtige und auch langkettige Fettsäuren entstehen. Flüchtige Fettsäuren, Ammoniak, verschiedene anorganische Ionen sowie Wasser, jedoch nicht die langkettigen Fettsäuren, werden in unterschiedlichem Umfang von der Pansen-schleimhaut absorbiert (PIATKOWSKI et al. 1990). Die Pansenmikroben bilden durch ihr Wachstum und bei ihrer Vermehrung mikrobielle Proteine, Nukleinsäuren, Fette und Kohlenhydrate, die anschließend im Labmagen und Dünndarm von körpereigenen Enzymen abgebaut werden. Die anfallenden Produkte werden in der Folge über den Dünndarm absorbiert. Die in den Labmagen eintretenden Nährstoffe stammen daher sowohl von unabgebauten Futterkomponenten als auch von Mikroorganismen.

2.5.4 Mikroorganismenpopulation in den Vormägen

In die Vormägen gelangt sehr wenig Sauerstoff. Die beim Fressen aufgenommenen, geringen Mengen werden schnell verbraucht. Man kann deshalb immer von anaeroben Bedingungen für die Mikroorganismen ausgehen. Folglich können die zur Energiegewinnung verfügbaren Substrate lediglich unter anaeroben Bedingungen vergoren werden (JEROCH et al. 1999).

Pansenbakterien

Der Panseninhalt ist mit einer großen Anzahl von Pansenbakterien ($10^9 - 10^{10}$ Keime pro ml, > 60 verschiedene Spezies) besiedelt (McDONALD et al. 1989, PIATKOWSKI et al. 1990, JEROCH et al. 1999). Die wesentlichste Leistung der Pansenbakterien ist der Abbau von Zellulose und anderer Nichtstärke-Polysaccharide. Zwischen den Bakterienarten gibt es zahlreiche synergistische, aber auch antagonistische Wechselwirkungen, z.B. zwischen zellulose- und stärke-spaltenden Spezies (RUSSELL und BALDWIN 1981, DEHORITY 2003). Die hochpolymeren Substrate werden durch extrazelluläre Enzyme spezialisierter Bakterienarten gespalten, die entstehenden Produkte können auch von anderen Arten genutzt werden. Die Gesamtbakterienzahl wird maßgeblich von der Zufuhr leicht löslicher Kohlenhydrate beeinflusst (JEROCH et al. 1999). Das mikrobielle Ökosystem ist zwar sehr vielfältig (HUNGATE 1966, BAUCHOP 1979, COLEMAN 1980, CITRON et al. 1987), nach ihren Stoffwechselwirkungen kann man die Pansenbakterien jedoch zu Gruppen zusammenfassen. McDONALD et al. (1989) unterscheiden zellulose-spaltende, stärke-spaltende, glukoseverwertende, laktatverwertende, proteolytische, ureolytische, methanbildende und weitere Bakteriengruppen.

Tabelle 2.5-1 **Die wichtigsten Gruppen von Pansenbakterien**
(nach McDONALD et al. 1989)

Funktionelle Gruppe	Substrate ^{*)}	Nährstoffbedürfnisse	Nettoprodukte in gemischter Kultur
Zellulolytische Bakterien			
<i>Bacteroides succinogenes</i>	C, S, Pe	verzweigte Fettsäuren,	Acetat, Succinat, H ₂ , CO ₂
<i>Ruminococcus albus</i>	C	NH ₃ , Biotin,	
<i>Ruminococcus flavefaciens</i>	C	Paraaminobenzoat	
Amylolytische Bakterien			
<i>Bacteroides amylophilus</i>	S, P	NH ₃	Acetat, Succinat, H ₂ , CO ₂
<i>Succinimonas amylolytica</i>	S	verzweigte Fettsäuren	Acetat, Succinat, H ₂ , CO ₂
<i>Streptococcus bovis</i>	S, Zu, Pr	AS, Biotin	Acetat, Lactat, CO ₂ (H ₂)
Saccarolytische Bakterien			
<i>Bacteroides rumenicola</i>	Zu, S, Pe, Pr	verzweigte Fettsäuren	Acetat, Propionat, CO ₂ (H ₂)
<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>	Zu, C, S, Pr	verzweigte Fettsäuren, NH ₃ , Aminosäuren Biotin	Acetat, Butyrat, Lactat, CO ₂ (H ₂)
<i>Selenomonas ruminantium</i>	Zu, S, L	verzweigte Fettsäuren, Methionin	Acetat, Propionat, Lactat, H ₂ , CO ₂
Wasserstoffverwertende Bakterien			
<i>Methanobrevibacter ruminantium</i>		verzweigte Fettsäuren, NH ₃	CH ₄
<i>Vibrio succinogenes</i>		NH ₃	Succinat, NH ₃

^{*)} Substrate: C = Cellulose, S = Stärke, Pe = Pektin, Zu = Zucker, Pr = Protein, L = Lactat

Succinat wird durch andere Keime in Propionat und CO₂ übergeführt.

CO₂(H₂) bedeutet, der Keim bildet Formiat, das durch andere Bakterien in CO₂ und H₂ umgewandelt wird.

Protozoen

Die zweite Gruppe funktioneller Pansenbewohner stellen die Protozoen dar. Es handelt sich dabei ausschließlich um Ziliaten (McDONALD et al. 1989, PIATKOWSKI et al. 1990, JEROCH et al. 1999). Die Gesamtzahl der Protozoen ist im Pansen mit 0 bis 10⁶ pro g niedriger als die der Bakterien, da diese aber 10- bis 100-mal größer sind als Bakterien, können sie dennoch bis zu 50% der Mikrobenmasse beitragen (JEROCH et al. 1999). Protozoen beteiligen sich am Umsatz aller Nährstoffe im Pansen, sie ernähren sich aber primär durch die Aufnahme von Bakterien. Ihre Gegenwart führt deshalb zu einer intensiveren Pansenfermentation (PIATKOWSKI et al 1990).

Tabelle 2.5-2 **Wichtige Bakterienarten des Panseninhalts und ihre Charakterisierung**
(nach JEROCH et al. 1999)

Gattung / Art	cellulolytisch	amylolytisch	saccharolytisch	pectinolytisch	proteolytisch	lipolytisch	Glycerol-Fermentation	Lactatbildung	Lactatverwertung	Methanbildung	säuretolerant	säureempfindlich
<i>Aerovibrio lipolytica</i>						●						
<i>Bacteroides amylophilus</i>		●			●							
<i>Bacteroides ruminicola</i>		●	●	●	●			●				
<i>Bacteroides succinogenes</i>	●	●										●
<i>Butyrifibrio fibrisolvens</i>	●	●	●	●	●							●
<i>Eubacterium limosum</i>												
<i>Eubacterium ruminantium</i>					●							
<i>Lachnospira multiparus</i>				●	●							
<i>Megasphaera elsdenii</i>							●		●		●	
<i>Methanobacterium ruminantium</i>										●		
<i>Ruminococcus albus</i>	●											●
<i>Ruminococcus flavefaciens</i>	●											●
<i>Selenomonas ruminantium</i>		●	●		●		●	●			●	
<i>Streptococcus bovis</i>		●			●			●				●
<i>Veilonella alcalescens</i>									●			
<i>Vibrio succinogenes</i>										●		

Tabelle 2.5-3 **Mikrobiologie des Pansensaftes**
(nach VAN SOEST 1994)

Gruppe	Anzahl / ml	Ø Zellvolumen (n ³)	Nettomasse (mg/100ml)	Generationsintervall	% der ges. Mikrobenmasse
Kleine Bakterien	1 x 10 ¹⁰	1	1.600	20 min	60 – 90
Selenomonaden	1 x 10 ⁸	30	300		
Oscillospira	1 x 10 ⁶	250	25		
Protozoen					
Entodinia	3 x 10 ⁵	1 x 10 ⁴	300	8 h	10 – 40
Dasytricha und Diplodinia	3 x 10 ⁴	1 x 10 ⁵	300		
Isotricha und Epidinia	1 x 10 ⁴	1 x 10 ⁶	1.100	36 h	
Fungi	1 x 10 ⁴	1 x 10 ⁵		24 h	5 – 10

2.5.5 Kohlenhydratfermentation

Die Kohlenhydrate Zucker, Stärke, Zellulose und Hemizellulose bilden die Hauptenergiequellen für das Rind, obwohl auch aus Fett und Protein in begrenztem Umfang Energie gewonnen werden kann. Ist der Energiebedarf der Tiere hoch, so müssen vor allem ausreichende Mengen an nutzbaren Kohlenhydraten verfügbar sein. Bei faserreichem Halmfutter, der wichtigsten Energiequelle für Rinder, entscheidet das Vegetationsstadium über das Verhältnis an leicht verfügbaren zu faserreichen Kohlenhydraten. Die verdaulichen Kohlenhydrate im Futter der Wiederkäuer werden größtenteils in den Vormägen abgebaut. Der Abbau geht dabei über die Stufe der Monosaccharide hinaus und führt zur Bildung der flüchtigen Fettsäuren Essigsäure, Propionsäure oder Buttersäure (Abbildung 2.5-2). Flüchtige Fettsäuren, die durch die Pansenfermentation entstehen und über die Pansenwand absorbiert werden, stellen die primäre Energiequelle der Wirtstiere dar. Dem Wiederkäuer stehen aus dem Darmkanal keine oder nur geringe Mengen an Glukose zur Verfügung. Der Glukosebedarf muss daher größtenteils über die Glukoseneubildung (*Glukoneogenese*) gedeckt werden. Essigsäure und Buttersäure können keinen Nettobeitrag zum Glukoseangebot leisten, Propionat hingegen kann für die Glukoneogenese verwendet werden (RUSSELL et al. 1992). Über den Bedarf hinausgehendes Proteinangebot kann ebenfalls zur Glukoneogenese verwendet werden.

Der entscheidende Vorteil der mikrobiellen Verdauung in den Vormägen besteht im Abbau der Gerüstsubstanzen, welche die größte Kohlenhydratfraktion im Pflanzenreich darstellen (PIATKOWSKI et al. 1990). Die Glukoseeinheiten der Zellulose sind in linearen Ketten über 1,4- β -glucosidische Bindungen miteinander verbunden. Für die Zerlegung derartiger Bindungen bilden die Säugetiere keine eigenen Enzyme und können daher Zellulose auf diese Weise nicht verdauen. Die zellulolytischen Bakterien erschließen in einem stark exothermen Vorgang die Zellulose als Energiequelle für den Wiederkäuer. Ist die Ration rohfasereich sowie stärke- und zuckerarm, so herrschen im Pansen Zellulose abbauende Spezies der Bakterien vor, die überwiegend Essigsäure produzieren. Stärke erhöht den Propionsäureanteil und Zucker den Buttersäureanteil im Pansensaft.

Der Pansen wird durch Puffersubstanzen im Speichel gut gepuffert. Falls jedoch der Anteil der Faserfraktion in der Ration beschränkt und der Anteil schnell abbaubarer Kohlenhydrate hoch ist, dann kann der pH-Wert im Pansen rasch sinken. Die in der Folge verstärkt anfallende Propionsäure ist eine stärkere Säure als die bei der Verdauung von Zellulose anfallende Essigsäure. Bei niedrigem pH-Wert sinkt das Mikrobewachstum und damit das Mikrogenproteinangebot als Nahrung für das Wirtstier. STROBEL und RUSSELL (1986) stellten in einem *in-vitro*-Versuch eine Abnahme des Mikrobewachstums um 50% fest, wenn der pH-Wert von 6,7 auf 5,7 sank. Wenn die NDF-Fraktion unter 20% der Trockenmasse in der Ration liegt, reduziert sich der Mikrobenertrag um 2,5% bei jedem Prozent weniger NDF. Bei fein gehäckseltem Futter verringert sich der Mikrobenertrag sogar um 3% je Prozent weniger NDF (RUSSELL et al. 1992).

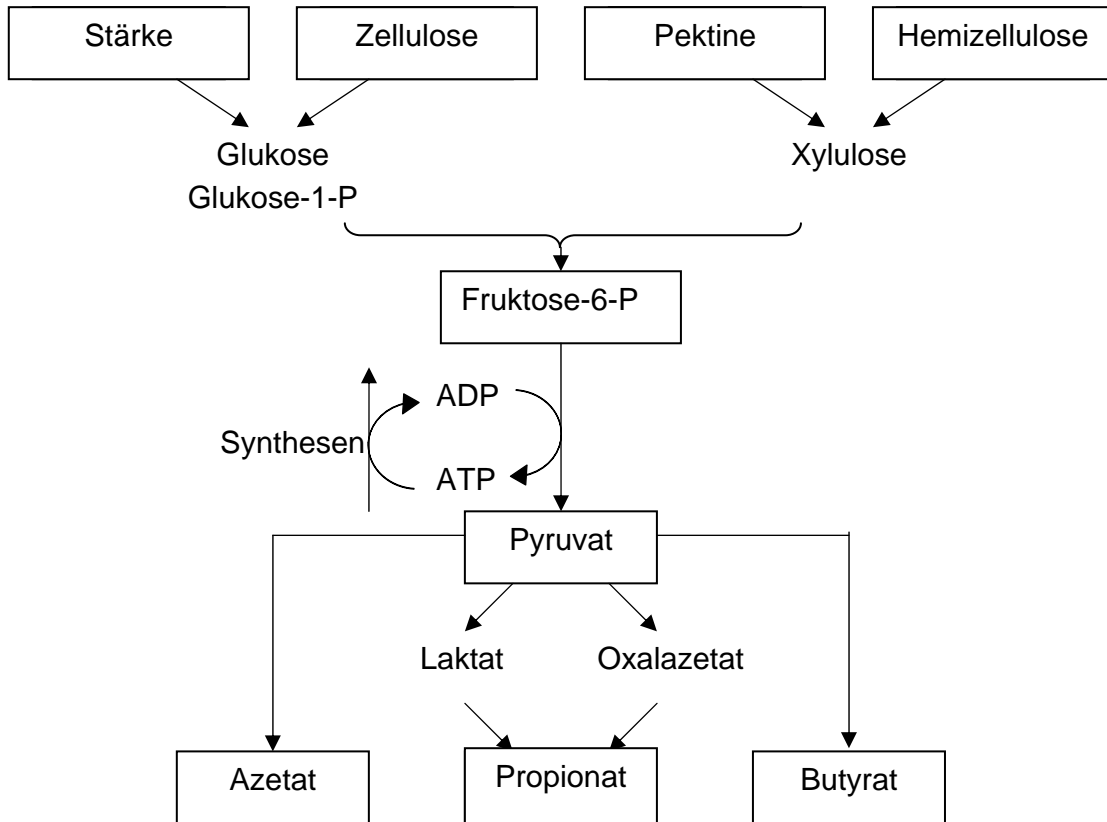


Abbildung 2.5-2 **Bildung flüchtiger Fettsäuren**
(nach PIATKOWSKI et al. 1990)

Tabelle 2.5-4 **Anfall flüchtiger Fettsäuren durch verschiedene Futtermittel**
(nach PIATKOWSKI et al. 1990)

	Gesamt-FFS mmol/100 ml	Essigsäure mol-%	Propionsäure mol-%	Buttersäure mol-%
Weidegras (sehr jung)	14	58	20	22
Weidegras (weidereif)	11	64	19	17
Weidegras (überständig)	7	75	15	10
Grassilage	9	69	17	14
Maissilage	10	70	19	11
Zuckerrübenblattsilage	11	62	18	20
Luzernehäcksel	13	69	20	11
Stroh, gehäckselt	6	78	15	7
Heu, lang	8	74	18	8
Heu, pelletiert	11	66	22	12
Grobfutter : Getreide = 70 : 30	10	66	18	16
Grobfutter : Getreide = 40 : 60	12	65	22	13
Grobfutter : Futterrüben = 80 : 20	10	62	16	22

2.5.6 Proteinfermentation

Durch Mikroorganismen werden Proteine und andere N-Verbindungen abgebaut. Die dabei anfallenden Bausteine, vor allem Aminosäuren, werden zu einem großen Teil weiter zu Ammoniak abgebaut. Die meisten Pansenbakterien sind in der Lage, Ammoniak als N-Quelle für die Proteinsynthese zu nutzen, allerdings liefert die ruminale Proteinfermentation oft mehr Ammoniak als die Mikroorganismen in gleicher Zeit verwerten können (RUSSELL et al. 1992). Exzessive Ammoniakproduktion führt neben einem Stickstoffverlust über die Ausatmung auch zu einem erhöhten Energieaufwand für die N-Exkretion und die Harnstoffsynthese in der Leber. In vielen Fällen geht auf diese Weise mehr als ein Viertel des Proteins als Ammoniak verloren (NOLAN 1975). Da Protein der monetär wertvollste Bestandteil der Ration ist, besteht hier besonderes Interesse, die Fermentation von Protein im Pansen zu reduzieren und zu synchronisieren.

Protein wird durch extrazelluläre Enzyme abgebaut. Diese Proteinasen müssen mit dem Protein in Kontakt kommen, um es durch hydrolytische Spaltung abzubauen. Wenn ein Protein schnell in Lösung geht, erhöht sich durch die raschere Zugänglichkeit die enzymatische Abbaurate (TAMMINGA 1979). Viele Proteine der Futtermittel sind gut löslich und werden durch die Enzyme der Pansenbakterien rasch abgebaut. Hitzebehandlung kann Proteine denaturieren und damit die Löslichkeit und die Abbaurate herabsetzen. Einige Futtermittel enthalten auch Proteine, die von Natur aus im Pansen unlöslich sind und deshalb die Pansenfermentation umgehen (Braugerste, Nebenprodukte des Gärungsgewerbes, Fischmehl etc.) (RUSSELL et al. 1992). Auf die Proteinabbaurate durch extrazelluläre Proteinasen haben Kohlenhydrate einen geringen Einfluss, sie können aber einen großen Einfluss auf die Endprodukte des Aminosäurestoffwechsels ausüben (RUSSELL et al. 1983). Der Umbau von Peptiden in Mikrobeneiweiß oder Ammoniak wird nämlich von der Verfügbarkeit an Kohlenhydraten reguliert. Bei Anwesenheit von Kohlenhydraten kommen 66% des Mikrobenproteins aus Peptiden und 34% aus Ammoniak (RUSSELL et al. 1983). Bei Mangel an Kohlenhydraten werden alle Peptide zu Ammoniak umgewandelt.

Rezyclierter Stickstoff

Bei Ammoniakdefizit kann vom Organismus ein bedeutender Anteil des im Blutkreislauf oder in der Leber als Harnstoff vorliegenden N über den Speichel oder direkt über die Pansenwand in den Pansen zurückgeliefert werden. Rezyclierter N kann bis zu 70% des Proteineintrages in den Pansen ausmachen. In diesem Fall ist die längerfristige N-Versorgung des Tieres nicht ausreichend.

2.5.7 Nährstoffgehalte und Abbauraten

Rationen für Wiederkäuer werden traditionell über Gehalte an bestimmten Inhaltsstoffen (XP, XL, XF, XX) ausgeglichen. Neuere Arbeiten zeigen jedoch, dass neben den absoluten Gehalten auch die Abbauraten von Futterkomponenten im Pansen einen großen Einfluss auf die Fermentationsprodukte und die Leistung der Tiere haben (NOCEK und RUSSELL 1988).

Vier Fälle zur Verdeutlichung

- 1) Wenn die Rate des Proteinabbaues die dafür notwendige Rate des Kohlenhydratabbaues übersteigt, können große Mengen Stickstoff als Ammoniak verloren gehen, da die Mikroben durch den Energiemangel die anfallenden Mengen an Ammoniak nicht rasch genug in Mikrobeneiweiß einbauen können.
- 2) Wenn die Rate der Kohlenhydratfermentation die entsprechende Proteinabbaurate übersteigt, kann das Mikrobewachstum abnehmen, da die Menge der anfallenden Stoffwechselprodukte (FFS) den pH-Wert des Pansens zu stark senkt und dadurch die Mikroben keine optimalen Bedingungen mehr vorfinden. Weiters steht den Pansenmikroben relativ zu wenig Stickstoff zur Verfügung.
- 3) Ein hoher Anteil an schwer abbaubaren Gerüstsubstanzen senkt durch die Pansenfüllung die Futteraufnahme und die Mikrobenleistung wegen eines Nährstoffmangels im Pansen.
- 4) Wenn die Fermentation bestimmter Nährstoffe des Futters langsam ist, kann ein Teil dieser Nährstoffe der Pansenfermentation entgehen und direkt in den Darm gelangen. Dies wirkt sich bei Gerüstsubstanzen nachteilig aus, bei den anderen Nährstoffen, die im Darm verdaut werden können, kann es sogar ein Vorteil sein.

Die Proteinabbaurate kann auf Grund enzymatischer Vorgänge geschätzt werden (KRISHNAMOORTHY et al. 1982). Die Stärkeabbaurate ist jedoch schwieriger zu schätzen (RUSSELL et al. 1992). Die Fermentationsrate der Stärke kann stark variieren und wird zusätzlich beeinflusst von der Futtermittelbehandlung (z.B. Pelletierung), der Lagerung (getrocknete oder silierte Lagerung) und von der Art der Konzentratfuttermittel, die gefüttert werden (ØRSKOV 1976). Die besten Schätzungen der Stärkeabbaurate erhält man durch *in-situ*-Versuche, bei denen Futterproben in den Pansen des Tieres eingehängt werden (NOCEK 1988).

2.5.8 Passagerate und Fermentation

Der überwiegende Teil des Futters wird im Pansen fermentiert. Doch ein geringer Teil davon verlässt den Pansen unabgebaut. Ob und in welchem Umfang die Nährstoffe eines Futters im Pansen fermentiert werden, hängt letztlich von der Abbaurate und der Passagerate ab (WALDO et al. 1972). Die Abbaurate ist eine futtermittelspezifische Größe. Die ruminale Passagegeschwindigkeit wird hingegen reguliert von der Trockenmasseaufnahme, Futtervorbehandlung (d.h. Partikelgröße), der Teilchendichte und der Futterart (SNIFFEN et al. 1992). Die Passage von unabgebautem Futter aus dem Pansen in den Dünndarm wird durch die Abbaugeschwindigkeit der Nährstoffe eines Futtermittels bestimmt. Falls unabgebautes Futter im Dünndarm durch körpereigene Enzyme verdaut werden kann (z.B. Protein und Stärke), kann durch die Umgehung der Pansenfermentation die effektive Nährstoffversorgung erhöht werden (RUSSELL et al. 1992). Die mit erhöhter Futteraufnahme verbundene höhere Passagerate und der somit geringere Abbau im Pansen müssen nicht unbedingt zu einer geringeren Nährstoffverfügbarkeit führen, wenn die Verdaulichkeit des unabgebauten Futters im Dünndarm gegeben ist. Die optimale Fütterungsstrategie und die Passagerate hängen von den Kosten der Futtermittel und dem Produktionswert ab. Die Passagerate übt einen erheblichen Einfluss auf das Gleichgewicht der Fermentationsprodukte aus.

Das CNCPS unterteilt die Pansenbakterien entsprechend ihrer Hauptnährstoffsubstrate prinzipiell in zwei Gruppen:

- 1) Bakterien, die Faserkohlenhydrate (FC) fermentieren
- 2) Bakterien, die Nicht-Faserkohlenhydrate (NFC) fermentieren

FC-fermentierende Mikroorganismen wachsen langsamer und nützen zur Proteinsynthese als N-Quelle ausschließlich Ammoniak. Die NFC-fermentierenden Mikroorganismen decken ihren N-Bedarf aus Ammoniak und Aminosäuren (RUSSELL et al. 1984). Die Wachstumsrate beider Gruppen ist direkt proportional zur Kohlenhydratabbaurate, so lange eine N-Quelle verfügbar ist (HUNGATE 1966, BRYANT 1973, HESPELL und BRYANT 1979, RUSSELL und BALDWIN 1981).

Generell können Pansenbakterien Protein und Lipide nicht als Energiequelle nützen, sondern primär nur Kohlenhydrate (NOCEK und RUSSELL 1988). Eine neu isolierte Gruppe Ammoniak-produzierender Bakterien kann auch Peptide und Aminosäuren als Energiequelle nützen (RUSSELL et al. 1988, CHEN und RUSSELL 1989). Diese Bakterien haben einen großen Einfluss auf die Ammoniakproduktion im Pansen, kommen jedoch nur in geringer Anzahl vor und liefern somit nur wenig Mikrobeneiweiß.

Ferner ist zu beachten, dass Mikroben auch einen Erhaltungsbedarf haben. Langsam wachsende Bakterien (FC) wenden für die gleiche Menge Mikrobeneiweiß mehr Energie zur Erhaltung der Lebensfunktionen auf. Der Erhaltungsbedarf hat also einen großen Einfluss auf das gesamte Mikrobewachstum und die Nährstoffeffizienz im Pansen (RUSSELL und WALLACE 1988).

2.5.9 Zusammensetzung des Mikrobenproteins

Die Zusammensetzung des Mikrobenproteins kann von mehreren Faktoren beeinflusst werden. Etwa 25% des Mikrobenproteins macht Zellwandprotein aus (BERGEN et al. 1967). Der Rest ist verfügbares echtes Protein. Außerdem beinhalten Pansenmikroben bedeutende Mengen Lipide, Speicherkohlenhydrate und Mineralstoffe (VAN SOEST 1987).

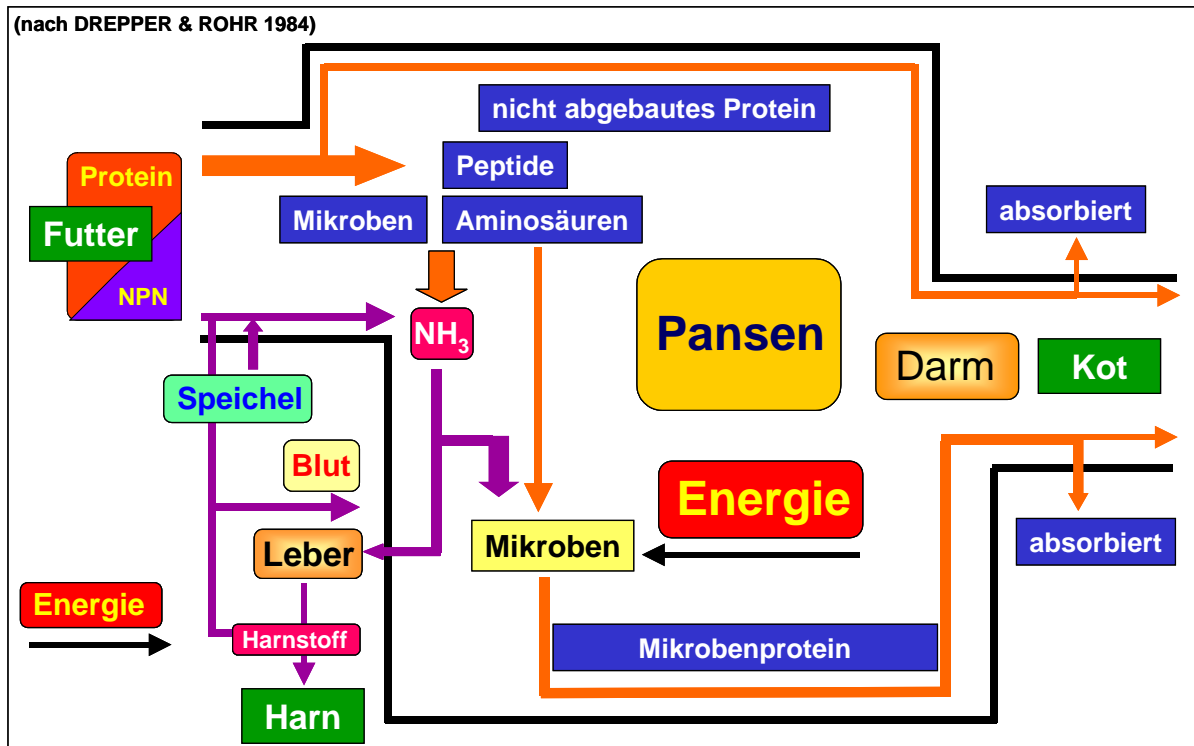


Abbildung 2.5-3 N-Umsetzung in den Vormägen
(nach DREPPER und ROHR 1984)

2.5.10 Kohlenhydrat- und Proteinverfügbarkeit

Pansenabbaubarkeit der Kohlenhydratfraktion

Beim CNCPS werden für die vier Kohlenhydratfraktionen (A, B₁, B₂, C) Abbauraten vorgegeben. Diese Abbauraten sind relevant für alle Kohlenhydratfraktionen, außer der unabbaubaren Faserfraktion. Die Abbauraten der **Zuckerfraktion** ist sehr hoch (100 – 400% pro Stunde). Die Abbauraten der **Stärkefraktion** kann sehr stark variieren, und zwar in einem Bereich von 3 – 80% pro Stunde. Die Fraktion der verfügbaren **NDF** weist eine Abbauraten von 1 – 20% auf. Die Abbauraten der **unerreichbaren Faserfraktion** beträgt 0%. Die Bestimmung der Abbauraten kann wie bei Protein mit der *in-situ*-Technik erfolgen (NOCEK 1985, 1988). Es ist aber zurzeit noch nicht möglich, die Abbauraten der Kohlenhydrate *in-vitro* zu ermitteln (FOX et al. 1990).

wurde durch Ringtests mit vielen Labors bestätigt (MEHREZ und ØRSKOV 1977, SETALA 1983, WEAKLEY et al. 1983, LINDBERG 1985, MADSEN und HVELPLUND 1985).

AFRC (1992) adaptierte die *in-situ*-Technik und erklärte diese als Standardmethode zur Charakterisierung der Pansenabbaubarkeit von Stickstofffraktionen. Diese Methode wird heute auch als Standard verwendet, um die Abbaubarkeit von Fasern (Zellulose) (AERTS et al. 1977, NAVARATRE et al. 1990) und Proteinfractionen (CRAWFORD et al. 1978, STERN und SATTER 1984, POOS-FLOYD et al. 1985, MADSEN und HVELPLUND 1985) eines Futtermittels zu beschreiben.

2.6.2 Einflussfaktoren auf das Ergebnis

Es gibt mehrere Faktoren, welche die tatsächliche Abbaubarkeit der Futtermittel bei der Inkubation im Pansen verfälschen können. VANZANT et al. (1998) unterteilten diese Faktoren in tierische, stoffliche, zeitliche, Säckchen-, weitere Prozess- und mathematische Merkmale. Interaktionen zwischen diesen Faktoren erschweren eine Standardisierung der Methode.

Das Futtermittel im Säckchen unterliegt nicht den typischen Verdauungsvorgängen. Es gibt nach ØRSKOV (1980) drei entscheidende Einschränkungen: Erstens erfahren die Futterproben keine Zerkleinerung durch Kauen und Wiederkauen, zweitens können kleine Futterpartikel, die noch nicht durch das Nylongewebe des Säckchens passen, aber schon klein genug für den Abtransport in den Labmagen bzw. Darm wären, den Pansen nicht verlassen. Drittens ist immer zu bedenken, dass das Fehlen feiner Partikel nicht immer auf den Abbau durch die Mikroben zurückzuführen ist.

Die Porengröße der Nylon-bags hat einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis, denn durch die Maschenweite wird der mögliche Ein- bzw. Austrag von Material erheblich beeinflusst (MEYER und MACKIE 1986, MARINUCCI et al. 1992). Die Poren sollen den Verdauungssäften mit den darin enthaltenen Puffersubstanzen und Mikroorganismen den Zutritt zum Versuchsfuttermittel ermöglichen. Dadurch besteht jedoch auch die Möglichkeit, dass neben den von den Pansenmikroben gebildeten Ab- und Umbauprodukten auch kleine, unabgebaute Futterpartikel die Säckchen durch die Poren verlassen und fälschlich als abgebaut interpretiert werden. Der Eintrag von feinen Stoffen aus dem Pansen in die Säckchen stellt einen weiteren Unsicherheitsfaktor dar.

Größere Poren ermöglichen den Austausch von Substanzen zwischen Pansensaft und Säckchen im positiven, jedoch auch im negativen Sinn. Eine zu geringe Maschenweite des Gewebesäckchens verringert die Abbaurate des Probenmaterials. Grund dafür ist eine schlechtere Durchspülung des Säckchens mit Pansensaft und die dadurch verminderte Besiedlung des Probenmaterials mit Pansenbakterien. Der eingeschränkte Abtransport von Stoffwechselprodukten aus der Fermentation der Mikroorganismen schränkt deren Stoffwechselaktivität ein. Die Bakterienzahl in den Säckchen ist geringer

als im Pansensaft, was auf eine Barrierewirkung der Säckchen zurückzuführen ist. Bei einer Maschenweite von 10 µm wurden in den inkubierten Säckchen nur 10% der in der Pansenflüssigkeit vorhandenen Bakterien gezählt. Bei einer Maschenweite von 53 µm ermittelten MEYER und MACKIE (1983) nur 60% der Anzahl an Bakterien im Vergleich zur Pansenflüssigkeit, die Enzymaktivität innerhalb der Säckchen war jedoch höher als außerhalb (HUHTANEN und KHALILI 1989). Eine zu kleine Maschenweite kann, vor allem bei kohlenhydratreicheren Futtermitteln, zu einem Verkleben der Poren führen. Dadurch kommt es zu einer Ansammlung von Gas im Säckchen (NOCEK und HALL 1984, UDÉN und VAN SOEST 1984).

Das Australien Agricultural Council – Ruminant Subcommittee (AACRS 1990) und das Agricultural and Food Research Council (AFRC 1992) empfehlen die Verwendung von Polyester-Säckchen mit einer Porengröße von 35-50 µm. Fast drei Viertel der Autoren verwenden Nylon-bags mit Maschenweiten von 40-60 µm.

Particle losses entstehen, indem fein vermahlene Teile des Probenmaterials durch die Poren der Nylon-bags entweder im Pansen oder beim Waschvorgang ausgespült werden, ohne von den Mikroorganismen im Säckchen abgebaut worden zu sein. Die Verluste sind größer bei höherer Maschenweite der Nylon-bags (LINDBERG und KNUTSSON 1981) und ebenfalls erhöht bei feinerem Vermahlungsgrad der Proben (PLAYNE et al. 1978, MICHALET-DOREAU und CERNEAU 1991). Die feinen Partikel hätten in der Zeit der Inkubation auch abgebaut werden können und sind deshalb nicht als reine Verluste zu rechnen (SETALA 1983). Man darf diese Verluste aber nicht zur tatsächlichen Abbaurate zählen, man würde sonst die Abbaurate deutlich überschätzen. Laut MICHALET-DOREAU (1990a) ist bei dieser Annahme die Überschätzung der Abbaurate zwar nicht hoch, sie steigt aber mit zunehmenden Auswaschungsverlusten und sinkender Abbaubarkeit des Futtermittels.

Soluble losses entstehen auf Grund der Wasserlöslichkeit des Probenmaterials. Sie treten im Pansen, aber auch beim Waschvorgang werden die gelösten Stoffe ausgewaschen. Diese Verluste wirken sich auf die Abbauraten aus und müssen korrigiert werden.

Die Trocknung von Futtermitteln kann durch einen Warmluftofen (Ofentrocknung) oder durch eine Gefriertrocknungsanlage (Gefriertrocknung) erfolgen. Beide Trocknungsverfahren führen zu einer physiko-chemischen Veränderung der N-Fractionen in den Futtermitteln. Dadurch wird die Pansenabbaubarkeit bei der Nylon-bag-Technik zu einem gewissen Grad beeinflusst (McRAE et al. 1975, ABDALLA et al. 1988). Ofentrocknung bei einer Temperatur von 60 °C führt zu einer durchschnittlichen Reduktion der *in-sacco*-Abbaubarkeit von 10 bis 17% verglichen mit der Gefriertrocknung und sonst gleichen Voraussetzungen (PEYRAUD 1990; KAMOUN und THEWIS 1990). Die Proteinabbaubarkeit verringert sich durch Ofentrocknung um 17%, verglichen mit frischem, zerkleinertem Futter (KAMOUN und THEWIS 1990).

Die Vermahlung dient neben der Homogenisierung einer Probe auch dazu, die Zerkleinerung durch das Wiederkauen nachzuahmen (GILL et al. 1966, FAICHNEY 1986, ULYATT et al. 1986, GRENET 1989). Es kommt dadurch zu einer Oberflächenvergrößerung, um die Besiedlung durch die Pansenmikroben zu erhöhen und somit einen rascheren Aufschluss zu erreichen. Im Gegensatz zu Grünfutter ist für Kraftfutter der Effekt des Wiederkauens jedoch als gering zu betrachten, sodass die Partikelgröße im Säckchen der beim Schroten gleichzusetzen ist (MICHALET-DOREAU et al. 1992). Je geringer die Korngröße des Probenmaterials ist, desto höher ist die Abbaurate, besonders bei kurzen Inkubationszeiten (ERWIN und ELLISTON 1959, PLAYNE et al. 1978, LINDBERG 1981, MICHALET-DOREAU und CERNEAU 1991). VANZANT et al. (1998) ermittelten, dass durch das Schroten bei verschiedenen Futtermitteln eine unterschiedliche Verteilung der Partikelgrößen auftritt. Es ist zu beachten, dass die Siebgröße der Mühle nicht der Partikelgröße einer Futterprobe gleichzusetzen ist. Einerseits erhöhen sich die *Particle losses* bei feinerer Vermahlung der Proben, auf der anderen Seite kann man dadurch die Abbaurate erhöhen (MOHAMED und SMITH 1977, WEAKLEY et al. 1977).

Tabelle 2.6-1 **Einfluss der Mahlfeinheit des Futtermittels**
(nach HUNTINGTON und GIVENS 1995)

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

Verschiedene Hochzahlen kennzeichnen einen statistischen Unterschied

Die Füllmenge der Säckchen hat einen deutlichen Einfluss auf das Ergebnis. Mit zunehmender Probenmenge wird bei gleich bleibender Säckchengröße die Abbaurate vermindert und damit unterschätzt, gleichzeitig erhöht sich die Streuung der Ergebnisse (MEHREZ und ØRSKOV 1977). Dies ist auf eine unzureichende Durchmischung des Säckcheninhaltes mit Pansensaft und auf einen verzögerten Abtransport der Stoffwechselprodukte aus dem Säckchen zurückzuführen. Das Verhältnis von Füllmenge aus Probenmaterial zur Oberfläche des Säckchens soll deshalb nicht zu hoch angesetzt werden (VAN KEUREN und HEINEMANN 1962, FIGROID et al. 1972, VAN HELLEN und ELLIS 1977, VARGA und HOOVER 1983). Die Vielzahl der Wissenschaftler gibt aber unterschiedliche Grenzwerte vor, nicht zuletzt deshalb, weil sie Säckchen mit verschiedenen Porengrößen verwenden.

Die Platzierung der Säckchen im Pansen soll so erfolgen, dass ein ausreichender Bewegungsraum in der Pansenflüssigkeit gewährleistet ist. Die Säckchen sollen durch die Pansenkontraktionen gepresst werden können, um einen Flüssigkeitsaustausch zwischen Säckchen und Pansen zu erreichen (STRITZLER et al. 1990). BALCH und JOHNSON (1950) ermittelten bei einer Platzierung der Säckchen im ventralen Pansensack einen schnelleren Abbau. In der dort vorhandenen flüssigen Phase können Bakterien das Probenmaterial leichter besiedeln und abbauen, da sie in der Flüssigkeit viel mobiler sind als Bakterien im dorsalen Pansenabschnitt (feste Phase), die an den Feststoffen haften und nur bei Pansenkontraktionen umspült werden (STEWART 1979). UDÉN und VAN SOEST (1984) weisen darauf hin, dass sich die Säckchen durch die Fermentation mit Gas füllen können und der Austausch der Pansenflüssigkeit verhindert wird. Dadurch besteht auch die Gefahr, dass die gasgefüllten Säckchen nach oben aufschwimmen und nicht mehr in der flüssigen Phase verweilen. Wenn die Säckchen im ventralen Pansensack verweilen.

Die Schnur soll die Säckchen zusammenhalten und außerdem sicherstellen, dass die Säckchen eher im ventralen Pansensack bleiben. Bei einer zu kurzen Schnur wird allerdings die Durchspülung mit Pansensaft eingeschränkt. Eine längere Schnur (30 – 50 cm) führt zu einer höheren Bewegungsmöglichkeit im Pansen und fördert in der Folge die Aktivität der Bakterien und Protozoen im Säckchen und die Ergebnisse weisen eine geringere Streuung auf (RODRIQUES 1968). STRITZLER et al. (1990) fanden einen linearen Zusammenhang zwischen Substanzabbau und der Schnurlänge.

Die Futterration beeinflusst auch das Ergebnis eines *in-situ*-Versuches. MEYER und MACKIE (1986) fanden zwischen verschiedenen Futterproben einen Unterschied in der bakteriellen Besiedlung. Konzentratfuttermittel in der Ration üben einen Einfluss auf die Abbaubarkeit von Gerüstsubstanzen aus (LINDBERG 1981, CRONJE 1992). Andere Arbeiten stellten auch eine geringere Pansenabbaubarkeit von Protein- (WEAKLEY et al. 1983) und Energiefuttermitteln (FIGROID et al. 1972) dar, wenn der Kraffuttermittelanteil der Ration stieg. Nach MEYER und MACKIE (1986) fördert eine erhöhte Ammoniakkonzentration im Pansen das Mikrobewachstum. Durch eine ausreichende Versorgung der Pansenmikroben mit einer gut verfügbaren N-Quelle kann die Abbaurate bei vielen

Futtermitteln erhöht werden. Eine angepasste Energieversorgung der Tiere während des Versuches muss gewährleistet sein.

NOCEK (1988) empfiehlt bei der Durchführung von *in-situ*-Versuchen eine ad libitum Fütterung, LINDBERG (1985), AFRC (1992) und MADSEN und HVELPLUND (1994) empfehlen hingegen eine rationierte Fütterung (auf Erhaltungsniveau). FORBES (1995) sieht in einer rationierten Fütterung die Möglichkeit, einige Einflussfaktoren auszuschalten (z.B. die bevorzugte Aufnahme bestimmter Futtermittel).

Die Fütterungsfrequenz hat einen bedeutenden Einfluss auf das Pansenmilieu. Es kommt durch die Fütterung zu Veränderungen der Temperatur, zu einem Sauerstoffeintrag in den Pansen, zu einer Änderung der Passagerate und zu einer Veränderung der Anzahl der Mikroben (DEHORITY und ORPIN 1988). Bei täglich nur einmaliger Fütterung kommt es zu einer starken Schwankung der Anzahl von Bakterien (LEEDLE et al. 1982) und Protozoen (WARNER 1965) im Pansen. Diese Fluktuation nimmt mit häufigerer Fütterung ab. MEYER und MACKIE (1986) berichten, dass die Bakterien die Nylon-bags schneller und in größerer Anzahl besiedelten, wenn häufiger gefüttert wurde. Der Großteil der Autoren schreibt von einer Fütterungsfrequenz von zweimal täglich. Eine einmal tägliche Fütterung ist nach VANZANT et al. (1998) abzulehnen, da dies zu unterschiedlichen Abbaubedingungen für die Proben der einzelnen Zeitstufen führt.

Für die Inkubations- und Entnahmezeiten gibt die Literatur grundsätzlich zwei unterschiedliche Empfehlungen. MICHALET-DOREAU und OULD-BAH (1992) empfehlen, die Säckchen für alle Zeitstufen gleichzeitig einzuhängen, um dann die Säckchen im jeweiligen Zeitintervall herauszunehmen. Sie argumentieren damit, dass bei gleichzeitiger Inkubation alle Säckchen gleichen Bedingungen ausgesetzt und deshalb besser vergleichbar sind. NOCEK (1985) hingegen fand bei seinem Versuch heraus, dass er bei gleichzeitiger Entnahme aller Säckchen geringere Streuungen und eine höhere Abbaurate erzielte. Die Unterbrechung der Fermentation durch das An- oder Abhängen von Säckchen im zeitlichen Intervall führe zu einer Beeinträchtigung der luftunverträglichen Mikroorganismen. Außerdem verweist NOCEK (1985) auf eine genauere Übereinstimmung der Wasch- und Spülprozesse.

Beim Waschvorgang werden wasserlösliche und feine Substanzen aber auch Mikroorganismen aus dem Säckchen ausgewaschen. Ein unzureichendes Auswaschen der Mikroben (Bakterieneiweiß) führt zu einer Unterschätzung der Proteinabbaubarkeit (MICHALET-DOREAU und OULD-BAH 1989). Der Waschvorgang kann händisch oder mit einer Waschmaschine erfolgen. HUNTINGTON und GIVENS (1996) ermittelten in einem Versuch mit einer Waschmaschine mehrere Einflussfaktoren des Waschprogramms auf die Partikelverluste. Zu berücksichtigende Faktoren sind die Anzahl der Waschzyklen in einem Waschvorgang (Wasserwechsel), die Wassermenge und die Gesamtdauer. Keinen Einfluss auf Trockensubstanzverluste fanden sie in der Anzahl der Säckchen, die zusammen gewaschen werden. Steigende Wassertemperatur erhöht die Wirkung des Waschvorganges und beeinflusst somit das Ergebnis.

Tabelle 2.6-2 **Vergleich von Methoden zur Messung der ruminalen Abbaubarkeit**
(nach VANZANT et al. 1998)

	Ørskov (1982)	Lindberg (1985)	Nocek (1988)	AFRC (1992)	Michalet-Doreau und Ould-Bah (1992)	Madsen und Hvelplund (1994)	Wilkerson et al. (1995)
Ration	wie Versuchsfutter	50% Heu 50% Kraftfutter	wie Versuchsfutter	60% Heu 40% Kraftfutter	wie Versuchsfutter	33%Heu 67% Kraftfutter	Alle Futtermittel
Fütterungsniveau	k. A.	Erhaltungsbedarf	ad libitum	Erhaltungsbedarf	k. A.	Erhaltung	k. A.
Säckchen							
Material	Polyester	Polyester	Polyester	Polyester	Polyester	Polyester	Polyester
Porengröße	20–40 µm	35–40 µm	40–60 µm	40–50 µm	40–60 µm	30–50 µm	53 µm
Probenmenge : Oberfläche	12–20 mg/cm ²	10–15 mg/cm ²	10–20 mg/cm ²	12 mg/cm ²	15 mg/cm ²	10–15 mg/cm ²	12,5 mg/cm ²
Probenvermahlungsgrad							
Konzentrate	2,5–3 mm	1,5 mm	2 mm	2,5 mm	1,5–3 mm	1,5–2,5 mm	2 mm
Raufutter	2,5–5 mm	1,5 mm	5 mm	4 mm	1,5–3 mm	1,5–2,5 mm	2 mm
Tiere	Schafe oder Rinder	Rinder	Alle Tiere	k. A.	k. A.	Rinder, Schafe, Ziegen	Rinder
Wiederholungen							
Anzahl der Tiere	2–4	3–4	2	3	k. A.	3	1–4
Anzahl der Tage	1–2	k. A.	k. A.	1	k. A.	1	1–4
Anzahl der Säckchen	1–4	k. A.	2	1	k. A.	2	1–8
Vorbehandlung	k. A.	k. A.	Voreinweichen	nein	nein	k. A.	Voreinweichen
Inkubationsmerkmale							
Lage im Pansen	Kontakt mit Flüssigkeit und Feststoffen	Ventraler Pansensack, frei beweglich	k. A.	frei in flüssiger Phase	k. A.	k. A.	Ventraler Pansensack, frei beweglich
Einhänge-/Entnahmeregeln	gleichzeitiges Einhängen	k. A.	gleichzeitige Entnahme	Jeder Versuch einzeln	gleichzeitiges Einhängen	gleichzeitiges Einhängen	gleichzeitige Entnahme
Zeiten	2, 6, 12, 24, 36	2, 4, 8, 16, 24, 48 bei Raufutter	6–12 Zeiten bis 24 h, > 25 h andere	Kraftfutter: 0, 2, 6, 8, 24, 48 Raufutter: 0, 8, 12, 24, 48, 72	Entsprechend der Kurve	0, 2, 4, 8, 16, 24, 48	16 h für Test, Zeit nach Rate
Waschen	Hand	Hand	Hand	Maschine	k. A.	Maschine	Hand
Mikrobielle Korrektur	Korrektur	k. A.	Korrektur	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Standardfutter	k. A.	k. A.	verwendet	k. A.	verwendet	verwendet	k. A.

3 MATERIAL UND METHODEN

3.1 Futtermittel

Futtermittel sind pflanzliche oder tierische Erzeugnisse in natürlichem Zustand, frisch oder haltbar gemacht, und die Erzeugnisse ihrer industriellen Verarbeitung sowie organische und anorganische Stoffe, mit oder ohne Zusatzstoffen (LEITGEB 2002). Grundsätzlich werden die Futtermittel unterschieden in Grundfutter und Krafffutter. Diese werden den Tieren entweder einzeln (z.B. Grünfutter, Silagen, Kartoffeln, Futterrüben, Getreidekörner) (= Einzelfuttermittel) oder in Mischungen (= Mischfuttermittel) vorgelegt. Bei der industriellen Verarbeitung pflanzlicher und tierischer Rohstoffe fallen ebenso beachtliche Mengen an Nebenprodukten an. Darüber hinaus liefert die Industrie Futtermittel und Futterzusatzstoffe, die vor allem zu einer Komplettierung und Aufwertung der Ration im Rahmen einer vollwertigen Ernährung der Nutztiere beitragen (JEROCH et al. 1999).

Um diese Futtermittel bewerten und für die Rationsberechnung auch bedarfsgerecht einsetzen zu können, ist die Kenntnis der Gehalte an Inhaltsstoffen und deren Abbauraten von Bedeutung. Falsch eingeschätzte Abbauraten verhindern ein optimales Wachstum und eine größtmögliche Syntheseleistung der Pansenmikroben. Dynamische Modelle beruhen auf der Abbaukinetik der Kohlenhydrat- und Proteinfractionen (RUSSEL et al. 1992).

Eine der wichtigsten Ziele der Rationsoptimierung ist es, Grundfutter und Krafffutter so zu kombinieren, dass die genetisch mögliche Leistungsfähigkeit der Tiere ausgenutzt wird und die Futterkosten je Leistungseinheit möglichst niedrig sind (GRANZ et al. 1990). Bei der Beurteilung der Futtermittel sind mehrere Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Neben der Preiswürdigkeit des Futtermittels, der Schmackhaftigkeit und den technischen Voraussetzungen bei Ernte und Konservierung ist vor allem der Gehalt an Inhaltsstoffen von besonderer Bedeutung. Da diese Nährstoffgehalte stark schwanken können, ist eine Orientierung an Tabellenwerten meist unzureichend. Die Berücksichtigung der Protein- und Kohlenhydrat-Abbauraten führt zu optimalen Bedingungen für die Pansenmikroben und in Folge davon auch zu einer bestmöglichen Versorgung des Wirtstieres.

3.1.1 Im Versuch analysierte Futtermittel

Im vorliegenden Projekt sollten die wichtigsten in Österreich erzeugten bzw. verwendeten Krafffuttermittel im Hinblick auf den Gehalt an Rohnährstoffen sowie Gerüstsubstanzen, vor allem aber auf den Gehalt an den Fraktionen des CNCPS und auf die Abbauraten der Trockenmasse untersucht werden.

Von den in der Mischfutterindustrie zum Einsatz kommenden Futterstoffen wurden unter Koordination von Dipl.-Ing. Dr. C. Murauer (Garant Tiernahrung GmbH, Pöchlarn) im

Mischfutterwerk Pöchlarn in repräsentativer Weise Proben gezogen. Proben von Biertrebersilage, Maiskorn- bzw. CCM-Silagen sowie Kürbiskernkuchen wurden von den Landwirtschaftskammern Steiermark, Niederösterreich und Oberösterreich auf landwirtschaftlichen Betrieben bzw. Produktionsstätten dieser Bundesländer gezogen. Die Kartoffel und Futterrüben stammten aus pflanzenbaulichen Versuchen der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (Dipl.-Ing. W. Hein). Von den häufig verwendeten Kraftfuttermitteln wurden je drei verschiedene Proben gezogen, von den weniger gebräuchlichen dagegen nur zwei.

ENERGIEREICHE KRAFTFUTTERMITTEL

- a. **Getreidearten:** Gerste, Weizen, Hafer, Roggen, Triticale, Mais, CCM, Maiskornsilage, Sorghum-Hirse
- b. **Nebenprodukte:** Weizenfuttermehl, Weizenkleie, Trockenschnitzel, Maizeglutenfeed, Sojaschalen
- c. **Wurzeln und Knollen:** Futterrübe, Kartoffel
- d. **Leguminosen und Ölsaaten:** Ackerbohne, Erbse, Sojabohne, Rapssamen, Sonnenblumensamen

PROTEINREICHE KRAFTFUTTERMITTEL

- e. **Extraktionsschrote:** Sojaextraktionsschrot 44, Sojaextraktionsschrot 50, Sojaextraktionsschrot geschützt, Rapsextraktionsschrot, Sonnenblumenextraktionsschrot
- f. **Ölkuchen bzw. Expeller:** Rapskuchen, Sonnenblumenkuchen, Kürbiskernkuchen, Palmkernkuchen
- g. **Nebenprodukte:** Biertrebersilage, Biertreber getrocknet, Maisschlempe getrocknet, Weizenschlempe getrocknet

3.1.2 Energiereiche Kraftfuttermittel

a. Getreidearten

Der Begriff Getreide bezieht sich auf die zur Körnernutzung angebauten Gramineen. Die wichtigste Rohnährstofffraktion des Getreides bilden die N-freien Extraktstoffe (XX). In ausgereiften Körnern bestehen sie vorwiegend aus Stärke. Die XX beinhalten auch Teile der Gerüstsubstanzen bzw. Zellwandkohlenhydrate (JEROCH et al. 1999). Getreidekörner sind durch den hohen Stärkeanteil vorrangig energieliefernde Futtermittel. Der Schalen- bzw. Spelzenanteil der Körner bestimmt die Höhe des Rohfasergehaltes.

Rohfaserarm sind die unbespelzten Arten (Mais, Weizen, Roggen, Triticale). Der spelzenreiche Hafer enthält von den inländischen Getreidearten den höchsten Rohfasergehalt.

Gerste als Winter- oder Sommerform ist ein sehr geeignetes, energiereiches Kraftfuttermittel für Wiederkäuer. Hohe Abbauraten von Stärke und Protein im Pansen sind spezifische Eigenschaften der Gerste. Sie weist einen niedrigen Gehalt an Protein auf, welches im Pansen relativ schnell abgebaut wird.

Weizen als wichtigstes Nahrungsgetreide für den Menschen erreicht in vollkörniger Qualität einen relativ hohen Energie- und Rohproteingehalt. Weizenschrot ist ein wertvolles Kohlenhydratfuttermittel für Wiederkäuer. Die hohe Verdaulichkeit und der geringe Rohfasergehalt hemmen die Verdauungsmotorik.

Hafer enthält mehr Fett und Rohfaser als alle anderen Getreidearten. Die rohfaserreiche Spelze, die mit einem Anteil von rund 25% am Aufbau des Haferkorns beteiligt ist, verursacht die relativ niedrige Verdaulichkeit der organischen Substanz und die daraus resultierende mäßige Energiekonzentration. Seine günstige Wirkung in der Fütterung hochträchtiger Kühe, Zuchtstiere und Kälber ist unbestritten.

Roggen steht in größerem Umfang für die Wiederkäuerfütterung besonders auf leichten und sauren Böden zur Verfügung. Roggen enthält den niedrigsten Fett- und Rohfasergehalt. Durch Roggen wird die Butter härter und das Fett am Fleisch weißer. Der strenge Geschmack hemmt die Futteraufnahme. Der lösliche Anteil der Nichtstärke-Kohlenhydrate (Pentosane, β -Glukane) im Korn beeinflusst die Verdauungsprozesse ungünstig.

Triticale hat eine beachtliche Streubreite im Nährstoffgehalt, wodurch genaue Angaben zum Futterwert kaum möglich sind. Der Energiegehalt ist dem des Weizens ähnlich, der Rohproteingehalt ist höher als in allen anderen Getreidearten. Triticale ist bei allen Tierarten gut einsetzbar.

Körnermais hat einen hohen Fett- sowie niedrigen Rohfasergehalt. Maisstärke wird im Pansen in geringerem Umfang abgebaut. Auf Grund seines hohen Energiegehaltes wird Körnermais bevorzugt in Mastmischungen eingesetzt. Allerdings beeinflussen zu hohe Gehalte in der Ration die Qualität von Schlachtkörperfett und Milchfett negativ.

CCM-Silage ist ein vielseitig einsetzbares Energiefuttermittel, für das bei allen landwirtschaftlichen Nutztieren eine hohe Aufnahmewilligkeit besteht (JEROCH et al. 1999). Der Futterwert hängt sehr stark von Reifestadium und Kolbenanteil ab.

Maiskornsilage setzt sich aus reinen Maiskörnern zusammen. Der Rohfasergehalt ist gering. Der Anteil an Stärke und Fett erhöht sich mit der Kornreife.

Hirse wird als Futtermittel in der unbespelzten Form (auch Milocorn) eingesetzt. Diese Hirseart unterscheidet sich in der Rohnährstoffzusammensetzung nur wenig vom

Körnermais. Neuere Sorten besitzen weniger Tannine und ermöglichen dadurch höhere Anteile in der Ration. Hirse wirkt sich positiv auf die Fettqualität aus.

b. Nebenprodukte

Nebenprodukte fallen bei der Verarbeitung verschiedener Rohstoffe an und sind zum Teil recht preiswürdig, sodass sie häufig als Energie- und Eiweißträger eingesetzt werden.

Weizenfuttermehl und Weizenkleie sind Rückstände der Mehlherstellung. Futtermehle weisen etwa gleiche Energiegehalte und deutlich höhere Eiweiß-, Asche-, Phosphor- und Vitamingehalte auf als das Ausgangsgetreide. Sie können wie das Ausgangsprodukt eingesetzt werden. Futtermehl hat einen geringeren Rohfaseranteil und höheren Stärkegehalt als Kleie.

Weizenkleien besitzen je nach Ausmahlungsgrad differierende Energiegehalte. Kleie bestehen hauptsächlich aus den Schalen (Aleuronschicht) und zu einem geringen Teil aus dem Mehlkörper.

Trockenschnitzel bestehen vor allem aus Zellwandkohlenhydraten, Rohprotein und Rohasche. Durch den hohen Gehalt an leichtverdaulichen Gerüstsubstanzen (Pektin) stellen Zuckerrübenschnitzel eine wertvolle Energiequelle für die Wiederkäuerfütterung dar. Die niedrige Abbaurate bedingt eine langsam fließende Energiequelle im Pansen.

Maizeglutenfeed sind Nebenprodukte der Stärkeherstellung. Der hohe Eiweißgehalt und der schnelle Abbau der organischen Masse im Pansen sprechen für den Einsatz in der Milchviehfütterung und in der Rindermast. Der Carotin- und Carotinoidgehalt beeinflussen auch die Farbe des Milchfettes günstig.

Sojaschalen werden vor dem Trocknen von den Sojabohnen entfernt. Sojaschalen haben einen hohen Rohfasergehalt, allerdings von hoher Verdaulichkeit. Der hohe Gehalt an Phytin kann von Jungtieren nicht verwertet werden.

c. Wurzeln und Knollen

Die verschiedenen Wurzeln und Knollen sind Speicherorgane, welche als Futtermittel verwendet werden. Es werden Stärke, Zucker oder Inulin eingelagert. Ein hoher Wassergehalt von 75–90% begrenzt die Lagerfähigkeit. Typisch ist ein relativ niedriger Rohproteingehalt mit einem beachtlichen Anteil an Nichtprotein-Stickstoff (NPN). Die Gerüstsubstanzen sind auf Grund nur geringer Lignineinlagerungen höher verdaulich als bei Getreide (JEROCH et al. 1999).

Futterrüben weisen eine hohe Verdaulichkeit der organischen Substanz von > 85% auf. Von besonderem Interesse ist der Zuckergehalt, der den Rohfaserabbau im Pansen bei entsprechender Dosierung fördern kann (PIATKOWSKI et al. 1990). Neben einer erhöhten Futterraufnahme kann mit der Futterrübe der Milcheiweißgehalt positiv

beeinflusst werden. Dies ist allerdings kein futtermittelspezifischer Effekt, sondern durch die hohe Energiekonzentration der Futterrübe zu erklären (GRUBER 1994).

Kartoffeln werden für Futterzwecke heute nur noch selten angebaut. Eine geringe Haltbarkeit bzw. aufwändige Heißlufttrocknung zur Konservierung beschränkt den Einsatz. Oft werden Restkartoffeln (nicht verkaufsfähige Speisekartoffeln) an Wiederkäuer verfüttert. Wiederkäuer verwerten rohe Kartoffeln gut, wenn die Gesamtration genügend Strukturfutter enthält (GRANZ et al.1990). Der Hauptinhaltsstoff der Kartoffel ist Stärke. Vom Rohproteingehalt entfallen etwa 50% auf NPN-Verbindungen.

d. Leguminosensamen und Ölsaaten

Leguminosen- und Ölsaaten sind energie- und proteinreiche Konzentratfuttermittel. Wie Getreidekörner sind Leguminosensamen calciumarm und reich an Phosphor. Leguminosensamen enthalten verschiedene antinutritive Substanzen, die ihren Anteil in Futterrationen einschränken können oder vor der Verfütterung eine thermische Behandlung erfordern. Die Nährstoffe der Körnerleguminosen werden von Wiederkäuern gut verdaut.

Ackerbohnen stellen für Wiederkäuer eine bedeutende Eiweißalternative dar. Sie enthalten eine Reihe unerwünschter Inhaltsstoffe. Die Deckung des Proteinbedarfs mit Ackerbohnen ist bei Wiederkäuern möglich (LEITGEB 2002).

Erbsen enthalten keine Bitterstoffe und sind sehr energiereich. Erbsen sind ein wertvolles Futtermittel für Schweine, für Rinder sind sie hingegen nicht ideal geeignet (LEITGEB 2002).

Sojabohnen enthalten als Schadstoffe Trypsininhibitoren und Urease. Empfindlich auf diese Schadstoffe sind Monogastrier und junge Tiere. Sojabohnen weisen einen hohen Fett- und Rohproteingehalt auf.

Rapssamen enthalten hohe Gehalte an Rohfett und Rohprotein. Rapssamen werden kaum verfüttert. Zu achten ist auf schadstoffarme Sorten.

Sonnenblumenkerne enthalten viele schwer verdauliche Gerüstsubstanzen. Das Rohfett enthält viele ungesättigte Fettsäuren.

Tabelle 3.1-1 **Antinutritive Substanzen in Körnerleguminosen**
(nach JEROCH et al. 1993)

Stoffgruppe	Chemische Verbindung	Wirkung	Vorkommen
<u>Phenolderivate</u>	Tannine	Futteraufnahmesenkung Hemmung proteolytischer Enzyme, herabgesetzte Proteinverdaulichkeit	Ackerbohnen, Erbsen
<u>Proteine</u>	Lectine	Koagulierung der Erythrozyten, Beeinträchtigung körpereigener Abwehrmechanismen	<i>Phaseolus</i> -Arten, Ackerbohnen, Erbsen, Lupinen
	Protease-Inhibitoren	Trypsinhemmende Wirkung, Pankreashypertrophie und -plasie, Wachstumsdepression	Ackerbohnen, Erbsen, Lupinen
<u>Glucoside</u>	Vicin, Convicin (Pyrimidin-Glucoside)	Störung des Fettstoffwechsels, verminderte Legeleistung und Einzeleimasse, Befruchtungs- und Schlupfleistungsdepression	Ackerbohnen, Wicken
	α -Galactoside		Lupinen, Ackerbohnen, Erbsen
	cyanogene Glucoside	Vergiftungserscheinungen durch freigesetzte Blausäure	Wicken, <i>Phaseolus</i> -Arten
<u>Alkaloide</u>	Sparteïn, Lupinin, Lupanin, Hydroxylupanin, Augustifolin	Leberschädigung, Atemlähmung, Futteraufnahmesenkung	Spuren in Süßlupinen
<u>Antivitamine</u>		Aktivitätsminderung von Niacin	Ackerbohnen

3.1.3 Proteinreiche Krafftuttermittel

e. Extraktionsschrote

Extraktionsschrote fallen als Rückstände bei der Ölgewinnung aus Sojabohnen, Raps, Sonnenblumen, Leinsamen, Erdnuss und Baumwollsaat an. Extraktionsschrote entstehen bei der chemischen Extraktion des in den Samen enthaltenen Öles. Mit Hilfe von Lösungsmitteln wird das Öl weitestgehend aus dem Rohstoff gelöst. Extraktionsschrote enthalten einen Restgehalt von 2–3% Rohfett.

Sojaextraktionsschrot 44 und 50 unterscheiden sich im Rohfaser- und Eiweißgehalt. Sojaextraktionsschrot 44 weist einen höheren Schalenanteil auf. Der Rohproteingehalt beträgt 44%. Sojaextraktionsschrot 50 hingegen ist entschält und der Rohproteingehalt beträgt folglich 50%. Sojaextraktionsschrot zählt zu den am weitesten verbreiteten Eiweißfuttermitteln. Sojabohnen enthalten wie alle Leguminosen eine Reihe von Begleit- und Hemmstoffen. Urease spaltet Harnstoff in Ammoniak und Kohlendioxid, Protease-Inhibitoren beeinträchtigen die Proteinverdauung, Hämagglutinine verursachen ein Verklumpen der roten Blutkörperchen. Saponine können zur Schaumgärung und Tympanie führen. Die Beseitigung der Hemmstoffe erfolgt durch das sog. Toasten.

Sojaextraktionsschrot mit geschütztem Eiweiß wird chemisch behandelt, um den Proteinabbau durch die Pansenmikroben zu vermindern und in der Folge die Versorgung des Wiederkäuers mit unabgebautem Futterprotein (UDP) zu erhöhen. Die Behandlung von Extraktionsschroten mit Formaldehyd verzögert den mikrobiellen Proteinabbau im Pansen um die Hälfte, ohne dass die Verdauung im Dünndarm erkennbar gesenkt wird. Aminosäuren (z.B. Lysin) gehen mit Formaldehyd eine Verbindung ein, die dem bakteriellen Angriff im Pansen widersteht, im Labmagen jedoch größtenteils gespalten wird. Außer Formaldehyd werden weitere Aldehyde, Tannin und auch Alkohol verwendet. Auch durch Hitzebehandlung oder Behandlung mit Xylose kann ein Proteinschutz erreicht werden. Für eine Behandlung kommen nur Futtermittel mit über 20% Rohprotein in Betracht.

Rapsextraktionsschrot fällt auf Grund des verbreiteten Rapsanbaues in unserer Klimazone in größeren Mengen an. Raps beinhaltet Schadstoffe, die seine Eignung als Futtermittel einschränken. Durch Züchtung erreichte man schon errucasäurefreie und glucosinolatarme Sorten. Senfölglycoside vermindern die Schmackhaftigkeit und senken in der Folge die Futteraufnahme.

Sonnenblumenextraktionsschrot kann von entschälten, teilentschälten oder nicht entschälten Samen stammen. Die Verdaulichkeit liegt auch bei geringem Schalenanteil relativ niedrig. Da in diesem Futtermittel keine toxischen Schadstoffe enthalten sind, lässt es sich bei allen Wiederkäuern einsetzen.

f. Ölkuchen bzw. Expeller

Im Gegensatz zu Extraktionsschroten wird bei Kuchen das Öl nur mechanisch mit Platten- oder Expellerpressen ausgepresst. Auf diese Weise kann das Öl nicht im gleichen Ausmaß entfernt werden wie beim Extrahieren. In Kuchen sind noch 8–10% Rohfett enthalten. Bei der Fütterung stellt dieser Restgehalt an Öl eine nicht unerwünschte Energiequelle dar. Allerdings ist auf die Qualität dieses Fettes zu achten (Lagerung, Oxidation etc.)

Rapskuchen und Sonnenblumenkuchen, entsprechen in ihren Eigenschaften grundsätzlich den oben genannten Extraktionsschroten; es ist jedoch zu beachten, dass die Verträglichkeit dieser Futtermittel auf Grund des erhöhten Ölgehaltes eingeschränkt ist.

Kürbiskernkuchen wird von geschälten und ungeschälten Kürbissamen angeboten. Dieses Futtermittel wird von den Tieren schlecht verwertet. Der geringe Futterwert führt zu schlechteren Tageszunahmen (LEITGEB 2002).

Palmkernkuchen stammt aus den Früchten von Ölpalmen. Die ölhaltigen Kerne und Samen werden ausgepresst und der Rückstand in der Verfütterung verwendet.

g. Nebenprodukte aus Brauerei und Brennerei

Biertreber fallen bei der Bierherstellung an. Die Stärke des Gerstenkornes wird durch das sog. Mälzen (Bildung der Amylase) und das daran anschließende Maischen in Zucker umgewandelt. Nach Abschluss des Maischprozesses wird die sog. süße Würze von den wasserunlöslichen Biertrebern in Filterpressen getrennt. Die süße Würze wird von Hefen nach Zusatz von Hopfenextrakt zu Alkohol vergoren. Je Hektoliter Bier fallen etwa 4–5 kg Trebertrockenmasse an.

Schlempe entsteht bei der Alkoholherstellung in der Brennerei. Die Stärke wird durch das sog. Maischen (Malz oder Amylasepräparate) zu Zucker umgewandelt und dieser von Hefen zu Alkohol vergoren. Der Alkohol wird abdestilliert. Der dabei anfallende Rückstand wird als Schlempe bezeichnet. Schlempe ist eiweißreich und hat einen hohen Gehalt an Vitamin B. Jegliche Aufbewahrung in Behältern führt zu bakterieller Infektion und starker Essigsäurebildung. Verfüttert wird Schlempe entweder unmittelbar in warmem Zustand bei 50–60°C oder getrocknet.

Biertrebersilage ist ein eiweißreiches und schmackhaftes Saftfutter. Da Biertreber im nassen Zustand rasch verpilzen, müssen sie siliert werden. Biertreber sind im Futterwert mit Weizenkleie vergleichbar und auch ähnlich einsetzbar (LEITGEB 2002). Als Biertreber getrocknet werden nur etwa 13% der anfallenden Biertreber verkauft. Die Haltbarkeit wird zwar deutlich erhöht, jedoch ist der Aufwand sehr hoch. Getrocknete Biertreber können in höheren Anteilen in der Ration enthalten sein.

Mais- und Weizenschlempe getrocknet enthalten hohe Anteile an Bypass-Proteinen. Schlempe stellt eine langsam fließende Energie- und Proteinquelle dar. Der Futterwert der Schlempe hängt vom Ausgangsmaterial ab. Durch die Hefen werden Protein, Vitamine und Wachstumsstoffe gebildet, wodurch die Schlempe mit wertvollen Nährstoffen angereichert ist. Durch den hohen Gehalt an Schleimstoffen ist die Trocknung von Schlempe schwierig, da es rasch zu einer Maillard-Reaktion kommen kann.

3.1.4 Veränderung der Pansenverfügbarkeit

1. Reduktion und Veränderung der Partikelgröße

Die physikalische Form des Futters hat einen Einfluss auf die Verweildauer im Pansen und somit auf die Fermentation und Verdaulichkeit. Das Pelletieren und Mahlen bzw. Quetschen zählen zu den wirksamsten Behandlungen zur Veränderung der Partikelgröße. Die erreichte Feinheit des Futtermittels lässt sich durch den Feinheitskoeffizienten charakterisieren (PIATKOWSKI et al. 1974). Schafe zerkleinern im Pansen auch ganze Getreidekörner, ohne dass sie wie beim Rind im Kot erscheinen (PIATKOWSKI et al. 1990).

2. Veränderung der chemischen und physikalischen Struktur

Derartige Veränderungen vollziehen sich bei Behandlung mit Natronlauge und in geringem Maße bei Anwendung von NPN-Substanzen. Die Natronlauge verändert die physikalische und chemische Struktur der Zellwand. Lignin und Hemizellulose werden löslicher und die Zellwand besser fermentierbar.

Die Hitzebehandlung von Stärke, besonders durch das Extrudieren, bewirkt eine Gelatinisierung der Stärke, was jedoch, abgesehen bei hohen Maisstärkeanteilen in der Ration, ohne praktische Bedeutung ist.

3. Geschütztes Protein

Die Behandlung von Extraktionsschroten mit 0,5–1,0 g Formaldehyd je 100 g Rohprotein verzögert den mikrobiellen Proteinabbau im Pansen um die Hälfte, ohne dass die Verdauung im Dünndarm erkennbar gesenkt wird. Aminosäuren (z.B. Lysin) gehen mit Formaldehyd eine Verbindung ein, die dem bakteriellen Angriff im Pansen widersteht, im Labmagen (pH 2–3) jedoch größtenteils gespalten wird. Außer Formaldehyd werden weitere Aldehyde, Tannin und Alkohol verwendet. Auch durch Hitzebehandlung kann ein Proteinschutz erreicht werden. Bei allen Behandlungen besteht jedoch die Gefahr einer Proteinschädigung, d.h. einer Herabsetzung der Verdaulichkeit im Darm. Für eine Behandlung kommen nur Futtermittel mit über 20% Rohprotein in Betracht, also eiweißreiches Grünfutter nicht.

Der hier verwendete Sojaextraktionsschrot SoyPass[®], wurde zur Verminderung der Abbaugeschwindigkeit mit Xylose behandelt. Das Futtermittel wird durch Zugabe von Xylog (Borregaard Lignotech, Sarpsborg, Norwegen) unter Hitze und erhöhter Feuchtigkeit verändert (US Patent Nr. 4.957.748. 18. September 1990). Xylog ist ein Produkt, das aus Holz erzeugt wird, und ist deshalb reich an Xylose (HARSTAD und PRESLØKKEN 1999).

3.1.5 Behandlung von Futtermitteln

Zur Erhöhung ihres Futterwertes können die Futtermittel einer physikalischen oder chemischen Veränderung unterzogen werden. Dadurch wird der spezifische ernährungsphysiologische Wert hinsichtlich Energie- und Proteinversorgung verbessert. Weiters können auch minderwertige Futtermitteln behandelt und dadurch in ihrem Futterwert deutlich erhöht werden.

Tabelle 3.1-2 **Mögliche Behandlungen von Futtermittelgruppen**
(nach PIATKOWSKI et al. 1990)

Trocken	Feucht	Chemisch
T1 Mahlen	F1 Einweichen	C1 Alkalien
T2 Pelletieren	F2 Dampfbehandlung und Flocken	C2 Säuren
T3 Quetschen	F3 Kochen unter Druck	C3 Formaldehyd
T4 Extrudieren	F4 Homogenisieren	C4 Hemmung der Verpilzung
T5 Mikronisieren		C5 Ölextraktion
T6 Puffen		C6 Antioxydantien
T7 Sterilisieren		
T8 Trocknen		

Für die einzelnen Futtermittelgruppen sind folgende Behandlungen möglich:

Getreidekörner	T1, T2, T3, T6, F2, F3, C1, C4
Hülsenfrüchte	T1, T2, F3
Ölsaatrückstände	T3, F2, C3, C5
Faserhaltige Materialien	T1, T2, F1, C1, C2
Tierische Abfallprodukte	T7, C1, C3
Öle und Fette	T8, F3, F4, C6
Recycelte Rückstände	T7, C1, C3
Flüssige Futtermittel	F3

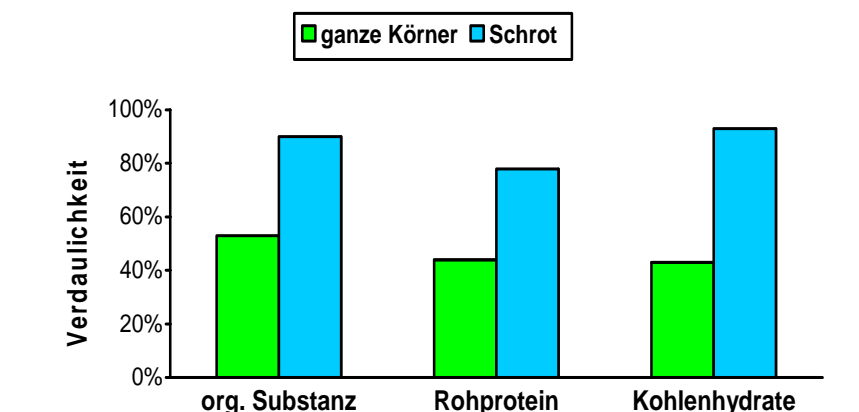


Abbildung 3.1-1 **Einfluss der Zerkleinerung von Getreidekörnern auf den Abbau**
(nach JEROCH et al.1993)

3.2 Ermittlung der Abbaubarkeit durch die *in-sacco*-Methode

3.2.1 Vorbereitung der Proben

Die Handelsfuttermittel des vorliegenden Projektes waren mit einem Trockenmassegehalt von mehr als 86% lagerfähig und bedurften keiner weiteren Trocknung. Feuchtere Futtermittel oder Silagen (z.B. Futterrüben, Kartoffel, CCM, Biertrebersilage) wurden nach der Entnahme aus dem Silo tief gefroren. Diese Futtermittel wurden anschließend mit der Gefriertrocknungsanlage getrocknet. Eine übliche Trocknung mit Heißluft ist bei einigen Futtermitteln auf Grund der Wahrscheinlichkeit von Maillard-Reaktionen nicht angebracht bzw. würde sowohl die Anteile der Fraktionen des CNCPS als auch die Abbaurate beeinflussen.

Um eine gleichmäßige und für die *in-situ*-Methode empfohlene Partikelgröße der Futtermittel zu erreichen, wurden die Kraftfuttermittel in einer Probenmühle (Firma Kurtz) mit einem 3 mm Sieb gemahlen. Bereits geschrotete Futtermittel wie z.B. Weizenfuttermehl, auch einige Silagen und Rüben brauchten auf Grund der feinen Struktur nicht mehr gemahlen zu werden.

Von allen Futtermitteln wurde im getrockneten Zustand eine Probe an das Labor der HBLFA Raumberg-Gumpenstein zur chemischen Analyse weitergeleitet.

3.2.2 Die Nylon-bags

Es wurden Nylon-bags der Firma *Ankom Technology Corporation (Fairport, New York, USA)* verwendet. Die Abmessungen dieser Gewebesäckchen betragen ca. 10 x 20 cm, die Maschenweite beträgt 50 µm. Um die Säckchen befestigen zu können, wurde eine Fläche von ca. 10 cm² mit einem Plastikschweißgerät an einer Ecke des Nylon-bags verschweißt und eine Niete eingesetzt. Dadurch verringerte sich die Oberfläche des Säckchens von 400 auf ca. **380** cm².

Vor der Befüllung mit dem Futtermittel wurden die Säckchen beschriftet, bei 60°C im Trockenschrank 24 h getrocknet und im Exsikkator abgekühlt. Das Leergewicht der Säckchen wurde notiert und die Säckchen mit 12,0 ± 0,05 g des jeweiligen Futtermittels befüllt. Die Füllmenge wurde höher als die von vielen Autoren geforderten Normwerte festgelegt. Notwendig wurde dies, um auch nach längeren Inkubationszeiten noch genügend Probenmaterial für die chemische Analyse zur Verfügung zu haben. Gerechtfertigt wird diese Entscheidung mit den tendenziell höheren Abbauraten von Kraftfuttermitteln gegenüber Grundfuttermitteln, anhand derer die Norm festgelegt wurde. Zu Beginn der Inkubation weist die Füllmenge zur Oberfläche zwar ein sehr enges Verhältnis auf, nach wenigen Stunden wird dieses Verhältnis aber durch den mikrobiellen Abbau deutlich erweitert. Weiters ist zu beachten, dass in Kraftfuttermitteln der hohe Anteil an wasserlöslichen Substanzen schon zu Beginn relativ stark ausgewaschen und die Masse der inkubierten Futtermittel somit schon von Beginn an stark reduziert wird.



Abbildung 3.2-1
Einwiegen der Säckchen



Abbildung 3.2-2
Säckchen am Gewicht befestigt

3.2.3 Die Versuchstiere

Als Versuchstiere wurden vier zehnjährige Ochsen herangezogen. Diese Ochsen hatten eine Lebendmasse von jeweils ca. 1.200 kg und wurden als Jungtiere fistuliert. Eine Pansenfistel besteht aus einem Außenring, einem Pfropfen und einem Deckel. Der Außenring besteht aus Gummi, welcher direkt an der Haut anliegt. Der Pfropfen aus Hartgummi wird bei der Inkubation herausgenommen, wodurch die Öffnung zum Pansen freigegeben wird. Außenring und Pfropfen verschließen auf Grund einer Dichtungslippe luft- und wasserdicht. Der verschraubte Deckel dient dem Halt des Pfropfens.

Die Tiere wurden in einem Tretmiststall mit Selbstfangfressgitter gehalten (System Bartussek) und zur Inkubation im Selbstfangfressgitter fixiert. Durch eine Barnabtrennung und die Fixierung im Fressgitter wurde eine exakte Rationszuteilung an die einzelnen Ochsen erreicht. Die Ration für die Ochsen wurde auf Erhaltungsbedarf eingestellt und setzte sich aus Heu, Grassilage, Silomais, Kraft- und Mineralfutter zusammen. Um ein möglichst gleichmäßiges Pansenmilieu zu erreichen, wurden die Tiere vor dem Versuch 10 Tage mit der standardisierten Ration angefüttert. Während der Versuchsperiode wurden die Ochsen viermal pro Tag alle 4 Stunden gefüttert. Die zusätzlichen Kraffttergaben durch die Inkubation wurden in der Rationsgestaltung nicht berücksichtigt, da sich die Nährstofflieferung der inkubierten Futtermittel rasch verändert. Die Ration wurde um 7:30, 11:30, 15:30 und 19:30 Uhr verabreicht.



Abbildung 3.2-3
**Vier Ochs im Tretmiststall mit
Selbstfangfressgitter**



Abbildung 3.2-4
geöffnete Pansenfistel

3.2.4 Durchführung der Inkubation

Die mit den Proben gefüllten Nylon-Säckchen wurden vor der Inkubation 5 Minuten in körperwarmes Wasser gelegt. Sie wurden dadurch erwärmt und saugten sich mit Wasser voll. Bei der Inkubation wurden die Säckchen mit Kabelbindern an einem Metallring befestigt. Dieses Gewicht (ca. 1 kg) zieht die Säckchen im Pansen nach unten und wirkt dadurch dem Auftrieb entgegen. Der Auftrieb wird außerdem durch die Gasbildung der Mikroben verstärkt. Ohne diese Maßnahme würden die Säckchen an der Oberfläche schwimmen und nicht der Fermentation der Pansenmikroben ausgesetzt sein, was folglich zu stark verfälschten Abbau-Ergebnissen führen würde. Der Metallring ist über eine ca. 50 cm lange Nylonschnur mit der Pansenfistel verbunden. Damit wird verhindert, dass die Säckchen den Labmagen oder den Schlund verstopfen.

3.2.5 Entnahme und weitere Behandlung

Die Proben wurden nach einem zeitlich festgelegten Schema (MERTENS 1993) aus dem Pansen entnommen (2, 4, 8, 12, 20, 32, 48h). Aus den zu den einzelnen Zeitpunkten festgestellten Abbauraten werden die kinetischen Parameter des Nährstoffabbaues berechnet (ØRSKOV und McDONALD 1979). Die Proben wurden sofort in Eiswasser getaucht, um die Fermentation zu stoppen. Anschließend wurden die Säckchen in einer Waschmaschine 45 Minuten mit kaltem Wasser schonend gespült. Anschließend wurden die Säckchen samt Probe im Trockenschrank bei 60°C 48 Stunden lang getrocknet. Danach wurde zurück gewogen und das Nettogewicht ermittelt. Die Proben wurden aus den Säckchen entnommen und ebenfalls im chemischen Labor der HBLFA Raumberg-Gumpenstein analysiert (NIRS).

Bei der Inkubation im Pansen und während des Waschvorganges gehen durch die feinen Maschen der Säckchen auch kleine Partikel verloren, obwohl sie nicht abgebaut bzw. im Wasser gelöst sind (*small particle losses*). Dadurch würde die Abbaurate überschätzt. Daher wird die echte Wasserlöslichkeit bestimmt, indem die Proben in einem getrennten Arbeitsgang mit Wasser versetzt und die im Wasser gelösten Stoffe anschließend durch ein Filter abfiltriert werden. Durch die Filter können nur gelöste Stoffe und keine kleinen Teilchen hindurch. Die Abbauraten könnten um die durch die *small particle losses* veränderten Werte nach der Methode von WEISBJERG et al. (1990) korrigiert werden, wurde in dieser Arbeit aber nicht durchgeführt.

3.2.6 Mathematische Modelle

Die Anzahl der Inkubationen und die Einteilung der Zeitintervalle sollen mit der Abbaukurve abgestimmt werden. Ein bestimmtes Schema ist nicht auf alle Futtermittel anzuwenden, sondern es sind für bestimmte Futtermittelgruppen eigene Zeitstufen erforderlich. Kriterien für diese Einteilung sind der Verlauf der Kurve, die bestmögliche Beschreibung der empfindlichen Teile der Kurve und die Beschreibung der Asymptote. Für die meisten Messungen sind vier bis sechs Inkubationszeiten erforderlich. Eine ungünstige Wahl der längsten Inkubationszeit kann zu einer Über- oder Unterschätzung der Proteinabbaubarkeit führen (VAN SOEST 1982).

Varianzen

a. Zwischen den Tierarten

PRIGGE (1978) fand zwischen Stieren und Schafen keinen Unterschied im Trockenstoffabbau. PLAYNE et al. (1978) stellten einen Unterschied bei nährstoffarmem Futter fest. Die Abbaubarkeit rohfaserreicher Futtermittel ist bei Rindern durch eine längere Retentionszeit höher (POPPI et al. 1980, REES und LITTLE 1980, HA und KENNELLY 1984, PRIGGE et al. 1984).

b. Innerhalb einer Art (zwischen Tieren)

FIGROID et al. (1972) sowie MEHREZ und ØRSKOV (1977) berichteten über Varianzen zwischen Tieren. Andere Autoren (EHLE et al. 1982, WEAKLEY et al. 1983, NOCEK 1985) stellten diese nicht fest. HOPSON et al. (1963) zeigten in ihrem Versuch, dass die Varianz zwischen den Tieren mit kürzerer Inkubationszeit exponentiell steigt. Das Alter und die Pansenentwicklung spielen nach VAZQUEZ-ANTON et al. (1993) eine entscheidende Rolle. Das Geschlecht und der physiologische Status sind ebenfalls potentielle Quellen für Varianzen (HUNTINGTON und GIVENS (1995).

c. Wiederholungen an einem Tier

Wird ein Versuch am gleichen Tier an einem anderen Tag wiederholt, müssen die Ergebnisse nicht vollständig übereinstimmen. MEHREZ und ØRSKOV (1977) fanden in ihren Versuchen die geringste Streuung zwischen Säckchen einer Inkubation, jedoch eine größere Streuung zwischen verschiedenen Inkubationstagen.

3.2.7 Rechenmodelle

Der Abbau der Futtermittel erfolgt nach MERTENS (1993) grundsätzlich in drei Phasen:

1. die anfängliche lag-Phase
2. die Periode des raschen Abbaues
3. eine Verlangsamung auf Grund der schwerer abbaubaren Fraktionen

In einem ersten Schritt wird der prozentuelle Abbau (= Verlust, *disappearance*) einer Probe zu einem bestimmten Zeitpunkt aus der Differenz [Einwaage minus Rückwaage] relativ zur Einwaage nach folgender Formel ermittelt:

$$\text{Verlust (\%)} = \frac{(\text{Probeneinwaage (g)} - \text{Probenrückwaage (g)})}{\text{Probeneinwaage (g)}} \times 100$$

Die in den einzelnen Zeitstufen festgestellten Abbauwerte lassen sich nach einer exponentiellen Gleichung von ORSKOV und McDONALD (1979) auswerten, mit der die Abbaubarkeit in der Zeit beschrieben wird.

Abbaukinetik im Modell $p = a + b * (1 - e^{-ct})$

p = aktueller Abbaugrad zum Zeitpunkt „t“ der Inkubation (%)

a = unmittelbar abbaubare Fraktion (rasch löslicher Anteil des Nährstoffs)

Intercept der Abbaukurve (zum Zeitpunkt Null), das den Anteil des unmittelbar nach der Inkubation gelösten Nährstoffanteils repräsentiert. a enthält neben den *soluble losses* (wasserlösliche Substanzverluste) auch die *small particle losses*, die durch die Poren der Säckchen verloren gehen, (Möglichkeit der Korrektur nach WEISBJERG et al. 1990)

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

c = Konstante der Abbaurates der Fraktion b je Zeiteinheit

t = Inkubationszeit

(a + b) = potentiell abbaubarer Teil des Futters

100 – (a + b) = nicht abbaubarer Teil des Futters

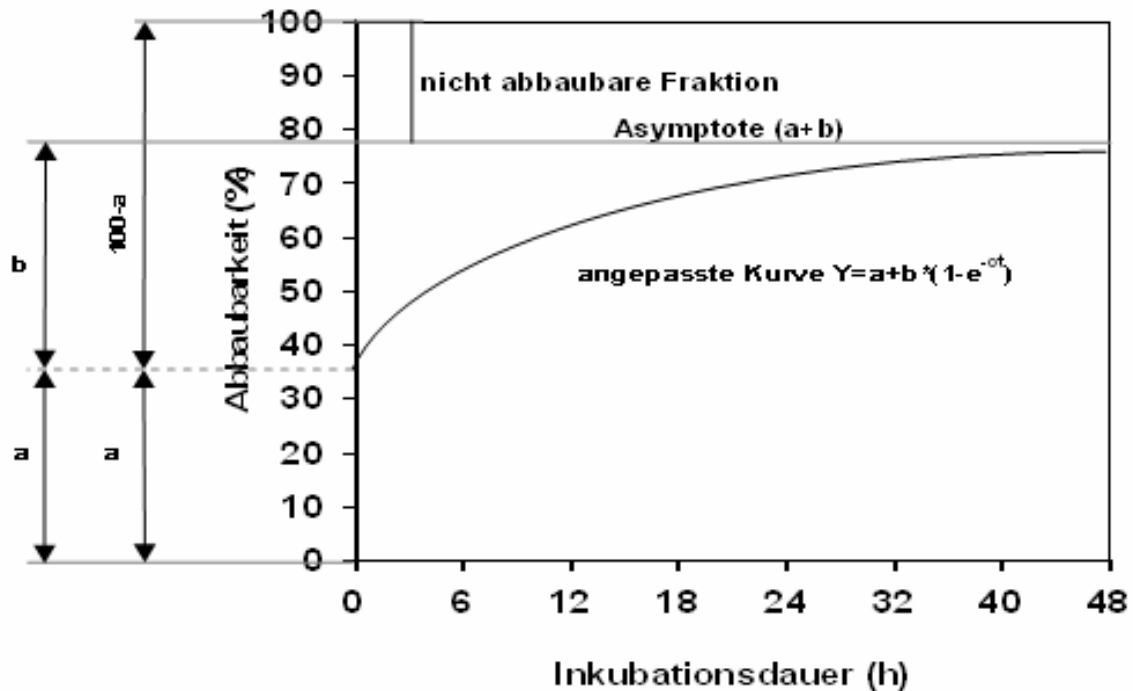


Abbildung 3.2-1 **Abbaukurve eines Futtermittels**
(nach HUNTINGTON und GIVENS 1995)

Effektive Abbaubarkeit (%) **$ED = a + [(b * c) / (c + k)]$**

Die effektive Abbaubarkeit nach ORSKOV und McDONALD (1979) gibt die Menge des Nährstoffs an, die tatsächlich im Pansen abgebaut wird. Sie wird außer der potentiellen Abbaubarkeit stark von der Zeit beeinflusst, die das Futter im Pansen verbringt, d.h. von der Passagerate. Je höher die Passagerate, desto geringer ist die effektive Abbaubarkeit, denn bei einer hohen Passagerate bleibt den Pansenmikroben weniger Zeit zur Fermentation des Futters. Die Passagerate wird vornehmlich vom Futterniveau und der Partikelgröße bestimmt (ORSKOV 1982, FOX et al. 2000). Daher wird die effektive Abbaubarkeit häufig für verschiedene Passageraten angegeben (z.B. k = 2, 5, 8%/h).

a, b, c sind die oben beschriebenen Faktoren nach ORSKOV und McDONALD (1979)
k = Passagerate (rate of passage, rumen outflow rate)

3.3 Chemische Analyse

3.3.1 Chemische Parameter und Methoden

Die chemischen Analysen der Ausgangsfuttermittel und der Proben nach der Inkubation wurden nach den Methoden des VDLUFA (1976) und der ALVA (1986) durchgeführt.

Teil CORNELL-System:

Weender Analyse: T, XA, XP, XL, XF, XX

Van Soest-Gerüstsubstanzen: NDF, ADF, ADL

CNCPS-Fraktionen: SolXP, NPN, NDF-N, ADF-N, Zucker, Stärke

Weender Analyse:

Trockenmasse

Die Probe wird unter definierten Bedingungen 30 Minuten lang bei 130°C getrocknet. Der dabei eintretende Gewichtsverlust wird als Feuchtigkeit bezeichnet und in Prozent angegeben.

Rohasche

Die Probe wird bei einer Temperatur von 550°C 3 Stunden lang im Muffelofen verascht. Der Rückstand wird als Rohasche bezeichnet und in Prozent angegeben.

Rohfett

Die in Petrolether löslichen Substanzen werden durch einen Extraktionsvorgang erfasst und als Rohfett bezeichnet. Nach der Trocknung wird die Gewichts Differenz ermittelt.

Rohprotein

Bei der N-Bestimmung nach Kjeldahl werden die organischen, stickstoffhaltigen Substanzen mit konz. H_2SO_4 zerstört, wobei der Kohlenstoff zu CO_2 oxidiert wird und der zuvor gebundene Stickstoff nach dieser Behandlung quantitativ als Ammoniumsulfat $(NH_4)_2SO_4$ vorliegt.

Nach erfolgtem Aufschluss wird die schwache Base Ammoniumhydroxid NH_4OH aus den Lösungen ihrer Salze durch Zugabe überschüssiger Natronlauge NaOH, also starker Alkalien, verdrängt und als gasförmige Ammoniumverbindung ausgetrieben. Die Bestimmung erfolgt durch Absorption in einer überschüssigen, aber genau abgemessenen Menge einer Säure bekannten Gehaltes.

Rohfaser

Die Analyse dient der Bestimmung des Gehaltes an säure- und alkali-unlöslichen fettfreien organischen Bestandteilen in Futtermitteln. Die Probe wird entfettet und zuerst mit Schwefelsäure und in der Folge mit Kalilauge bestimmter Konzentration behandelt.

Der nach dieser Behandlung verbleibende Rückstand wird durch Filtration abgetrennt, gewaschen und getrocknet. Nach der Wägung des trockenen Rückstandes wird dieser bei 450°C verascht und neuerlich gewogen. Der auf diese Weise festgestellte Ascheanteil wird vom Gewicht des getrockneten Rückstandes abgezogen und dieser Rückstand prozentuell auf die Einwaage bezogen.

Stickstoff-freie Extraktstoffe

Diese Fraktion wird nur rechnerisch ermittelt. XX ist der restliche Teil des Futtermittels, der auf 100% fehlt. Durch Summierung von Analysefehlern kann dieser Wert beachtlich abweichen.

Van Soest-Gerüstsubstanzen: NDF, ADF, ADL

Die Bestimmung von NDF und ADF erfolgt durch Behandlung der Probe mit den Detergentien-Lösungen nach Van Soest. Nach dem Kochen der Probe in neutraler Detergentienlösung bleibt NDF als unlöslicher Teil über. NDF stellt die Summe der Gerüstsubstanzen (Hemizellulose, Zellulose und Lignin) dar. Beim Kochen der Probe mit saurer Detergentienlösung geht Hemizellulose in Lösung und man erhält die schwerer abbaubare Fraktion ADF (Zellulose und Lignin). Kocht man diesen Rückstand mit hochkonzentrierter Schwefelsäure, erhält man als Rückstand ADL (Lignin) (VDLUFA 1976, ALVA 1986, VAN SOEST et al. 1991).

CNCPS-Fractionen:

Die Protein-Fractionen nach dem CNCPS wurden nach den Arbeiten von KRISHNAMOORTY et al. (1982) und LICITRA et al. (1996) bestimmt.

Die Fractionen der Faser-Kohlenhydrate (C, B₂) wurden nach den Vorgaben von SNIFFEN et al. (1992) aus der Detergentien-Analyse nach VAN SOEST et al. (1991) nach folgendem Schema analysiert und errechnet:

$$B_2 = \text{NDF} - (\text{NDF-P} + \text{ADL} \times 2,4)$$

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

Die Fractionen der Nichtfaser-Kohlenhydrate (A, B₁) wurden nicht analysiert, sondern der Feed Library des CNCPS entnommen. In dieser Datei nicht enthaltene Futtermittel des vorliegenden Projektes wurden anderen Tabellenwerken (DLG 1997, SAUVANT et al. 2004) entnommen (A = Zucker und B₁ = Stärke).

Teil in-situ-Methode:

Weender Analyse: T, OM, XP

Van Soest-Gerüstsubstanzen: NDF

Für die Analyse der Futtermittelreste nach der Panseninkubation wurde die NIRS-Technik herangezogen. Die Analyse der dafür erforderlichen Eichproben erfolgte nach oben beschriebenen, konventionellen Methoden.

Spektroskopische Qualitätsermittlung mit NIRS:

Die Nah-Infrarot–Reflexionsspektroskopie ist eine physikalische Methode zur Bestimmung von Inhaltsstoffen (SHENK 1990, DARDENNE und BISTON 1990), Verdaulichkeit und Energiegehalt (DE BOEVER 1996) von Futtermitteln. NORRIS et al. (1976) setzte diese Methode als erster zur Bestimmung von Inhaltsstoffen und der Verdaulichkeit (in vitro und in vivo) ein.

Schätzungen der Inhaltsstoffe mit NIRS erfordern eine Kalibrierung an Referenzwerten aus konventionellen Analysen. Die Genauigkeit der NIRS-Analyse ist niedriger als die der konventionellen Analyse, denn die Ergebnisse aus der NIRS-Messung haben Fehlerquellen, einerseits durch die Messdifferenzen der verschiedenen NIRS-Apparate und andererseits können sich Fehler summieren, die bei der konventionellen Laboranalyse entstehen. Auf Grund der genannten Fehlerquellen sind die NIRS-Analysenwerte in der Literatur nicht in jedem Fall akzeptiert (BERZAGHI 1997). Die Reproduzierbarkeit der NIRS-Ergebnisse wird hingegen von vielen Autoren höher eingeschätzt als die der konventionellen Referenzmethoden (BARTON 1990, MARUM und AASTVEIT 1990, RHIS 1990, WINDHAM und BARTON 1991, PAUL und SCHÖBERLEIN 1991).

NIRS ist durch ihre schnelle und preisgünstige Anwendung eine interessante Analysenmethode bei Versuchen mit einer hohen Anzahl von Analysen, weshalb diese Analysenmethode auch im vorliegenden Projekt eingesetzt wurde. Die hohe Anzahl an Proben ergibt sich aus der Notwendigkeit mehrerer Zeitstufen zur Abschätzung der Kinetik des Nährstoffabbaues.

An die Probenvorbereitung sind besondere Anforderungen zu stellen. NORRIS et al. (1976) sowie PAUL (1987) und auch WILLIAMS (1990) stellten einen Einfluss der Mahlfeinheit und des Wassergehaltes des Untersuchungsgutes auf das NIRS-Ergebnis fest. Wie bei der konventionellen, nass-chemischen Analyse können auch mit NIRS nur von vorschriftsmäßig aufbereiteten Proben exakte Messwerte produziert werden.

3.4 Statistische Auswertung

Die zur Beschreibung der Abbaukinetik erforderlichen Parameter (a, b und c) nach ORSKOV und McDONALD 1979) wurden mit dem Statistik-Paket STATGRAPHICS Plus (1996) mit der Prozedur "Nonlinear Regression – Methode Marquardt" ermittelt.

4 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

4.1 Nährstoffgehalt und Fraktionen des CNCPS

Die Nährstoffe der Futtermittel wurden zuerst nach der Methode der WEENDER Analyse in folgende Gruppen unterteilt:

- XP** = Rohprotein
- XL** = Rohfett
- XF** = Rohfaser
- XX** = N-freie Extraktstoffe
- XA** = Rohasche

Zur Erweiterung und Differenzierung dient die VAN SOEST Detergentienanalyse. Sie fraktioniert die Gerüstsubstanzen in

- NDF** = neutrale Detergentienfaser
- ADF** = saure Detergentienfaser
- ADL** = saures Detergentien-Lignin.

Aus diesen drei Gruppen lassen durch Subtraktion die Gerüstkohlenhydrate Hemizellulose, Zellulose und Lignin ermitteln.

- Hemizellulose** = NDF – ADF
- Zellulose** = ADF – ADL
- Lignin** = ADL

Die Kraftfuttermittel wurden auch entsprechend den Vorschriften des Cornell Net Carbohydrate and Protein Systems analysiert. Die Analyse nach CNCPS ergibt eine weitergehende Differenzierung der Kohlenhydrate in vier Fraktionen (A, B₁, B₂, C) und eine Differenzierung des Rohproteins in fünf Fraktionen (A, B₁, B₂, B₃, C), entsprechend ihrer Abbaugeschwindigkeit und Verfügbarkeit im Pansen. Die ermittelten Werte werden in der Tabelle 4.1-1 und in darauf folgenden Grafiken dargestellt und aufbereitet.

In den nachfolgenden Tabellen und Grafiken werden die ermittelten Werte dargestellt, miteinander verglichen und mit den Ergebnissen anderer Autoren gegenübergestellt.

Tabelle 4.1-1 **Gehalte der Futtermittel an Rohnährstoffen und Gerüstsubstanzen**

Futtermittel	TM	XP	XL	XF	XX	XA	NDF	ADF	ADL	ZEL	HEM
ENERGIETRÄGER											
Getreidearten (Gruppe 1)											
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	141	13	34	782	30	213	41	12	29	172
Mais	908	96	47	28	814	14	154	38	6	31	117
CCM-Silage	943	99	38	26	821	15	125	30	6	24	95
Maiskornsilage	916	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)											
Weizenfuttermehl	920	200	50	87	605	58	411	127	34	93	284
Weizenkleie	918	189	33	108	591	78	518	144	39	105	374
Trockenschnitzel	934	117	15	165	604	98	400	227	24	202	174
Maizeglutenfeed	914	253	14	71	592	69	389	92	11	81	297
Sojaschalen	925	193	50	301	400	56	538	365	24	341	174
Wurzeln und Knollen (Gruppe 3)											
Futtermübe	936	51	2	56	848	43	110	65	19	47	45
Kartoffel	917	81	2	30	810	76	142	41	15	26	102
Leguminosensamen und Ölsaaten (Gruppe 4)											
Ackerbohne	920	272	41	174	471	43	482	226	49	177	256
Erbsen	907	223	9	73	660	35	398	108	5	103	290
Sojabohne	954	385	186	111	261	56	220	147	32	115	73
Rapssamen	973	203	360	250	143	44	356	254	54	200	102
Sonnenblumensamen	970	167	344	303	156	31	387	318	67	251	69
PROTEINTRÄGER											
Extraktionsschrote (Gruppe 5)											
Sojaextraktionsschrot 44	932	472	17	83	347	82	167	121	18	103	45
Sojaextraktionsschrot 50	929	515	12	51	347	76	100	70	15	54	30
Sojaextraktionsschrot geschützt	925	496	10	42	376	76	275	75	18	57	200
Rapsextraktionsschrot	919	387	21	135	380	77	248	241	52	190	7
Sonnenblumenextraktionsschrot	936	367	32	219	308	74	374	278	78	200	96
Ölkuchen bzw. Expeller (Gruppe 6)											
Rapskuchen	936	348	80	129	372	70	365	242	52	190	124
Sonnenblumenexpeller	952	332	41	210	348	69	382	275	91	184	107
Kürbiskernkuchen	951	612	116	50	100	123	171	66	18	48	105
Palmkernexpeller	944	184	89	215	466	46	730	440	138	303	289
Nebenprodukte (Gruppe 7)											
Biertrebersilage	934	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	359	26	75	487	53	317	119	35	84	198
Maisschlempe getrocknet	920	299	123	76	451	50	313	99	29	70	214

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 Detergentienfaser, Saure Detergentienfaser, Lignin, Zellulose (ADF – ADL), Hemizellulose (NDF – ADF)

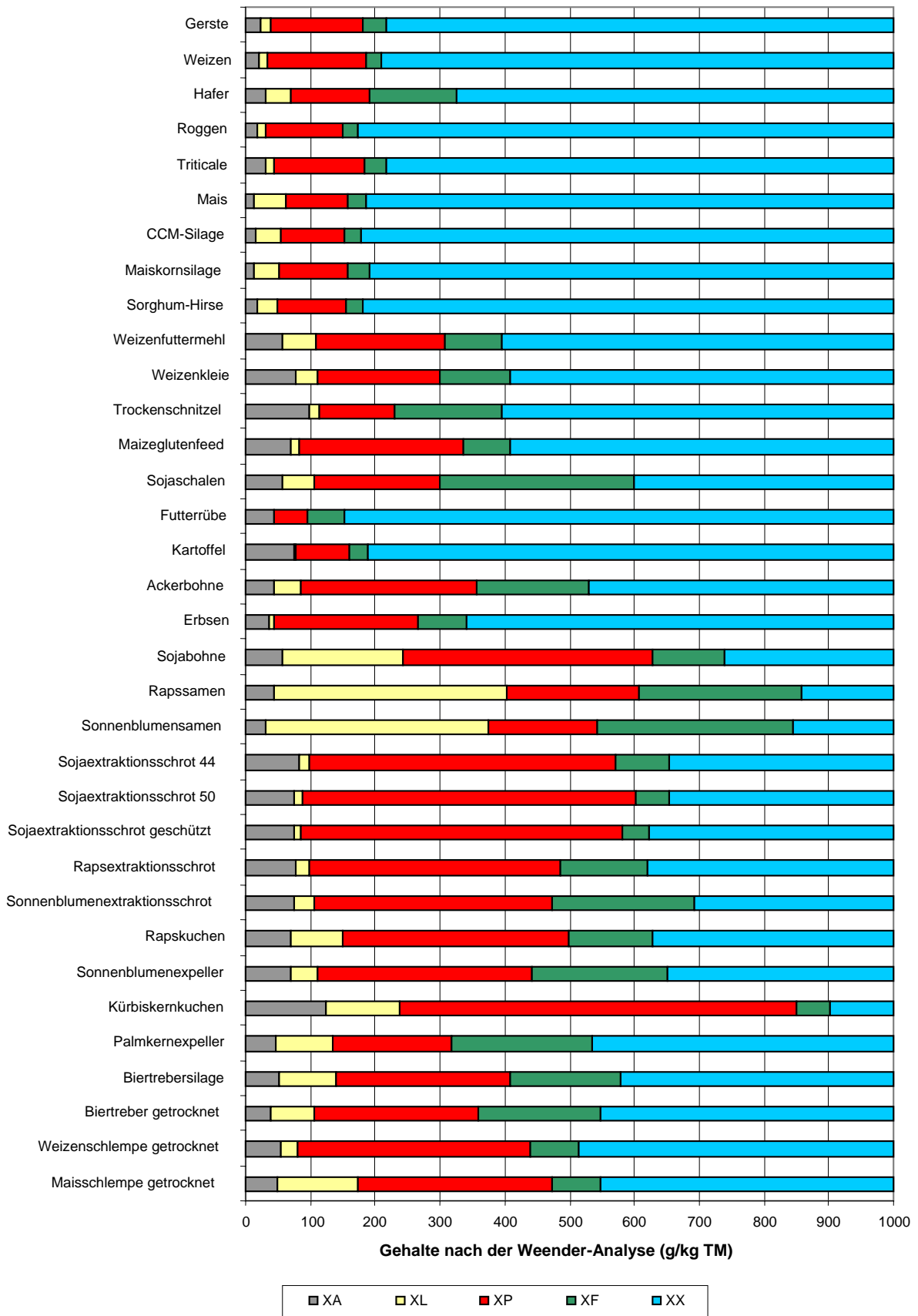


Abbildung 4.1-1 Gehalte an Nährstoffen nach der Weender-Analyse

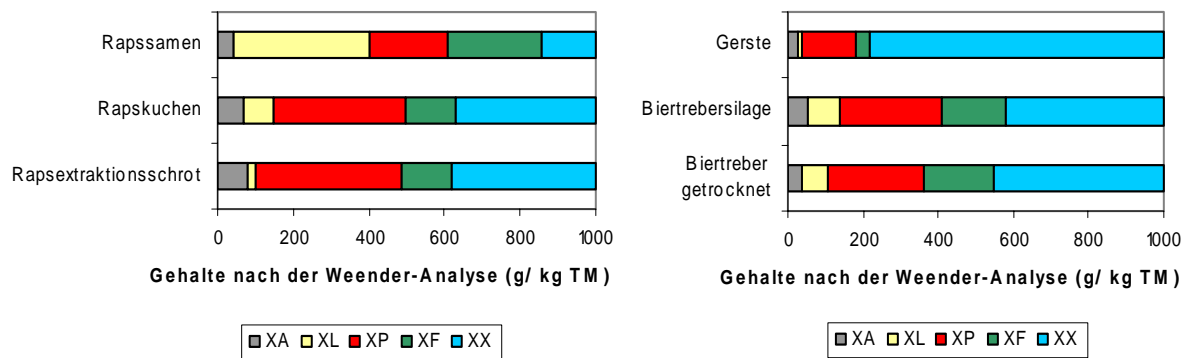


Abbildung 4.1-2 Nährstoffgehalte der Spezies Raps und Gerste

Zur Ölgewinnung wird Rapssamen der Hauptnährstoff Fett bzw. Öl entzogen. Je nach Behandlungsart wird, wie in der Grafik oben sichtbar, dieser Bestandteil unterschiedlich intensiv entzogen. Daraus resultierend erscheinen die anderen Nährstoffe bei Rapskuchen und Rapsextraktionsschrot in einem höheren Anteil auf.

Bei der Verwendung von Gerste für die Brauerei wird ein Großteil der Stärke in Zucker umgewandelt und danach von Hefen vergoren. Trotzdem sind in Bietrebern noch erhebliche Restmengen an N-freien Extraktstoffen vorhanden.

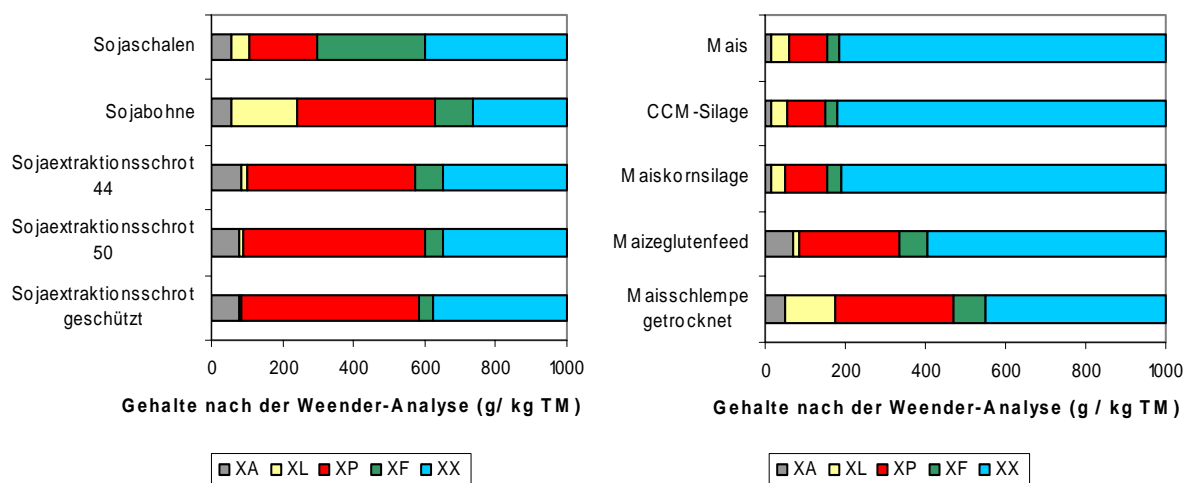


Abbildung 4.1-3 Nährstoffgehalte der Spezies Soja und Mais

Die verschiedenen Verarbeitungsprodukte der Sojabohne weisen unterschiedlich hohe Gehalte an Rohprotein auf. Die Verfügbarkeit der einzelnen Proteinfractionen lässt sich daraus jedoch nicht ableiten. Dies wird aber durch die Fraktionierung nach CNCPS ermöglicht. Neben Protein weisen die Sojafuttermittel auch einen hohen Gehalt an Stickstoff-freien Extraktstoffen auf.

Mais besitzt, wie oben sichtbar, als Hauptnährstoff Stärke. Er wird deshalb auch als energiebetontes Futter eingesetzt.

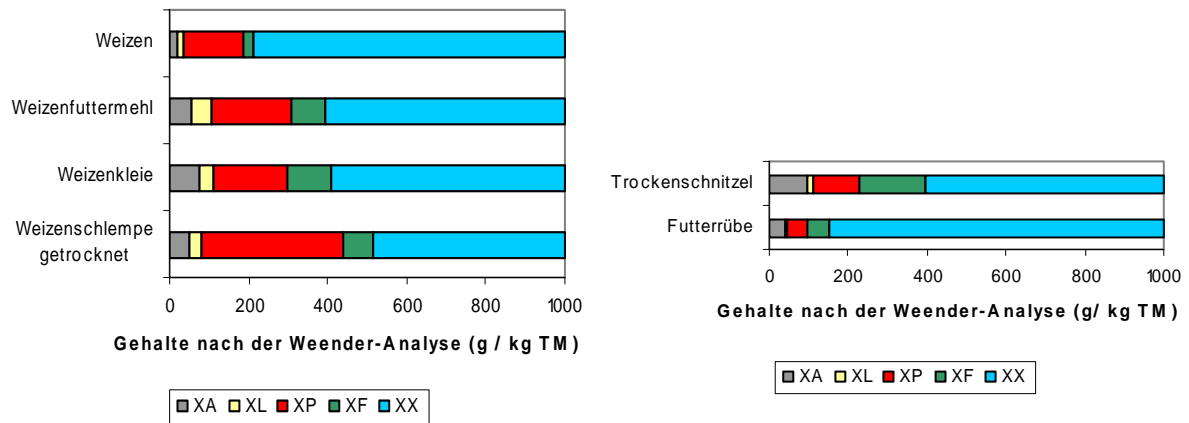


Abbildung 4.1-4 **Nährstoffgehalte der Spezies Weizen und Rübe**

Dem Weizenkorn wird bei der Mehlerzeugung ein Teil des Hauptnährstoffes Stärke entzogen. Je nach Ausmahlungsgrad erhält man als Futtermittel Weizenfuttermehl oder Weizenkleie, in denen folglich Rohfaser und Protein angereichert sind. Weizenschlempe wird Stärke im Zuge der Vergärung entzogen.

Futterrübe enthält ähnlich wie die Zuckerrübe überwiegende Mengen an Zucker. Trockenschnitzel weisen neben Restgehalten auch auf Grund der Melassierung relativ hohe Zuckerwerte auf.

Tabelle 4.1-2 Kohlenhydrat- und Proteinfractionen der Futtermittel (CNCPs)

Futtermittel	KOHLENHYDRATE							PROTEIN				
	CHO	FC	NFC	A	B ₁	B ₂	C	A	B ₁	B ₂	B ₃	C
ENERGIETRÄGER												
Getreidearten (Gruppe 1)												
Gerste	820	319	501	6,1	55,0	36,2	2,7	12,0	4,6	52,8	28,2	2,5
Weizen	813	165	648	8,0	71,7	17,5	2,8	14,3	8,0	57,8	17,6	2,3
Hafer	808	351	457	5,7	50,9	34,9	8,6	22,8	3,9	50,9	20,0	2,4
Roggen	850	215	635	7,5	67,3	20,6	4,6	25,9	1,5	55,8	13,8	3,0
Triticale	815	183	632	7,8	69,8	19,0	3,5	18,6	7,8	52,4	19,2	1,9
Mais	843	142	701	1,2	81,9	15,0	1,8	18,4	6,1	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	18,6	2,8	22,3	2,1	57,2	6,8	11,6
Sorghum-Hirse	844	173	671	7,9	71,5	14,0	6,5	12,4	3,4	51,5	21,8	11,0
Nebenprodukte (Gruppe 2)												
Weizenfuttermehl	692	386	306	4,4	39,8	44,0	11,7	38,4	7,7	41,3	9,8	2,7
Weizenkleie	700	462	238	1,8	32,2	52,6	13,4	23,9	10,7	35,4	27,4	2,5
Trockenschnitzel	769	354	415	5,4	48,5	38,6	7,5	33,7	2,0	24,6	27,1	12,6
Maizeglutenfeed	663	360	303	0,0	45,7	50,2	4,0	57,9	1,6	28,8	10,1	1,6
Sojaschalen	701	479	222	3,2	28,5	60,3	8,1	11,8	5,2	52,5	22,5	8,0
Wurzeln und Knollen (Gruppe 3)												
Futterrübe	904	107	797	88,2	0,0	6,9	4,9	73,9	8,3	11,7	3,5	2,7
Kartoffel	840	139	701	2,3	81,1	12,3	4,3	65,0	10,4	20,9	1,2	2,5
Leguminosensamen und Ölsaaten (Gruppe 4)												
Ackerbohne	644	405	240	2,7	34,5	44,6	18,2	20,1	9,3	41,0	18,9	10,7
Erbsen	732	359	374	4,1	46,9	47,5	1,5	26,5	27,3	28,6	13,9	3,7
Sojabohne	373	149	224	6,0	54,0	19,1	20,9	12,3	13,0	56,2	5,5	13,0
Rapssamen	393	299	94	24,0	0,0	43,0	33,0	28,9	9,8	32,9	11,1	17,3
Sonnenblumensamen	458	359	100	21,7	0,0	43,1	35,1	33,4	13,9	35,6	10,5	6,6
PROTEINTRÄGER												
Extraktionsschrote (Gruppe 5)												
Sojaextraktionsschrot 44	430	129	301	7,0	63,0	19,9	10,1	6,4	6,5	79,1	5,0	3,0
Sojaextraktionsschrot 50	397	72	326	8,2	73,8	8,7	9,3	6,2	4,8	83,6	2,7	2,8
Sojaextraktionsschrot geschützt	417	68	349	8,4	75,3	6,1	10,2	4,8	0,7	52,8	34,1	7,6
Rapsextraktionsschrot	515	202	314	60,9	0,0	15,1	24,0	7,0	8,4	72,4	3,4	8,7
Sonnenblumenextraktionsschrot	527	341	187	35,4	0,0	29,1	35,5	28,2	4,1	58,5	5,0	4,2
Ölkuchen bzw. Expeller (Gruppe 6)												
Rapskuchen	502	248	254	50,6	0,0	24,7	24,7	15,5	3,8	47,0	15,0	18,8
Sonnenblumenexpeller	558	320	238	42,6	0,0	18,4	39,0	14,0	0,6	66,7	15,2	3,5
Kürbiskernkuchen	150	48	102	67,9	0,0	3,5	28,6	14,4	1,2	64,3	18,2	1,8
Palmkernexpeller	681	607	74	10,8	0,0	40,6	48,5	7,5	1,1	24,8	49,5	17,1
Nebenprodukte (Gruppe 7)												
Biertrebersilage	591	475	116	0,0	19,6	57,0	23,3	7,5	0,2	60,7	20,8	10,9
Biertreber getrocknet	640	521	119	0,0	18,6	56,6	24,7	6,2	0,2	54,2	23,3	16,1
Weizenschlempe getrocknet	562	180	383	0,0	68,0	17,2	14,7	10,2	0,3	51,5	28,9	9,2
Maisschlempe getrocknet	527	222	305	0,0	57,8	29,1	13,0	7,2	0,1	62,5	16,6	13,5

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)

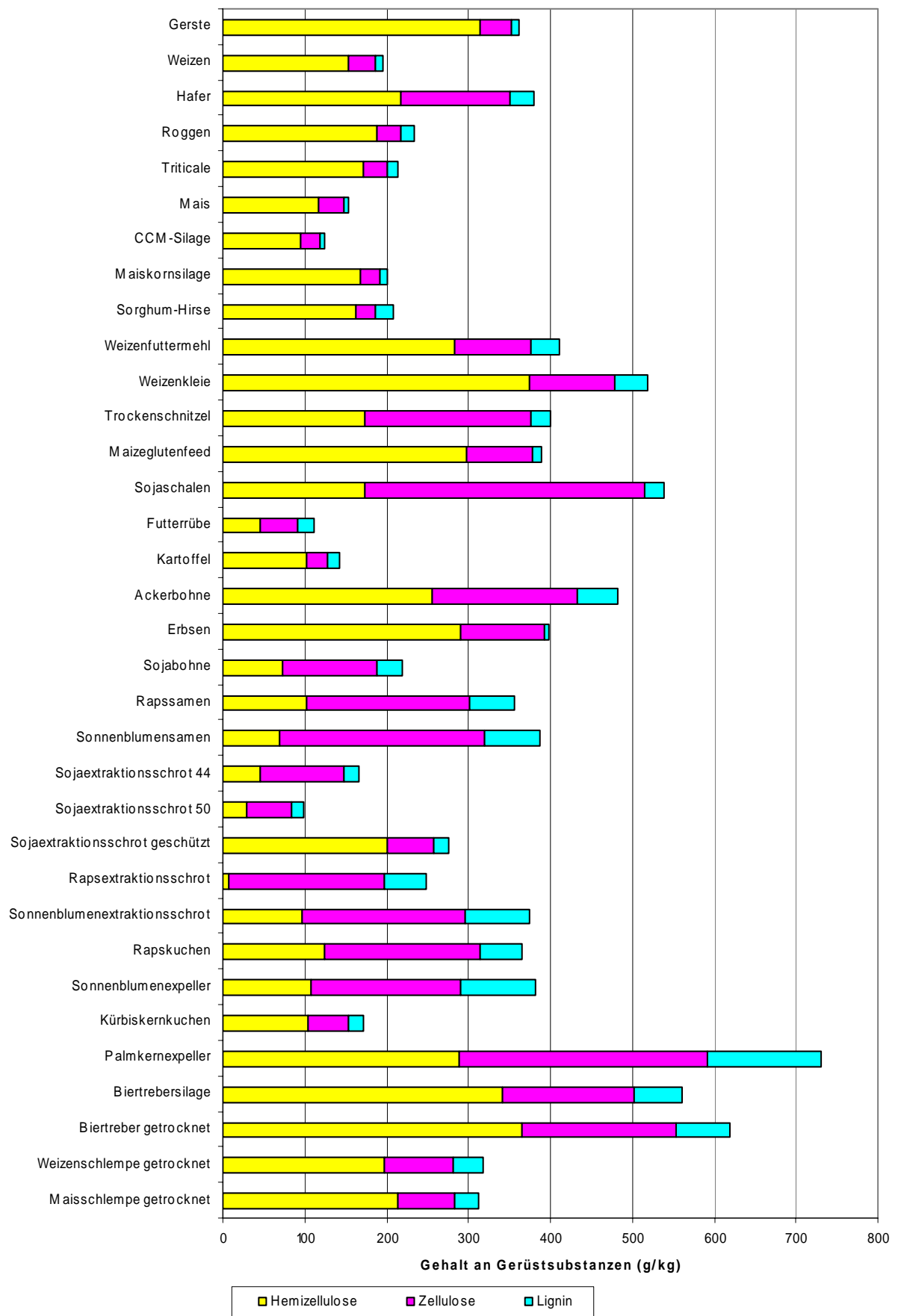


Abbildung 4.1-5 Gehalte an Gerüstsubstanzen

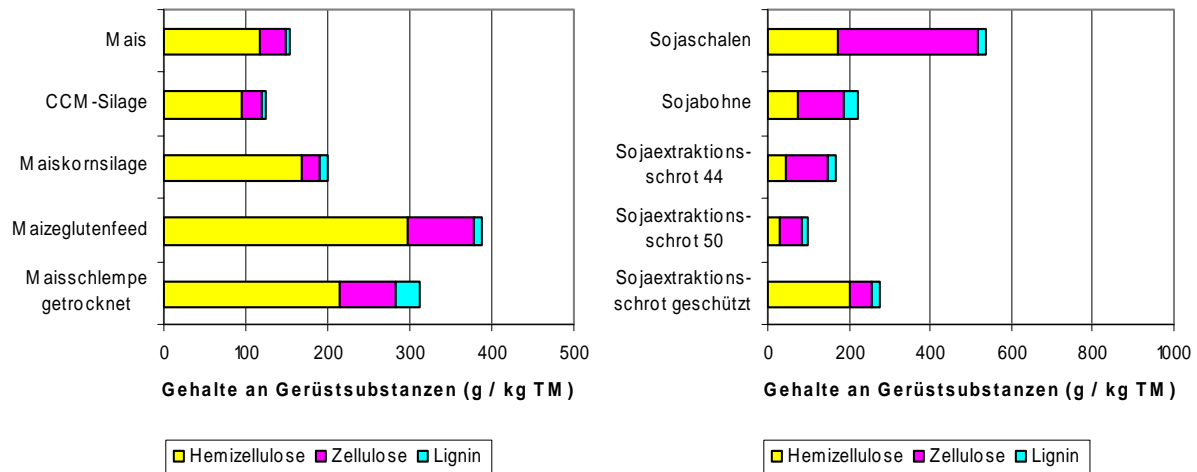


Abbildung 4.1-6 Gerüstsubstanzengehalte der Spezies Mais und Soja

Die beiden obigen Grafiken zeigen, dass sich durch die Verarbeitung neben der absoluten Menge auch das Verhältnis der Gerüstsubstanzen NDF, ADF und ADL zueinander ändert. Als Gerüstsubstanz überwiegt bei Mais und seinen Verarbeitungsprodukten die Hemizellulose.

Sojabohnen und Sojaextraktionsschrote weisen nur sehr geringe Mengen an Gerüstsubstanzen auf. Von den Gerüstsubstanzen überwiegt die schwerer abbaubare Zellulose.

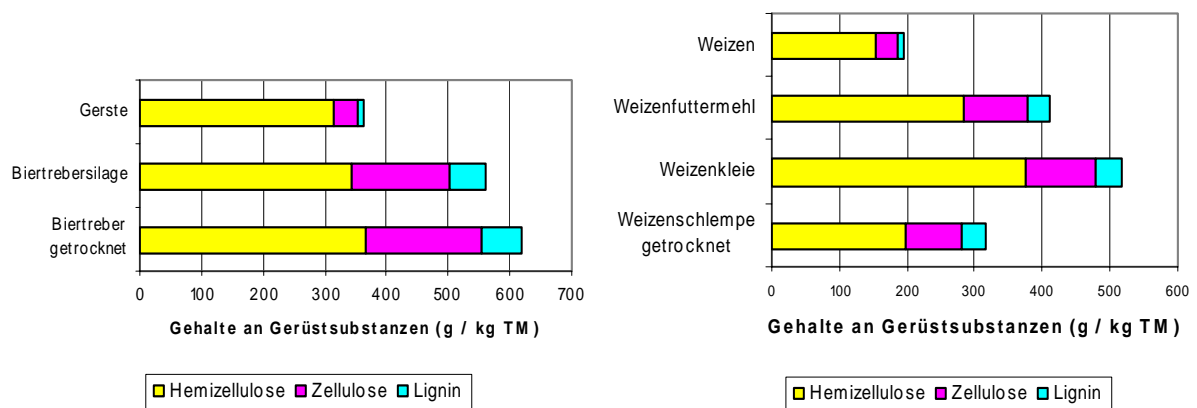


Abbildung 4.1-7 Gerüstsubstanzengehalte der Spezies Gerste und Weizen

Biertreber besitzt hohe Gehalte an verfügbaren Gerüstsubstanzen. Sie ist deshalb als Futtermittel mit langsam fließender Energiequelle einzustufen und führt zu keiner starken Absenkung des pH-Wertes im Pansen. Weizen erfährt durch die Mehlerzeugung eine Konzentration der Aleuronschicht mit den dort erhöhten Gehalten an Gerüstsubstanzen.

Tabelle 4.1-3 Vergleich der Gerüstsubstanzwerte verschiedener Autoren (1)

Futtermittel	Autor	% der TM		
		NDF	ADF	ADL
Gerste	BATAJOO und SHAVER 1997	27,1		
	WOODS et al. 2003	18,0	8,2	1,5
	SUSMEL et al. 1998	15,3		
	SNIFFEN et al. 1992	19,0		2,0
	Vorliegende Untersuchung	36,2	4,7	0,9
	STABW	8,5	2,5	0,5
Biertreber getrocknet	DePETERS et al. 1996	55,0	20,1	4,7
	BATAJOO und SHAVER 1997	54,0		
	KRISHNAMOORTHY et al. 1982	61,0	22,4	
	SNIFFEN et al. 1992	46,0		6,0
	Vorliegende Untersuchung	62,0	25,5	6,6
	STABW	6,4	2,7	1,0
Weizen	SUSMEL et al. 1998	12,0		
	SNIFFEN et al. 1992	16,0		1,0
	Vorliegende Untersuchung	19,6	4,3	0,9
	STABW	3,8		0,1
Weizenkleie	WOODS et al. 2003	46,8	13,6	4,3
	BATAJOO und SHAVER 1997	53,7		
	SNIFFEN et al. 1992	37,0		2,2
	Vorliegende Untersuchung	51,8	14,4	3,9
	STABW	7,5	0,6	1,1
Weizenschlempe getrocknet	DePETERS et al. 1996	36,3	15,9	3,2
	BATAJOO und SHAVER 1997	32,5		
	KRISHNAMOORTHY et al. 1982	39,1	17,0	
	Vorliegende Untersuchung	31,7	11,9	3,5
	STABW	3,4	2,7	0,2
Trockenschnitzel	DePETERS et al. 1996	42,2	22,0	1,9
	WOODS et al. 2003	52,8	27,7	3,6
	KRISHNAMOORTHY et al. 1982	44,6	23,8	
	SNIFFEN et al. 1992	54,0		2,0
	Vorliegende Untersuchung	40,0	22,7	2,4
	STABW	6,3	2,5	0,8
Körnermais	SUSMEL et al. 1998	10,6		
	Vorliegende Untersuchung	15,4	3,8	0,6
	STABW	3,4		
Maizeglutenfeed	BATAJOO und SHAVER 1997	36,4		
	WOODS et al. 2003	47,2	13,9	3,8
	KRISHNAMOORTHY et al. 1982	26,3	7,3	
	SNIFFEN et al. 1992	45,0		0,9
	Vorliegende Untersuchung	38,9	9,2	1,1
	STABW	8,2	3,4	1,6

Tabelle 4.1-4 Vergleich der Gerüstsubstanzwerte verschiedener Autoren (2)

Futtermittel	Autor	% der TM		
		NDF	ADF	ADL
Sojaschalen	DePETERS et al. 1996	58,8	43,8	1,7
	BATAJOO und SHAVER 1997	53,4		
	ESCALONA et al. 1999	56,8		1,4
	SNIFFEN et al. 1992	67,0		2,0
	Vorliegende Untersuchung	53,8	36,5	2,4
	STABW	5,5	5,2	0,4
Sojaextraktionsschrot 44	BATAJOO und SHAVER 1997	18,5		
	SNIFFEN et al. 1992	14,0		0,4
	Vorliegende Untersuchung	16,7	12,1	1,8
	STABW	2,3		1,0
Sojaextraktionsschrot 50	WOODS et al. 2003	13,6	7,9	0,9
	HARSTAD und PRESLØKKEN	13,6		
	KRISHNAMOORTHY et al. 1982	10,1	8,1	
	SNIFFEN et al. 1992	8,0		0,2
	Vorliegende Untersuchung	10,0	7,0	1,5
	STABW	2,5	0,6	0,6
Sojaextraktionsschrot geschützt	HARSTAD und PRESLØKKEN	22,2		
	Vorliegende Untersuchung	27,5	7,5	1,8
	STABW	3,7		
Sonnenblumenextraktionsschrot	WOODS et al. 2003	49,7	35,9	11,7
	SNIFFEN et al. 1992	40,0		12,0
	Vorliegende Untersuchung	37,4	27,8	7,8
	STABW	6,5	5,7	2,3
Rapsextraktionsschrot	WOODS et al. 2003	41,6	26,6	13,8
	KRISHNAMOORTHY et al. 1982	26,6	20,7	
	Vorliegende Untersuchung	24,8	24,1	5,2
	STABW	9,2	3,0	6,1

TM = Trockenmasse

NDF, ADF, ADL = Neutrale Detergentienfaser, Saure Detergentienfaser, Lignin

STABW = Standardabweichung

Der Vergleich von Untersuchungsergebnissen verschiedener Autoren lässt Unterschiede in den Gehaltsangaben erkennen. Diese Abweichungen sind auf mehrere Umstände wie Herkunft, Sorte, Verarbeitung, bis hin zur Analysenmethode zurückzuführen. Auf Grund der Variation der Inhaltsstoffe der Futtermittel ist es sinnvoll, regionale Unterschiede zu berücksichtigen und in die Rationsberechnung einfließen zu lassen, wie die vorliegende Literaturübersicht zeigt.

4.1.1 Kohlenhydratfraktionen des CNCPS

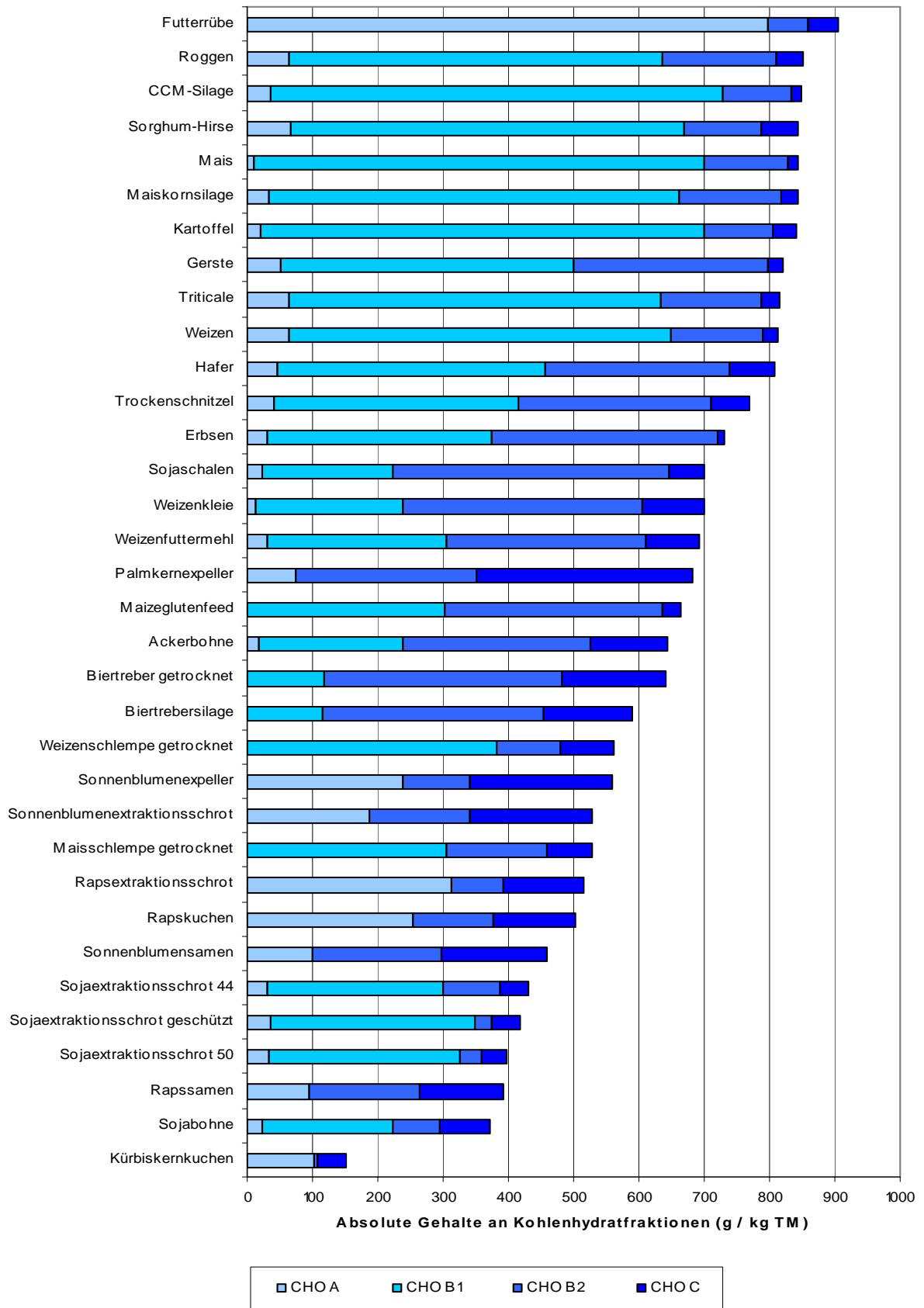


Abbildung 4.1-8 Absolute Gehalte an Kohlenhydratfraktionen
 CHO A, B1, B2, C = Kohlenhydratfraktion A, B₁, B₂, C

4.1.2 Ergebnisse der Kohlenhydratfraktionierung

Die obige Grafik zeigt die absoluten Gehalte der Kohlenhydratfraktionen der untersuchten Futtermittel, gereiht nach der Menge an Gesamtkohlenhydraten.

Die Fraktion A stellt die am schnellsten abgebaute Fraktion der Kohlenhydrate dar. Sie besteht aus Zucker und organischen Säuren. Die Fraktion A überwiegt deutlich bei Futterrüben und weist einen Gehalt von über 700g pro kg Trockenmasse auf. Rapsextraktionsschrot und Rapskuchen weisen als nächstgereihte nur noch 310 bzw. 250g pro kg Trockenmasse auf. In Biertreber, Maizeglutenfeed, Maisschlempe und Weizenschlempe sind keine dieser unmittelbar löslichen Kohlenhydrate vorhanden.

Die Fraktion B₁ wird mittelschnell abgebaut und setzt sich aus Stärke und Pektin zusammen. Diese Fraktion ist in großer Menge in CCM-Silagen vorhanden (690g/kg TM). Mais, Kartoffel, Maiskornsilage, Sorghum-Hirse, Weizen, Roggen und Triticale weisen ebenfalls mehr als 50% der gesamten Trockenmasse von dieser Fraktion auf. In Futterrüben, Sonnenblumensamen, Palmkernexpeller, Rapssamen, Sonnenblumenexpeller, Rapskuchen, Sonnenblumenextraktionsschrot, Rapsextraktionsschrot und Kürbiskernkuchen sind keine mittelschnell löslichen Kohlenhydrate enthalten.

Die Fraktion B₂ besteht aus verfügbaren Zellwandkohlenhydraten, welche langsam abgebaut werden. Sojaschalen weisen die höchsten Gehalte dieser Fraktion auf (420g/kg TM). In Weizenkleie, Biertrebern, Erbsen, Maizeglutenfeed, Weizenfuttermehl, Gerste und Trockenschnitzel sind Gehalte von mehr als 300g/kg TM zu finden. Diese Fraktion ist in allen untersuchten Futtermitteln enthalten, in geringen Mengen von unter 5% in Kürbiskernkuchen, Sojaextraktionsschrot geschützt und Sojaextraktionsschrot 50 (50% XP).

Die Fraktion C mit nicht abbaubaren Zellwandverbindungen ist in Palmkernexpeller mit einem Gehalt von mehr als 300g/kg Trockenmasse am stärksten enthalten. Sonnenblumenexpeller weisen ebenfalls mehr als 200g/kg TM auf. Auch diese Fraktion ist in allen untersuchten Futtermitteln enthalten. Sehr viele Futtermittel weisen jedoch nur geringe Mengen von unter 5% auf.

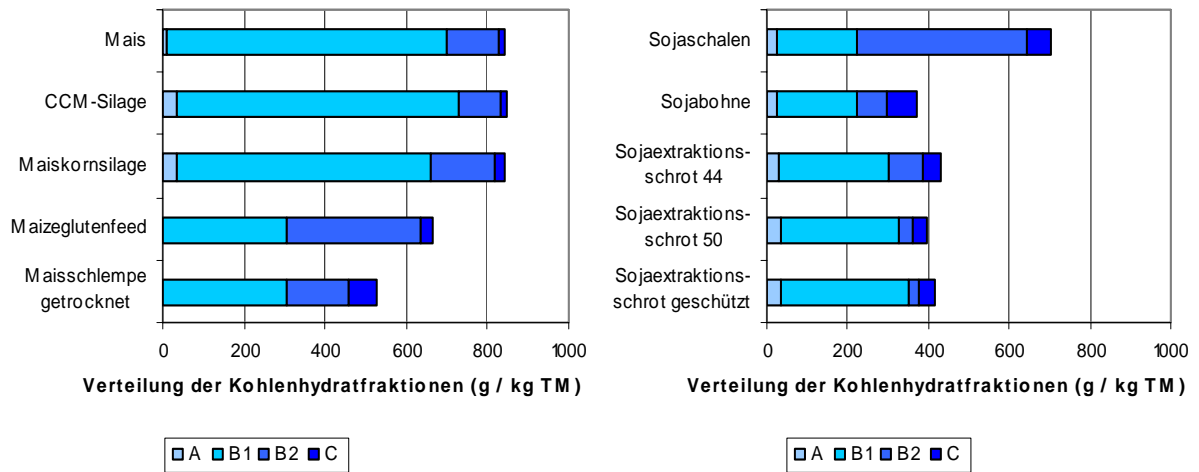


Abbildung 4.1-9 Kohlenhydratfraktionen innerhalb der Spezies Mais und Soja

Durch die Silierung von Mais wird ein Teil der Stärke in Zucker umgewandelt. In der Stärkeindustrie wird dem Mais Stärke entzogen, weshalb das Nebenprodukt Maizeglutenfeed deutlich geringere Mengen an Stärke (B₁) aufweist als das Ausgangsprodukt. Bei der Alkoholerzeugung wird Stärke zu Zucker umgewandelt und dieser anschließend vergoren. Maisschlempe enthält deshalb weniger Stärke (B₁) und keinen Zucker (A).

Der Sojabohne wird durch die Extraktion Öl entzogen. Sojaextraktionsschrot 44 enthält deshalb relativ mehr an anderen Inhaltsstoffen. Sojaextraktionsschrot 50 und Sojaextraktionsschrot geschützt enthalten keine Schalen mehr, weshalb sich der Anteil der schwer bzw. langsam abbaubaren (B₂) und nicht abbaubaren Fraktion (C) verringert. Sojaschalen enthalten einen hohen Anteil an Gerüstkohlenhydraten.

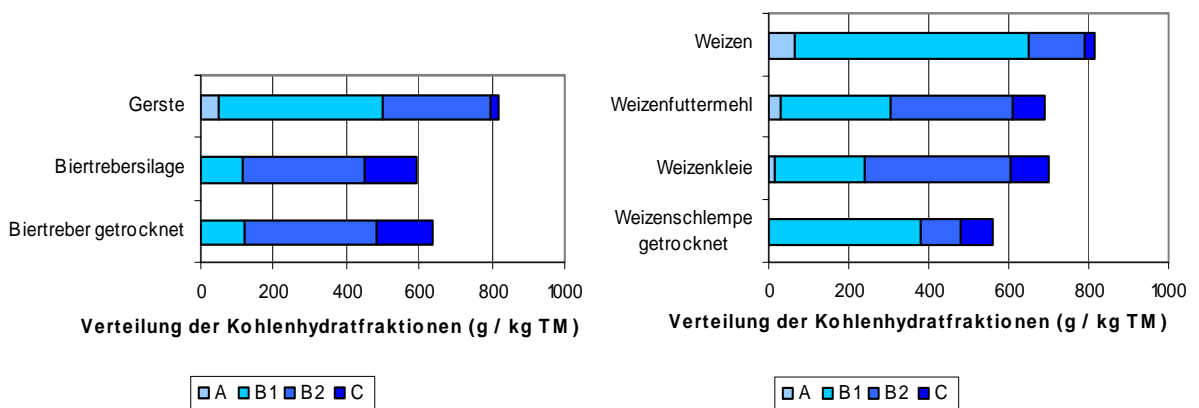


Abbildung 4.1-10 Kohlenhydratfraktionen innerhalb der Spezies Gerste und Weizen

Bietreber enthalten nur noch Restmengen an Stärke. Beim Ankeimen wird Stärke zu Zucker umgewandelt und dieser von Hefen in Alkohol umgewandelt.

Die Verarbeitungsprodukte von Weizen enthalten noch erhebliche Mengen an verfügbaren Kohlenhydraten.

4.1.3 Proteinfraktionen des CNCPS

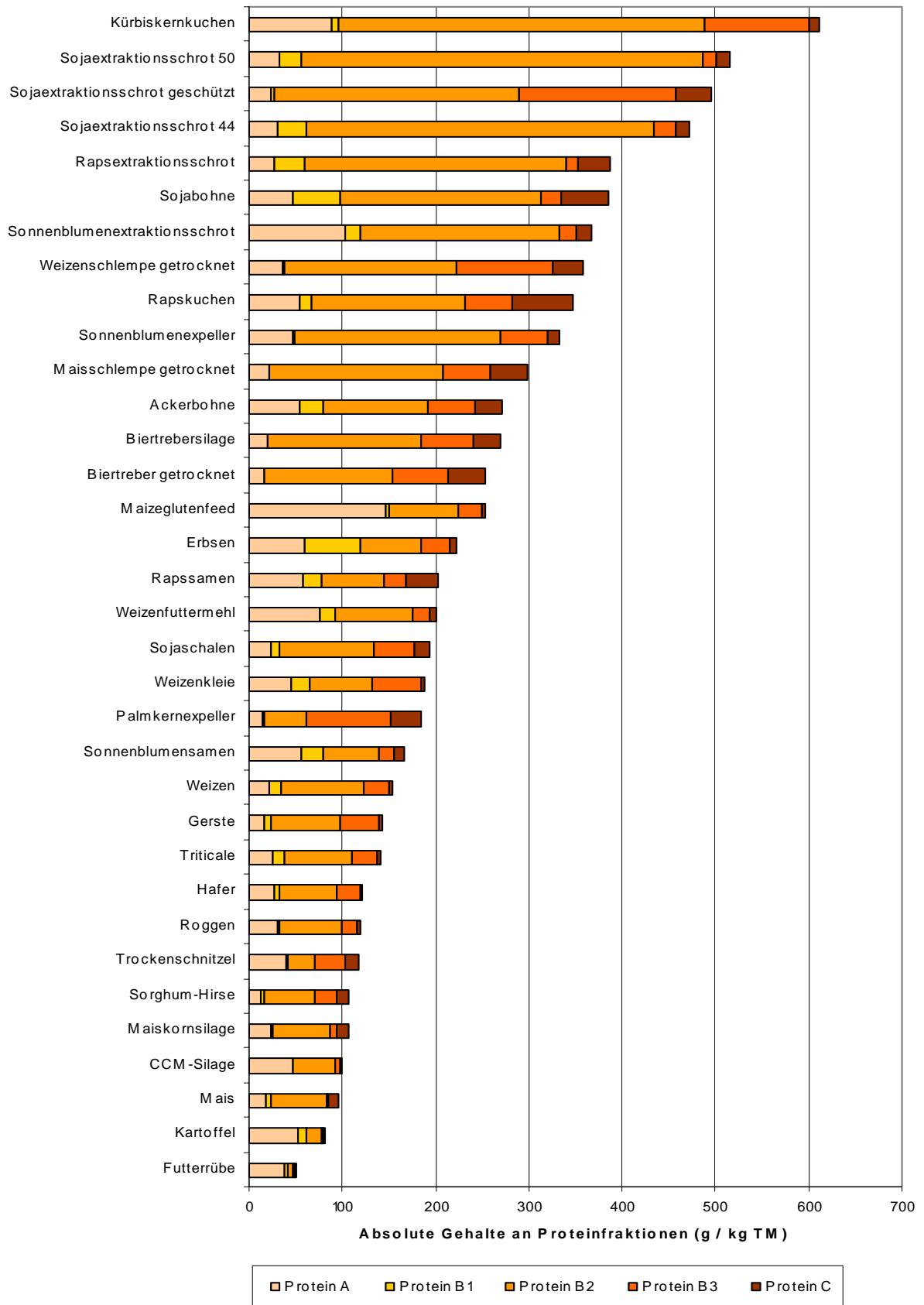


Abbildung 4.1-11 Absolute Gehalte an Proteinfraktionen

Protein A, B1, B2, B3, C = Proteinfraktion A, B₁, B₂, B₃, C

4.1.4 Ergebnisse der Proteinfractionierung

Die Abbildung 4.1-11 zeigt eine Reihung der untersuchten Futtermittel nach dem Proteingehalt. Diese Balken sind untergliedert in die fünf Proteinfractionen, welche entsprechend ihrer Geschwindigkeit der Nährstofflieferung im Pansen farblich abgestuft sind.

Die Fraktion A stellt den sehr rasch verfügbaren NPN (Nicht-Protein-Stickstoff) dar. In Maizeglutenfeed entspricht diese Fraktion mehr als der Hälfte des Gesamtproteins. Sonnenblumenextraktionsschrot weist ebenfalls mehr als 10% der Trockenmasse auf. Ein Großteil der Futtermittel weist weniger als 5% der Trockenmasse auf.

Die Fraktion B₁ stellt das im Pansen schnell abgebaute echte Protein dar. Dieses Protein liegt in den Futtermitteln nur in sehr geringem Umfang vor. Den höchsten Gehalt weisen Erbsen mit rund 6% der Trockenmasse auf. Schlempe, Birtreber, Silagen, Roggen, Sonnenblumen- und Palmkernexpeller, Trockenschnitzel und Sojaextraktionsschrot geschützt beinhalten diese Fraktion nicht.

Die Fraktion B₂ entspricht dem echten Protein mit einer mittleren Abbaugeschwindigkeit. Diese Fraktion macht den überwiegenden Teil des Rohproteins bei fast allen untersuchten Kraffuttermitteln aus. Sojaextraktionsschrot 50 besitzt mehr als 40% der Trockenmasse von dieser Proteinfraction. Kürbiskernkuchen und Sojaextraktionsschrot 44 weisen mehr als 35% der Trockenmasse dieses Proteins auf. Geringe Mengen von unter 5% sind in Futterrüben, Kartoffel, Trockenschnitzel, CCM-Silage und Palmkernexpeller enthalten.

Die Fraktion B₃ stellt das zellwandgebundene, aber abbaubare echte Protein dar. Durch den langsamen Abbau umgeht ein großer Teil dieser Fraktion der Pansenfermentation. Gehalte von über 10% der Trockenmasse weisen Sojaextraktionsschrot geschützt, Kürbiskernkuchen und Weizenschlempe auf. In Kartoffeln, Futterrüben und Mais fehlt diese Fraktion.

Die Fraktion C besteht aus zellwandgebundenen, nicht verfügbaren Proteinen oder anderen nicht verfügbaren N-Verbindungen wie Tannin-Protein-Komplexen oder Produkten aus der Maillardreaktion. Rapskuchen weist den höchsten Gehalt mit 6,5% der TM auf. Mehr als die Hälfte der Futtermittel hat einen Gehalt von unter 1,5% der TM.

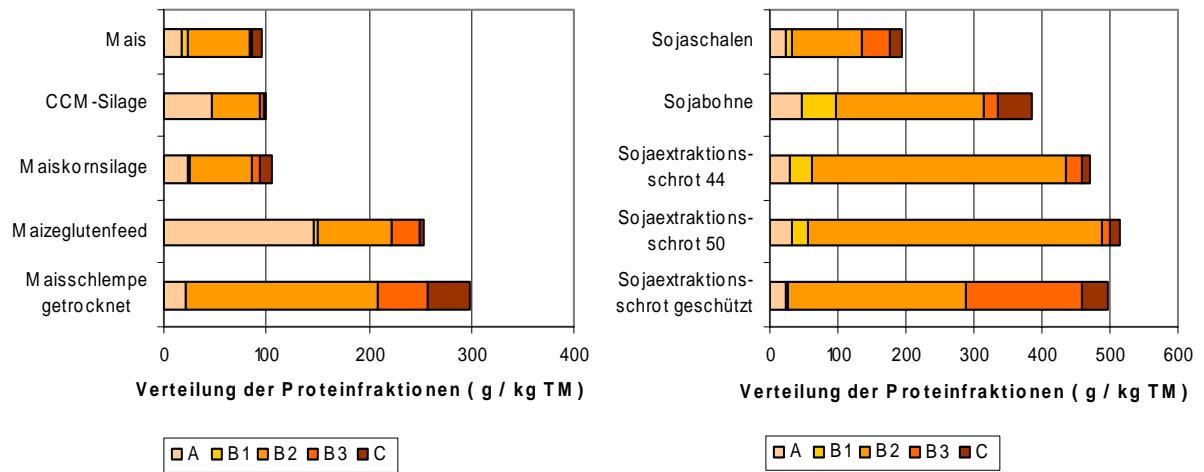


Abbildung 4.1-12 **Proteinfractionen innerhalb der Spezies Mais und Soja**

Die sehr geringen Mengen an Protein in Körnermais setzen sich vor allem aus echtem Protein mit mittlerer Abbaugeschwindigkeit (B₂) zusammen. Die erhöhten Gehalte in Maizeglutenfeed und Maisschlempe lassen sich auf den Entzug der Stärke in der Verarbeitung zurückführen.

Sojabohnen enthalten als Hauptfraktion ebenfalls das mittelschnell abbaubare echte Protein (B₂). Durch die chemische und thermische Behandlung sowie durch die Extraktion des Öles in der Ölmühle wird der Anteil dieser Fraktion bei Sojaextraktionsschrot erhöht. Sojaextraktionsschrot 50 weist aufgrund entzogener Schalentteile und den darin enthaltenen zellwandgebundenen Proteinen ein anderes Muster auf als Sojaextraktionsschrot 44. Sojaextraktionsschrot geschützt weist einen erhöhten Gehalt an langsam abbaubarem Proteinen auf. Dieser Effekt wird durch Behandlung mit Xylose gezielt erreicht (SOYPASS). Dadurch wird im Pansen weniger Protein abgebaut und dem Wirtstier steht folglich mehr UDP (unabgebautes Futterprotein) am Dünndarm zur Verfügung.

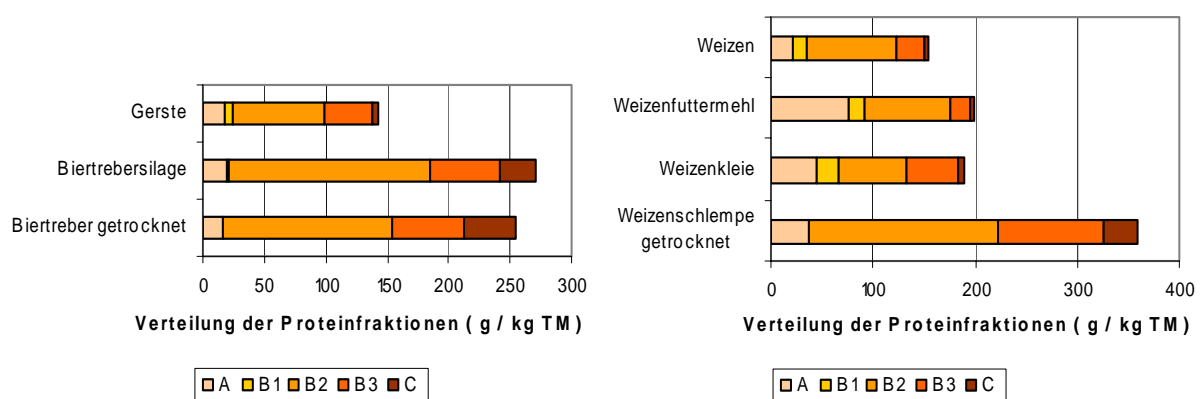


Abbildung 4.1-13 **Proteinfractionen innerhalb der Spezies Gerste und Weizen**

Auch bei Gerste und Weizen führt der Entzug anderer Nährstoffe zu einer relativen Erhöhung des Proteingehaltes. Das Verhältnis der Protein-Fractionen zueinander wird dabei kaum beeinflusst. Lediglich bei Weizenschlempe führt der Trocknungsprozess zu einer Erhöhung der Proteinfractionen mit langsamerer Abbaurrate, d.h. Erhöhung des UDP-Gehaltes.

4.2 TM-Abbaurrate nach der *in-situ* Methode

Im folgenden Abschnitt wird die Abbaubarkeit der TM der untersuchten Futtermittel dargestellt. Die Ergebnisse sind in Tabelle (Tabelle 4.2-1) für alle Futtermittel zusammengefasst und in den Abbildungen 4.2-1 bis 4.2-7 für die einzelnen Futtermittelgruppen getrennt angeführt.

Durch die Ermittlung der Abbaugeschwindigkeit der Trockenmasse erhält man einen ersten Eindruck über die Fermentation eines Futtermittels im Pansen. Auf das Liefervermögen an einzelnen Nährstoffen im Pansen kann man aus dem Trockenmasseabbau nicht konkret schließen. Dazu sind weitere Analysen der Nährstoffe notwendig. Diese Analysen werden im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts auch durchgeführt, würden aber den Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit übersteigen.

4.2.1 Die Parameter des Abbaumodells

Die Abbaucharakteristika der verschiedenen Futtermittel variieren stark.

Die unmittelbar abbaubare Fraktion (a) wurde ermittelt durch Waschen und Rückwaage von Probensäckchen ohne Inkubation in den Pansen. Dieser Wert enthält die Verluste an feinen Partikeln, welche durch das Gewebe des Säckchens verloren gingen, und die löslichen Substanzen. Man nimmt an, dass diese Partikel im Pansen sehr rasch abgebaut werden. Dieser Wert variiert zwischen den einzelnen Futtermitteln von 10,9% (Biertreber getrocknet) bis 77,0% (Futtermasse). Der Mittelwert dieser Fraktion über alle Proben liegt bei 33,3% mit einer Standardabweichung von 12,8%.

Die langsamer abbaubare Fraktion (b) variiert zwischen 21,4% (Futtermasse) und dem theoretischen Wert von 152,8% bei Palmkernexpeller. Der Mittelwert dieser Fraktion über alle Proben liegt bei 59,9% mit einer Standardabweichung von 23,4%. Der sehr niedrige Wert der Futtermasse ist auf den oben erwähnten hohen Gehalt an unmittelbar abbaubaren Substanzen zurückzuführen. Der geringe Anteil an der Fraktion b bei Hafer ist auf den hohen Anteil sofort abbaubarer Substanzen und die sehr langsam abbaubaren Gerüstsubstanzen zurückzuführen.

Die Konstante der Abbaurrate (c) variierte von unter 0,03 (Palmkernexpeller, Sojaextraktionsschrot geschützt, Sonnenblumenexpeller) bis über 0,30 (Triticale, Gerste, Roggen). Der Mittelwert dieser Fraktion über alle Proben liegt bei 0,124 mit einer Standardabweichung von 0,09. Dieser Wert drückt ganz besonders die Abbaugeschwindigkeit der Nährstoffe im Pansen aus und wird bei der Berücksichtigung der sog. Pansensynchronität benötigt (SINCLAIR et al. 1993, BLANK et al. 1998).

Die potentielle Abbaubarkeit (a + b) wird durch Addition der Faktoren a und b ermittelt. Dieser theoretische Wert zeigt das maximale Nährstoffliefervermögen im Pansen auf. Eine relativ niedrige potentielle Abbaubarkeit von unter 80% besitzen die Futtermittel Hafer (76,7%), Weizenfuttermehl (78,5%), Weizenkleie (75,3%), Sonnenblumensamen (65,8%), Sonnenblumenextraktionsschrot (78,0%), Rapskuchen (77,7%), Biertrebersilage (65,0%) und Biertreber getrocknet (64,1%). Dies ist auf den hohen Gehalt an Gerüstsubstanzen zurückzuführen, die von den Pansenmikroben langsamer und in geringerem Ausmaß abgebaut werden als Nichtfaser-Kohlenhydrate (SNIFFEN et al. 1992).

Vorläufige Fehler in der Berechnung

Einige Futtermittel erreichten bei der rechnerischen Ermittlung der potentiellen Abbaubarkeit einen Wert von über 100%. Diese theoretischen Werte sind darauf zurückzuführen, dass für diese Futtermittel die gewählte maximale Inkubationszeit von 48 Stunden zu kurz war und zu diesem Zeitpunkt das Plateau der maximalen Abbaubarkeit im Pansen noch nicht erreicht war. Für diese Futtermittel (Sorghum-Hirse, Sojaschalen, Erbsen, Sojabohnen, Sojaextraktionsschrote, Sonnenblumenexpeller, Kürbiskernkuchen und Palmkernexpeller) wird ein spezieller Inkubationsplan erstellt, wo bei einer verlängerten Inkubationszeit die potentielle Abbaubarkeit genauer geschätzt wird. Aus organisatorischen Gründen kann dieser Versuch aber erst nach Fertigstellung dieser Diplomarbeit durchgeführt werden.

Tabelle 4.2-1 in-situ-Abbaubarkeit der Trockenmasse

Futtermittel	a	b	c	(a + b)	ED2	ED5	ED8
ENERGIETRÄGER							
Getreidearten (Gruppe 1)							
Gerste	30,1	62,0	0,307	92,1	88,2	83,1	78,9
Weizen	36,3	58,6	0,287	94,9	91,0	86,0	81,9
Hafer	50,0	26,7	0,234	76,7	74,5	71,9	69,8
Roggen	39,4	55,7	0,315	95,1	91,8	87,4	83,8
Triticale	34,7	59,1	0,321	93,8	90,3	85,7	81,9
Mais	21,6	75,7	0,071	97,3	80,3	65,7	56,9
CCM-Silage	63,6	33,2	0,137	96,8	92,6	87,9	84,5
Maiskornsilage	26,5	69,5	0,084	95,9	82,4	69,8	61,8
Sorghum-Hirse	25,8	74,5	0,059	100,3	81,1	65,7	57,1
Nebenprodukte (Gruppe 2)							
Weizenfuttermehl	34,9	43,6	0,243	78,5	75,2	71,1	67,8
Weizenkleie	35,2	40,1	0,166	75,3	71,0	66,0	62,2
Trockenschnitzel	22,2	74,5	0,115	96,7	85,2	73,5	65,5
Maizeglutenfeed	47,8	44,4	0,053	92,1	80,0	70,7	65,5
Sojaschalen	26,7	80,7	0,035	107,3	78,2	60,1	51,4
Wurzeln und Knollen (Gruppe 3)							
Futterrübe	77,0	21,4	0,168	98,4	96,2	93,5	91,5
Kartoffel	40,3	58,2	0,163	98,6	92,1	84,8	79,3
Leguminosensamen und Ölsaaten (Gruppe 4)							
Ackerbohne	35,3	59,7	0,119	95,0	86,5	77,4	71,1
Erbsen	37,5	63,6	0,117	101,1	91,8	82,0	75,2
Sojabohne	28,0	73,8	0,107	101,8	90,1	78,2	70,1
Rapssamen	12,8	77,3	0,138	90,1	80,3	69,5	61,7
Sonnenblumensamen	34,0	31,8	0,166	65,8	62,4	58,4	55,5
PROTEINTRÄGER							
Extraktionsschrote (Gruppe 5)							
Sojaextraktionsschrot 44	27,8	73,3	0,068	101,1	84,5	70,1	61,5
Sojaextraktionsschrot 50	29,4	72,2	0,081	101,6	87,2	73,9	65,5
Sojaextraktionsschrot geschützt	33,9	72,5	0,025	106,3	74,4	58,2	51,3
Rapsextraktionsschrot	31,3	51,4	0,113	82,7	74,9	66,8	61,3
Sonnenblumenextraktionsschrot	22,2	55,8	0,121	78,0	70,0	61,6	55,7
Ölkuchen bzw. Expeller (Gruppe 6)							
Rapskuchen	33,5	44,2	0,052	77,7	65,1	55,8	50,8
Sonnenblumenexpeller	22,1	79,3	0,023	101,4	63,6	46,4	39,2
Kürbiskernkuchen	28,1	83,7	0,093	111,7	85,0	70,3	62,7
Palmkernexpeller	20,7	152,8	0,010	173,5	65,1	42,7	35,4
Nebenprodukte (Gruppe 7)							
Biertrebersilage	17,6	47,4	0,106	65,0	57,5	49,8	44,6
Biertreber getrocknet	10,9	53,2	0,070	64,1	52,1	41,7	35,5
Weizenschlempe getrocknet	35,2	49,9	0,050	85,1	70,8	60,2	54,4
Maisschlempe getrocknet	38,9	49,3	0,052	88,2	74,3	63,8	58,1

a = unmittelbar abbaubare Fraktion (%)

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

c = Konstante der Abbaurates der Fraktion b je Zeiteinheit

(a + b) = potentiell abbaubarer Teil des Futters (%)

ED = Effektive Abbaubarkeit bei einer Passagerate des Futters von 0.02, 0.05 bzw. 0.08 (%)

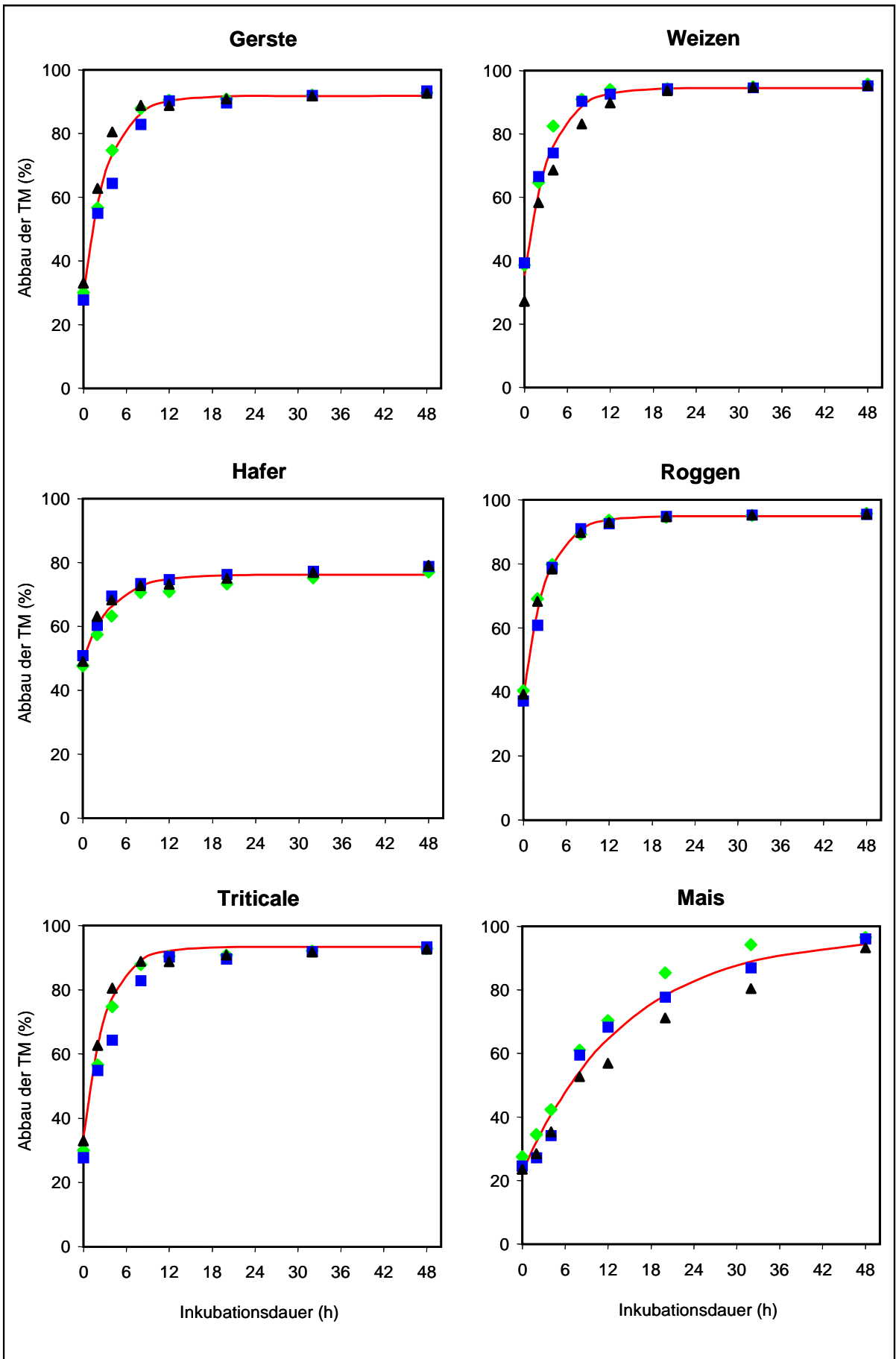


Abbildung 4.2-1 *in-situ*-Abbaubarkeit der TM der einzelnen Futtermittel (a)

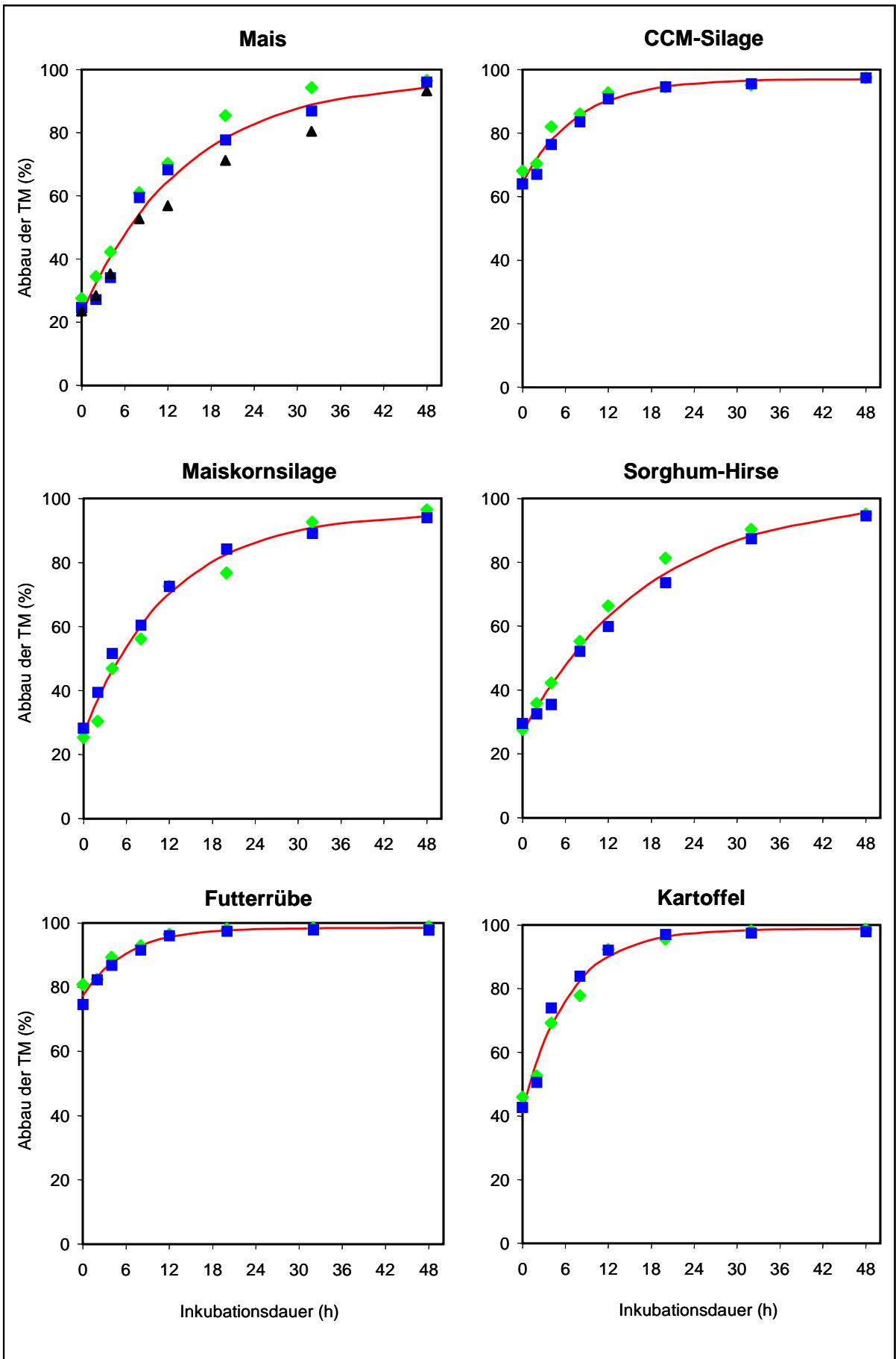


Abbildung 4.2-2 *in-situ*-Abbaubarkeit der TM der einzelnen Futtermittel (b)

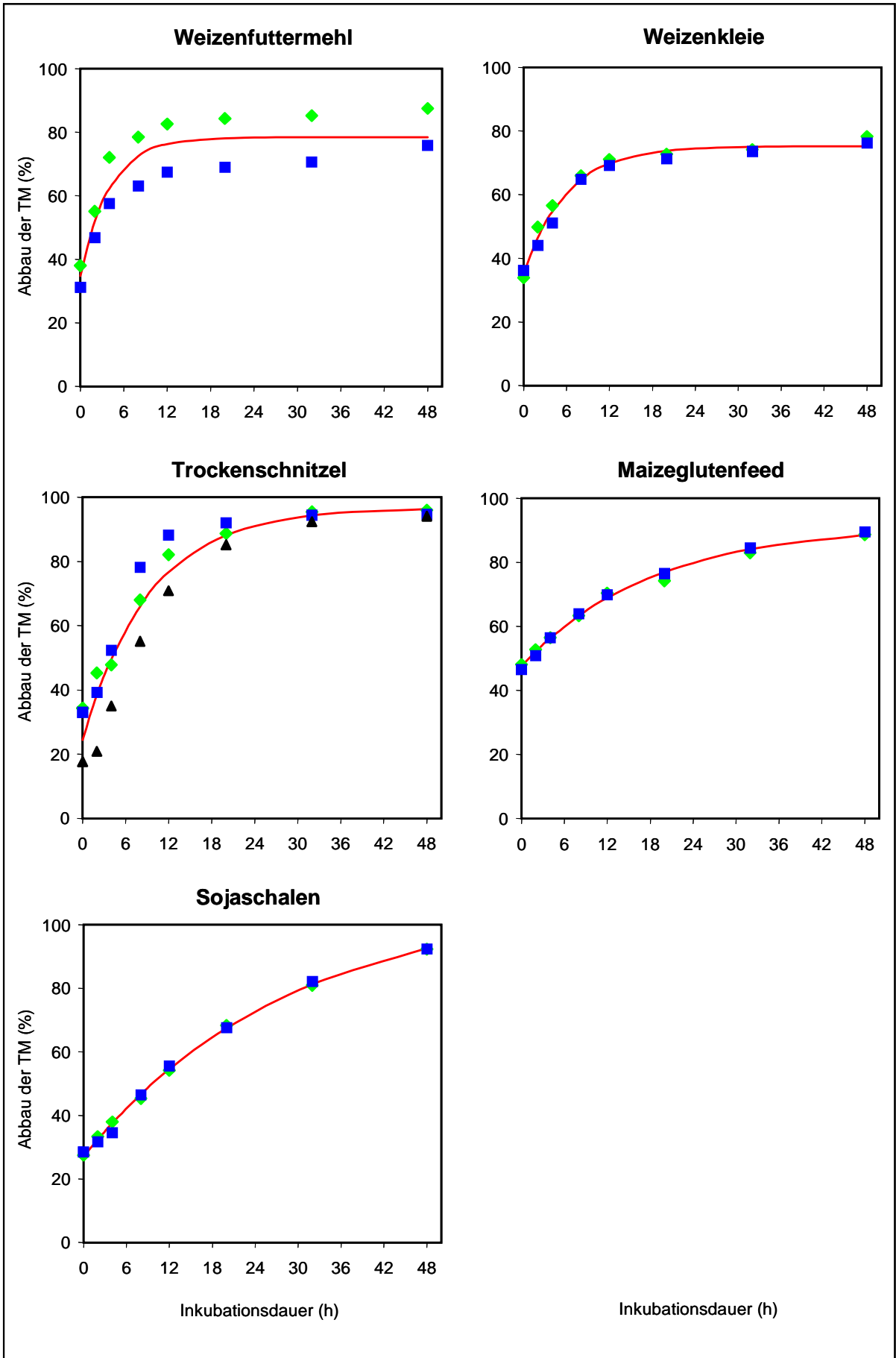


Abbildung 4.2-3 *in-situ*-Abbaubarkeit der TM der einzelnen Futtermittel (c)

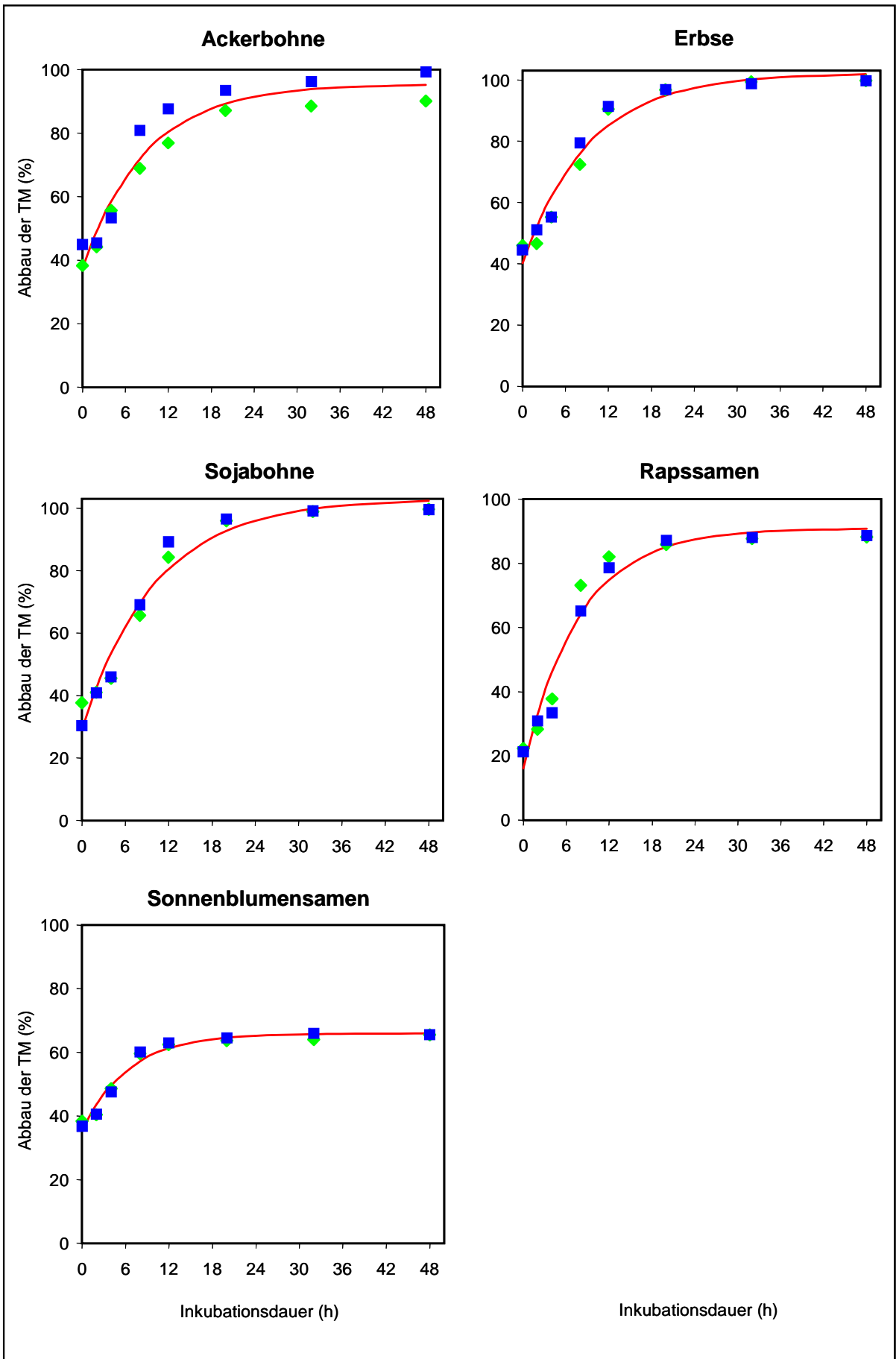


Abbildung 4.2-4 *in-situ*-Abbaubarkeit der TM der einzelnen Futtermittel (d)

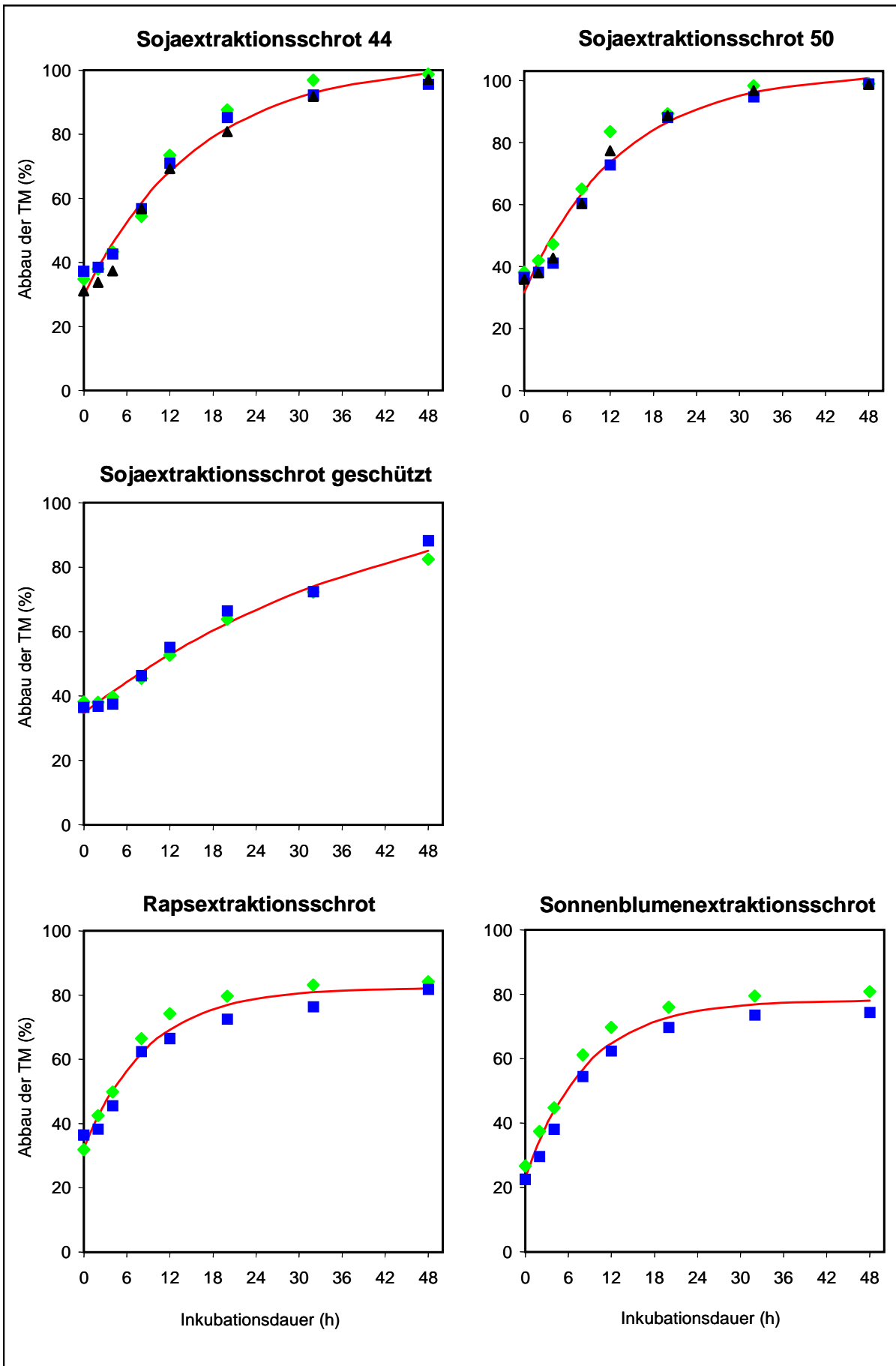


Abbildung 4.2-5 *in-situ*-Abbaubarkeit der TM der einzelnen Futtermittel (e)

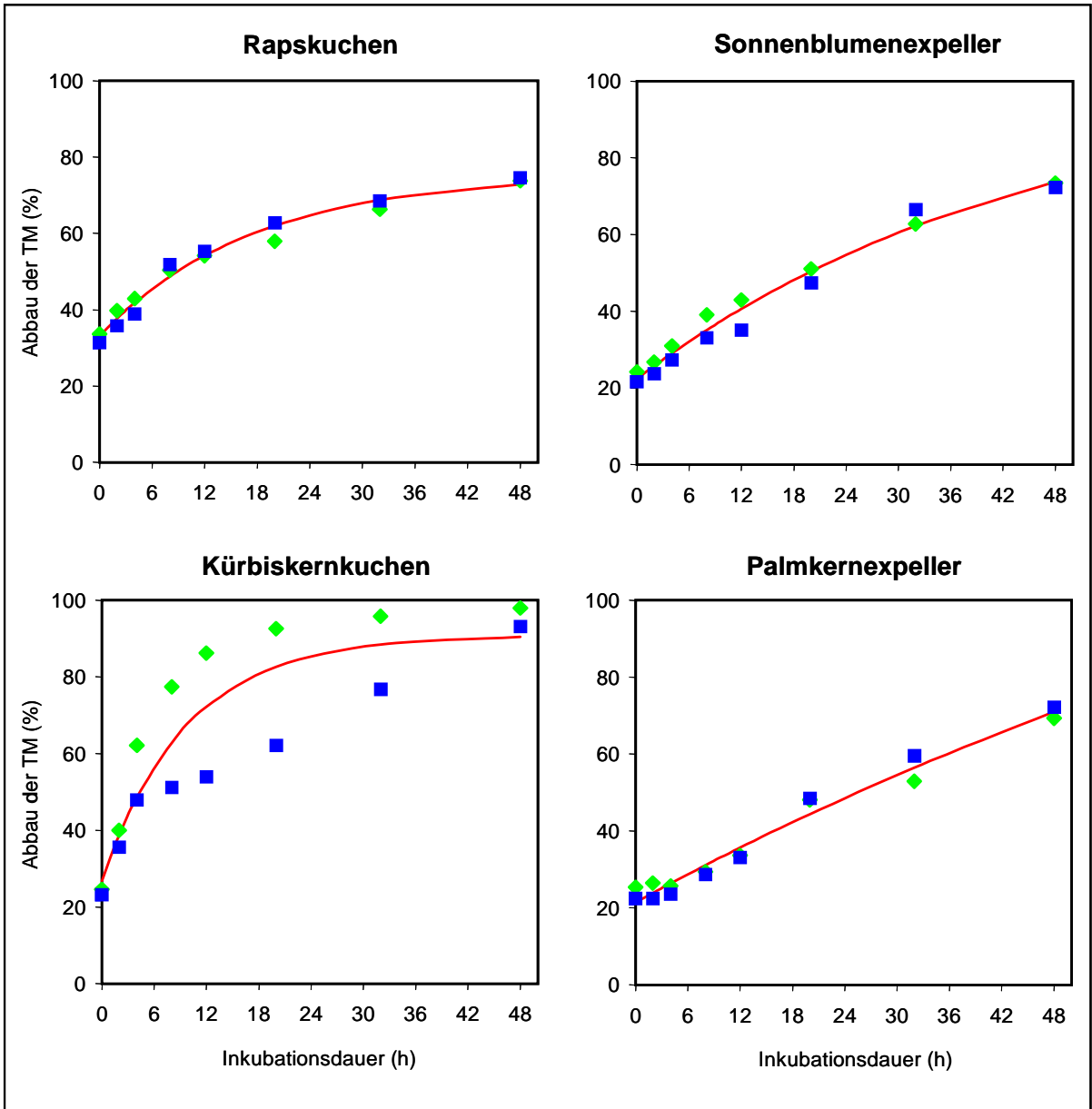


Abbildung 4.2-6 *in-situ*-Abbaubarkeit der TM der einzelnen Futtermittel (f)

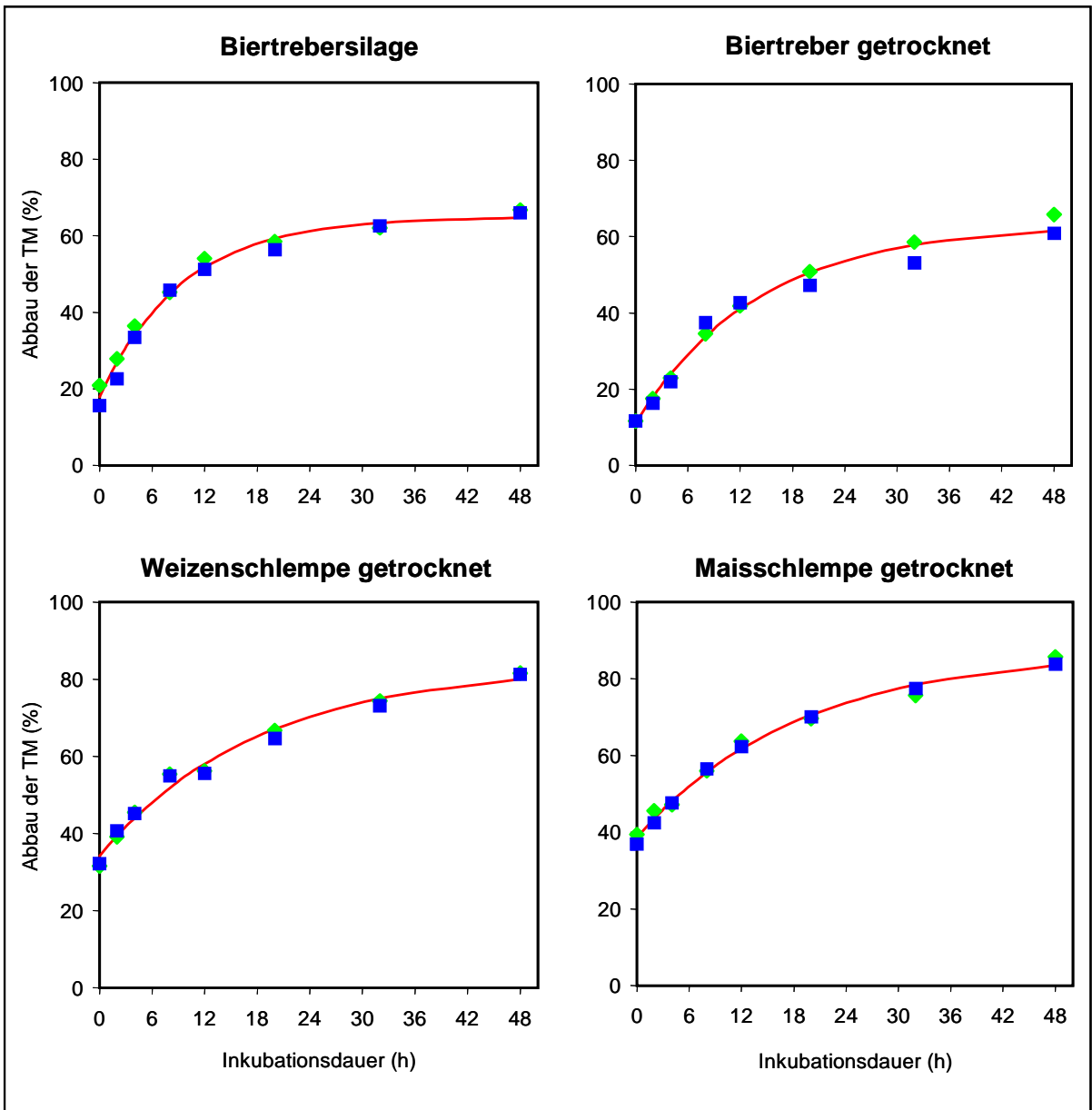


Abbildung 4.2-7 *in-situ*-Abbaubarkeit der TM der einzelnen Futtermittel (g)

Vergleich der *in-situ*-Parameter mit den Ergebnissen aus der Literatur

Ein Vergleich der ermittelten Parameter (a, b und c) für den Trockenmasseabbau mit anderen Autoren zeigt in vielen Fällen eine gute Übereinstimmung (Tabelle 4.2-2) WOODS et al. (2003) haben bei Gerste und Sojaextraktionsschrot höhere Abbauraten erzielt. Eine mögliche Begründung für diesen steileren Anstieg ist die feinere Vermahlung mit einem 2 mm-Sieb (vorliegende Untersuchung: 3 mm-Sieb), die Porengröße der Nylon-bags ist gleich unserem Versuch. SUSMEL et al. (1992) und auch BATAJOO und SHAVER (1997) ermittelten bei diesen beiden Futtermitteln flachere Abbaukurven. Warum die Abbaukurve von BATAJOO und SHAVER (1997) trotz der Vermahlung mit einem 1 mm-Sieb bei gleicher Porengröße flacher verläuft, bleibt zu diskutieren. Die potentielle Abbaubarkeit der Futtermittel liegt bei diesen Autoren bis auf wenige Prozentpunkte jedoch gleich hoch.

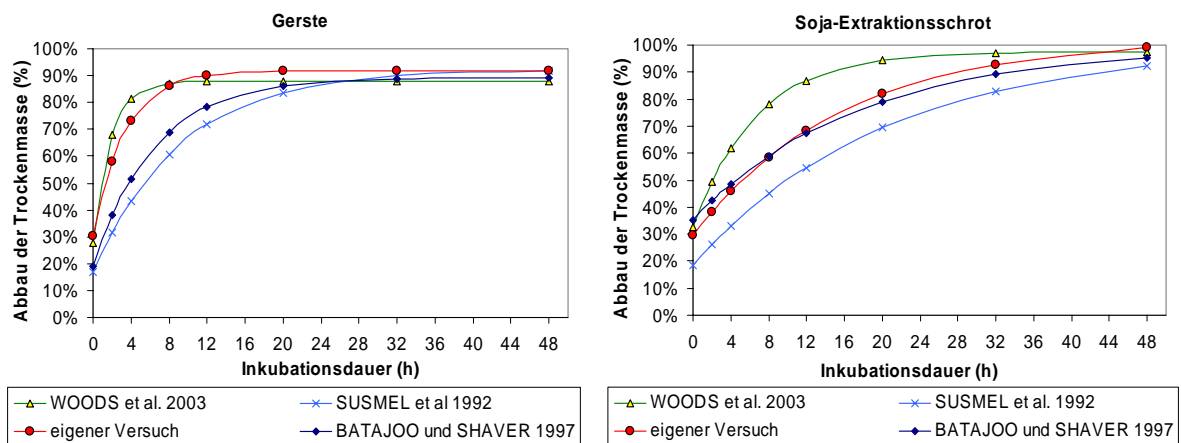


Abbildung 4.2-8 Vergleich der Abbaukurven verschiedener Autoren

Eine geringere Übereinstimmung der Parameter bei Gerste ist gegenüber den Daten von ORSKOV et al. (1988b) und SUSMEL et al. (1998) festzustellen. Sie ermittelten ein deutlich niedrigeres Intercept (Fraktion a) mit 6,0 bzw. 9,6%. Bei Weizen wurde für den Trockenmasseabbau im eigenen Versuch das höchste Intercept ermittelt (36,3%): ORSKOV et al. (1988b) stellten im Vergleich dazu 9,0% sowie SUSMEL et al. (1998) 8,8 und SUSMEL et al. (1992) 12,1% fest. Ebenso differieren die Parameter b und c stark. Größere Abweichungen der geschätzten Parameter zu den Literaturdaten sowie auch zwischen verschiedenen Literaturstellen gibt es auch bei den Futtermitteln Maizeglutenfeed und Körnermais. Sehr gute Übereinstimmungen der geschätzten Werte mit denen anderer Autoren liegen bei Birtreber, Weizenschlempe und Maisschlempe, Trockenschnitzel, Sojaschalen und Rapsextraktionsschrot vor.

Tabelle 4.2-2 Vergleich der ermittelten Kurvenparameter mit anderen Autoren

Futtermittel	Autor	von TM			ED					
		a %	b %	c	2%	4%	5%	6%	7%	8%
Gerste	BATAJOO und SHAVER 1997	19,2	69,9	0,156						
	WOODS et al. 2003	27,9	60,0	0,550	85,5		82,2	81,2		79,3
	ORSKOV et al. 1988b	6,0	32,9	0,034						
	OLAISEN et al. 2002							77,2		
	SUSMEL et al. 1998	9,6	72,3			71,7				63,9
	SUSMEL et al 1992	16,7	75,7	0,108					62,6	
	Vorliegende Untersuchung	30,3	61,5	0,300	88,2		83,1			78,9
STABW	8,6	17,4	0,231	1,90		0,63	2,84		8,78	
Biertreber	DePETERS et al. 1996			0,063						
	BATAJOO und SHAVER 1997	14,5	57,2	0,049						
	SUSMEL et al. 1992	13,5	62,7	0,064					43,5	
	Vorliegende Untersuchung	11,0	52,2	0,071	52,1		41,7			35,5
	STABW	1,8	5,2	0,009						
Weizen	ORSKOV et al. 1988b	9,0	51,9	0,036						
	SUSMEL et al. 1998	8,8	77,8			76,1				68,2
	SUSMEL et al 1992	12,1	86,7	0,171					73,6	
	Vorliegende Untersuchung	35,6	59,0	0,290	91,0		86,0			81,9
	STABW	12,9	16,2	0,127						9,7
Weizenfuttermehl	DePETERS et al. 1996			0,135						
	Vorliegende Untersuchung	34,7	43,7	0,248	75,2		71,1			67,8
	STABW			0,080						
Weizenkleie	WOODS et al. 2003	42,9	35,6	0,100	72,1		66,0	64,5		62,1
	BATAJOO und SHAVER 1997	26,6	46,0							
	Vorliegende Untersuchung	35,1	40,0	0,167	71,0		66,0			62,2
	STABW	8,1	5,2	0,047	0,7		0,0			0,1
Weizenschlempe getrocknet	DePETERS et al. 1996			0,058						
	BATAJOO und SHAVER 1997	40,2	44,0	0,049						
	Vorliegende Untersuchung	34,2	49,5	0,054	70,8		60,2			54,4
	STABW	4,2	3,9	0,005						
Hafer	OLAISEN et al. 2002							72,3		
	SUSMEL et al. 1998	11,7	40,1			39,5				33,1
	Vorliegende Untersuchung	49,5	26,6	0,247	74,5		71,9			69,8
	STABW	26,8	9,5							26,0
Triticale	SUSMEL et al. 1998	10,0	73,1			77,8				73,1
	Vorliegende Untersuchung	34,7	59,1	0,321	90,3		85,7			81,9
	STABW	17,5	9,9							
Körnermais	OLAISEN et al. 2002							48,0		
	SUSMEL et al. 1998	6,8	93,2			60,5				44,5
	SUSMEL et al. 1992	30,1	69,9	0,032					51,9	
	Vorliegende Untersuchung	22,7	74,4	0,069	80,3		65,7			56,9
	STABW	11,9	12,4	0,026						8,8
CCM-Silage Spindelanteil<5%	SUSMEL et al. 1998	16,6	77,3			60,6				47,6
	Vorliegende Untersuchung	64,5	32,5	0,130	92,6		87,9			84,5
	STABW	33,9	31,7							

TM = Trockenmasse

a, b, c = Abbauparameter bei der *in-situ* Methode

ED = effektive Abbaubarkeiten bei Passagegeschwindigkeiten von 2 – 8%

Tabelle 4.2-3 Vergleich der ermittelten Kurvenparameter mit anderen Autoren

Futtermittel	Autor	% von TM			ED					
		a	b	c	2%	4%	5%	6%	7%	8%
Maizeglutenfeed	BATAJOO und SHAVER 1997	34,7	54,9	0,048						
	WOODS et al. 2003	42,5	55,0	0,040	77,9		66,0	63,61		60,1
	OLAISEN et al. 2002							32,4		
	SUSMEL et al 1992	7,4	92,6	0,022					29,5	
	Vorliegende Untersuchung	47,6	44,2	0,055	80,0		70,7			65,5
	STABW	17,9	21,2	0,014	1,5		3,3			3,79
Maisschlempe getrocknet	WOODS et al. 2003	31,8	59,1	0,030	52,1		49,8	49,8		46,4
	Vorliegende Untersuchung	38,7	48,6	0,053	74,3		63,8			58,1
	STABW	4,9	7,5	0,017	15,7		9,9			8,2
Hirse	SUSMEL et al. 1998	6,9	93,1			54,5				39,0
	Vorliegende Untersuchung	26,7	74,0	0,056	81,1		65,7			57,1
	STABW	14,0	13,5							12,8
Trochenschnitzel	DePETERS et al. 1996			0,075						
	WOODS et al. 2003	23,3	73,6	0,120	83,4		71,1	68,2		63,3
	OLAISEN et al. 2002							60,0		
	Vorliegende Untersuchung	24,4	72,4	0,107	85,2		73,5			65,5
	STABW	0,8	0,8	0,023	1,2		1,7	5,8		1,6
Sojaschalen	DePETERS et al. 1996			0,047						
	BATAJOO und SHAVER 1997	21,8	75,9	0,039						
	Vorliegende Untersuchung	27,0	81,3	0,034	78,2		60,1			51,4
	STABW	3,7	3,8	0,006						
Sojaextraktions-schrot 44	BATAJOO und SHAVER 1997	35,4	63,6	0,058						
	Vorliegende Untersuchung	29,8	73,0	0,063	84,5		70,1			61,5
	STABW	4,0	6,6	0,003						
Sojaextraktions-schrot 50	WOODS et al. 2003	32,7	64,8	0,150	89,4		80,6	78,3		74,3
	OLAISEN et al. 2002							68,7		
	SUSMEL et al 1992	18,4	81,6	0,049					52,0	
	Vorliegende Untersuchung	31,8	71,1	0,074	87,2		73,9			65,5
	STABW	8,0	8,5	0,053	1,6		4,8	6,8		6,2
Sonnenblumen-extraktionsschrot	WOODS et al. 2003	28,4	35,7	0,270	60,9		57,2	56,2		54,4
	SUSMEL et al 1992	30,3	65,4	0,158					75,6	
	Vorliegende Untersuchung	23,1	55,1	0,117	70,0		61,6			55,7
	STABW	3,7	15,1	0,079	6,5		3,1			0,9
Rapssamen	OLAISEN et al. 2002							53,7		
	Vorliegende Untersuchung	16,1	74,9	0,128	80,3		69,5			61,7
Rapsextraktions-schrot	WOODS et al. 2003	27,2	49,5	0,140	70,1		63,1	61,2		58,1
	OLAISEN et al. 2002							65,8		
	Vorliegende Untersuchung	32,3	50,1	0,111	74,9		66,8			61,3
	STABW	3,6	0,4	0,021	3,4		2,6	3,2		2,3
Palmkernexpeller	WOODS et al. 2003	13,2	82,1	0,030	59,5		41,7	38,5		33,9
	Vorliegende Untersuchung	22,7	74,4	0,069	65,1		42,7			35,4
	STABW	6,7	5,5	0,027	4,0		0,7			1,0

TM = Trockenmasse

a, b, c = Abbauparameter bei der in-situ Methode

ED = effektive Abbaubarkeiten bei Passagegeschwindigkeiten von 2 – 8%

Die effektive Abbaubarkeit

Die effektive Abbaubarkeit eines Futtermittels hängt von dessen Verweildauer im Pansen, d.h. von der Passagerate, ab. Die Berechnung der effektiven Abbaubarkeit wurde nach der Formel

$$ED = a + [(b * c) / (c + k)]$$

nach (ORSKOV und McDONALD 1979) bei drei verschiedenen Passageraten ($k = 0.02$, 0.05 und $0.08/h$) durchgeführt. Bei höherer Passagegeschwindigkeit verbleibt das Futter nicht so lange im Pansen, die Zeitspanne für den Abbau durch die Mikroorganismen wird dadurch reduziert. Die Relationen zwischen den Futtermitteln hängen von der Passagerate ab. Bei langsam abbaubaren Futtermitteln mit einer hohen potentiellen Abbaubarkeit wie Mais, Hirse, Sojaschalen, Sojaextraktionsschrot, Sonnenblumenexpeller, Kürbiskernkuchen und Palmkernexpeller hat die Passagegeschwindigkeit einen deutlichen Einfluss auf die Nährstofflieferung im Pansen. So reduziert sich beispielsweise die Nährstofflieferung von geschütztem Sojaextraktionsschrot bei einer Erhöhung der Passagerate von 2 auf 5% um knapp 22%, bei einer Erhöhung der Passagerate von 5 auf 8% um rund 12%. Bei Gerste, einem rasch abbaubaren Futtermittel, wirkt sich die Erhöhung der Passagegeschwindigkeit dagegen in geringem Ausmaß auf die effektive Abbaubarkeit aus. Eine Erhöhung der Passagegeschwindigkeit um 3% vermindert die effektive Abbaubarkeit nur um rund 5%.

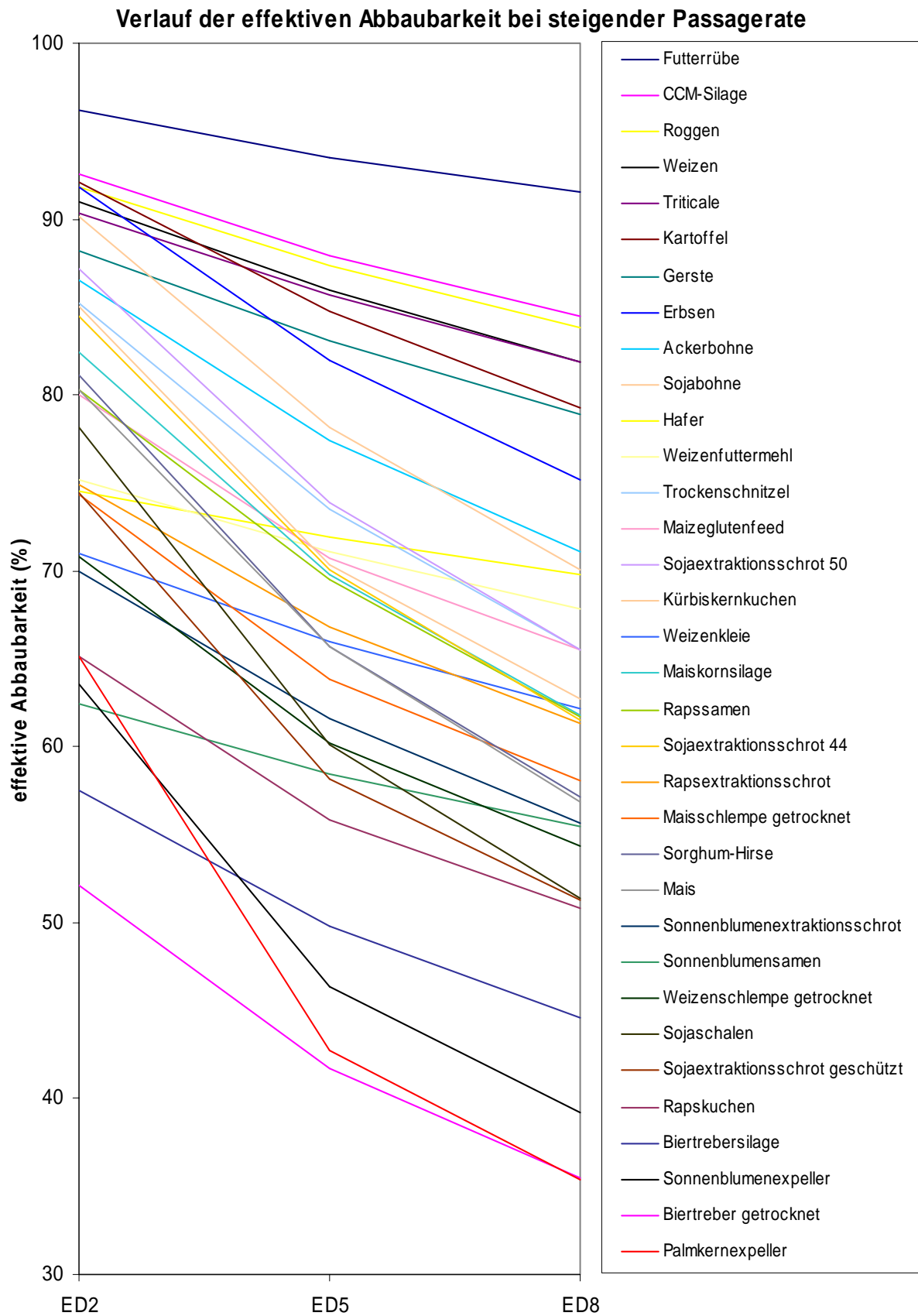


Abbildung 4.2-9 Verlauf der effektiven Abbaubarkeit bei steigender Passagerate
 ED = effektive Abbaubarkeit bei einer Passagerate von 2, 5, 8%/h

effektive Pansenabbaubarkeit bei einer Passagerate von 5 %

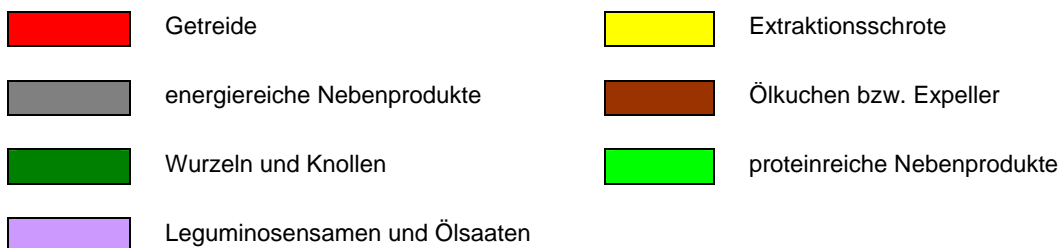
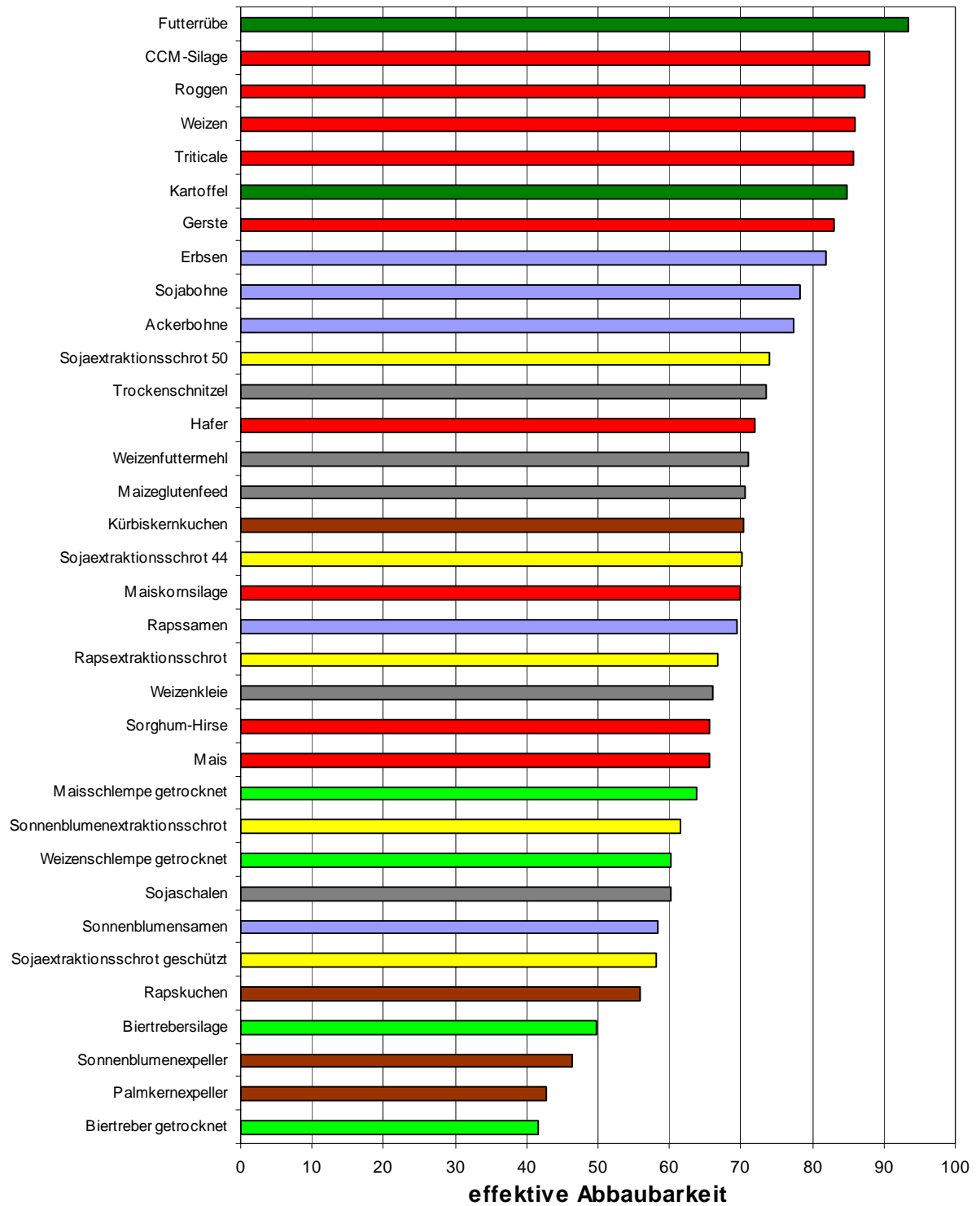


Abbildung 4.2-10 Effektive Pansenabbaubarkeit bei einer Passagerate von 5%

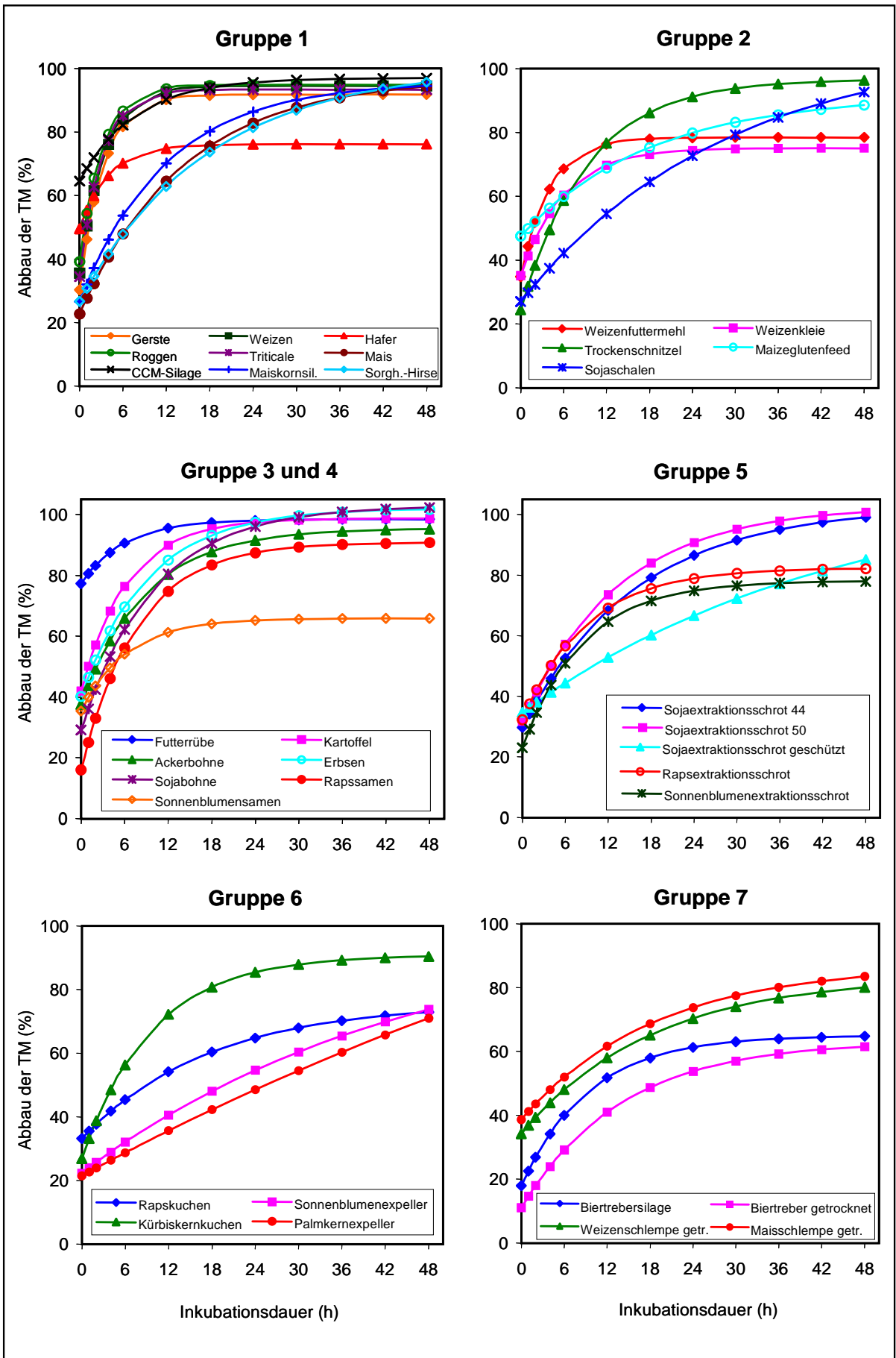


Abbildung 4.2-11 *in-situ*-Abbaubarkeit der TM der einzelnen Futtermittel-Gruppen

Vergleich der Abbaubarkeit innerhalb der Futtermittelgruppen

Stellt man die Getreidearten gegenüber (Gruppe 1) (Abbildung 4.2-11), sind aus der Grafik drei Gruppen unterschiedlichen Abbauverhaltens zu erkennen. Eine Gruppe zeigt einen steilen Kurvenverlauf und somit einen raschen Nährstoffabbau. Zu dieser Gruppe gehören die Futtermittel Gerste, Weizen, Roggen, Triticale und CCM-Silage. Diese Futtermittel besitzen einen sehr hohen Anteil an rasch abbaubaren Nährstoffen (hier Stärke) und erreichen innerhalb der geprüften 48 Stunden eine Abbaubarkeit der Trockenmasse von über 90%. Der rasche Abbau von Stärke im Pansen führt zu einer erhöhten Produktion von flüchtigen Fettsäuren, vor allem Propionsäure, wodurch der pH-Wert des Pansens gesenkt wird. Hafer besitzt einen hohen Rohfasergehalt und erreicht deshalb nicht die Abbaubarkeit der anderen Getreidearten. Die Futtermittel Körnermais, Maiskornsilage und Sorghum-Hirse weisen einen langsameren Trockenmasseabbau auf als die anderen Getreidearten. Die langsamere Nährstofflieferung führt zu einer gleichmäßigeren Nährstoffversorgung der Mikroben und zu einer geringeren Schwankung des pH-Wertes im Pansen während des Tagesverlaufs.

Energiereiche Nebenprodukte aus der Verarbeitung von Futter- oder Nahrungsmitteln (Gruppe 2) verhalten sich in der Abbaubarkeit der Nährstoffe im Pansen sehr unterschiedlich. Durch die Verarbeitung werden den Rohstoffen in vielen Fällen wertvolle, rasch abbaubare Nährstoffe (z.B. Stärke bei Getreide) entzogen. Folglich kommt es in den Nebenprodukten zu einer Anreicherung der weniger abbaubaren Nährstoffe (Gerüstsubstanzen) und somit zu einer insgesamt geringeren Abbaubarkeit. Weiters ist die Verweildauer im Pansen durch den oft feinen Vermahlungsgrad der Futtermittel vermindert, wodurch die Strukturkohlenhydrate von den spezifischen Mikroben nicht vollständig abgebaut werden können. Weizenkleie enthält als Hauptbestandteil die Aleuronschicht mit Protein und Gerüstkohlenhydraten; Weizenfuttermehl fällt bei geringerem Ausmahlungsgrad des Getreides an und beinhaltet einen relativ höheren Anteil von der Stärke des Mehlkörpers. Vergleicht man Weizenfuttermehl und Weizenkleie, dann ist ein paralleler Verlauf der Abbaukurven zu erkennen. Dies ist auf den unterschiedlichen Ausmahlungsgrad zurückzuführen. Die Abbaurate von Weizenfuttermehl ist zu Beginn höher als die von Weizenkleie.

Futterrübe und Kartoffel (Gruppe 3) weisen eine sehr hohe potentielle Abbaurate (>98%) auf. Aufgrund des niedrigen Gehaltes an Gerüstkohlenhydraten wird dieser Wert schon nach kurzer Inkubationszeit erreicht. Der sehr hohe Anteil an unmittelbar abbaubarer Trockenmasse besteht vorwiegend aus Zucker (Futterrübe) bzw. Stärke (Kartoffel).

Leguminosensamen (Gruppe 4) werden im Pansen in einem ähnlichen Ausmaß abgebaut wie Getreide. Dagegen weisen Ölsaaten (Gruppe 4) auf Grund ihres hohen Rohfettgehaltes nur in geringerem Ausmaß abgebaut. Sonnenblumensamen weisen zusätzlich einen hohen Anteil an schwer abbaubaren Gerüstsubstanzen auf. Die Abbaugeschwindigkeit der Trockenmasse dieses Futtermittels ist dem entsprechend sehr niedrig.

Extraktionsschrote (Gruppe 5) weisen einen flacheren Verlauf der Abbaukurve auf als viele der bisher dargestellten Futtermittel. Die geringere Abbaugeschwindigkeit ist eine Folge der bei der Extraktion des Fettes wirkenden thermischen und chemischen Vorgänge. Durch diese wird das Protein für die Pansenmikroben weniger angreifbar. Als Folge verlässt von diesen Futtermitteln ein höherer Anteil des Proteins unabgebaut den Pansen. Dieses steht somit dem Wirtstier direkt im Dünndarm zur Absorption zur Verfügung. Voraussetzung ist natürlich, dass dieses Protein vom Verdauungssystem des Wirtstiers verdaut werden kann. Sojaextraktionsschrot weist eine höhere Abbaubarkeit auf als Raps- oder Sonnenblumenextraktionsschrot. Dagegen zeigt Sojaextraktionsschrot geschützt eine wesentlich veränderte Abbaukinetik. Der Abbau verläuft nahezu linear und nur bis etwa 80%. Durch die Behandlung des Futtermittels mit Xylose wird das Rohprotein für die Pansenmikroben schwerer abbaubar.

Ölkuchen und Expeller (Gruppe 6) weisen noch relativ hohe Gehalte an Rohfett auf. Rohfett kann von den Pansenmikroben nicht bzw. nur von einer mengenmäßig unbedeutenden Spezies abgebaut werden. Der Verlauf der Abbaukurven ist relativ flach.

Trebern und Schlempe (Gruppe 7) sind Abfallprodukte, denen Stärke durch Alkoholherstellung entzogen wurde. In diesen Futtermitteln ist der Anteil an Gerüstsubstanzen entsprechend hoch und rasch verfügbare Fraktionen sind nur mehr in geringen Mengen enthalten. Die Abbauraten sind folglich niedrig.

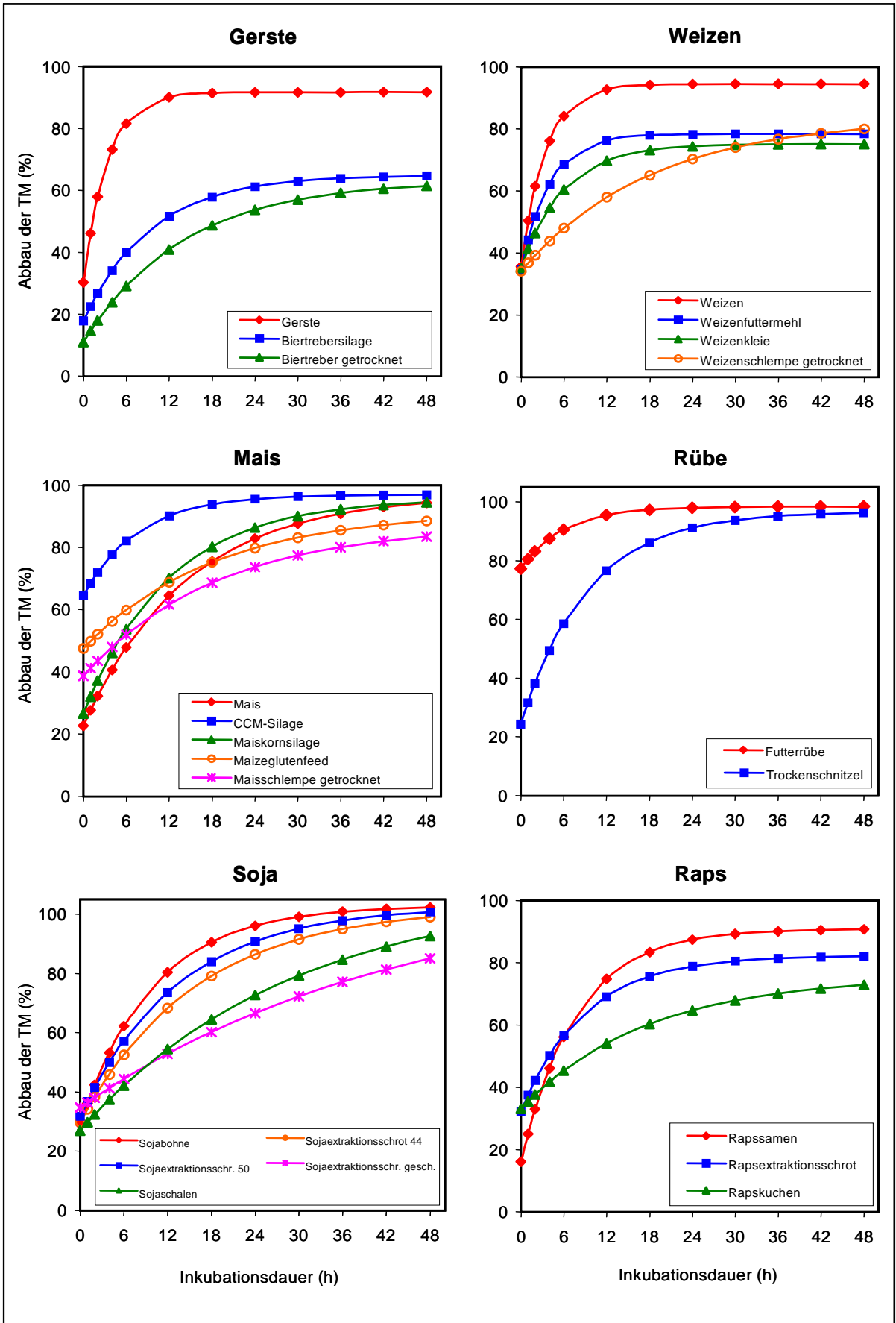


Abbildung 4.2-12 *in-situ*-Abbaubarkeit der TM der Rohkomponenten und deren Verarbeitungsprodukte

Vergleich der Verarbeitungsprodukte mit dem Ausgangsmaterial

In der Abbildung 4.2-12 werden jene Futtermittel gegenübergestellt, die einer gleichen Kulturart (Spezies) angehören, jedoch durch Verarbeitung wesentlich verändert worden sind. Es soll dargestellt werden, wie sich diese Verarbeitung, in den meisten Fällen durch Entzug wertbestimmender, hochverdaulicher Nährstoffe, auf die Abbaubarkeit gegenüber dem Ausgangsmaterial auswirkt.

Unterschiede in den Abbaukurven sind durch den Entzug von Inhaltsstoffen auf chemischem oder mechanischem Wege oder durch die Veränderung der Verfügbarkeit nach einer thermischen oder chemischen Behandlung bzw. Silierung zu interpretieren. Nach vielen dieser Behandlungen liegt relativ ein höherer Anteil an Gerüstkohlenhydraten vor, was folglich zu einem langsameren Abbau der Trockenmasse im Pansen führt. Silierte Formen wie Biertreibersilage oder Maiskornsilage weisen gegenüber dem getrockneten Futtermittel eine höhere Abbaurate der Trockenmasse auf. In allen Fällen sind die Ausgangsprodukte in höherem Ausmaß abbaubar als deren Verarbeitungsprodukte, da bei der Verarbeitung im wesentlichen die vollständig abbaubare Stärke entzogen wird (siehe Gerste – Biertreber, Weizen – Weizennebenenerzeugnisse wie Futtermehl, Kleie, Schlempe, Futterrübe – Trockenschnitzel, Rapssamen – Rapsextraktionsschrot bzw. –Kuchen, Sojabohne – Extraktionsschrot und Schalen).

5 ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurden von den in der Fütterungspraxis wichtigsten Kraftfuttermitteln in Mischfutterwerken, landwirtschaftlichen Forschungsanstalten und Betrieben sowie Erzeugungsstätten repräsentative Proben gezogen (n = 77). Die Futtermittel wurden in 7 Gruppen eingeteilt:

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

Zusätzlich zu den Weender Rohnährstoffen und den Van Soest–Gerüstsubstanzen wurden auch der *in-situ*–Nährstoffabbau an vier fistulierten Ochsen nach dem Modell von ØRSKOV & McDONALD (1979) und die Protein- und Kohlenhydrat–Fraktionen 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, Schlemphen, Trockenschnitzel, Mais), in den „geschützten“ Eiweißfuttermitteln sowie in Raps-erzeugnissen höhere Anteile der Fraktion B₃ und C (langsam abbaubar bzw. im Pansen nicht verfügbar). Rund die Hälfte des Proteins weist eine mittlere Abbaurate auf (B₂), mit deutlichen Unterschieden zwischen den Futtermitteln (Einfluss von Trocknung und Species). Die technologische Verarbeitung der Futtermittel („geschütztes Protein“, Trocknung) führt zu einer Verschiebung der Protein-Fractionen in Richtung langsamere Abbaurate. Dies spiegelt sich auch in den Abbau-Kurven 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.

6 ABSTRACT

In the present investigation representative samples of the most important concentrates used in Austria were taken from the concentrate industry, in agricultural research institutes as well as from farms (n = 77). The feed stuffs were divided into 7 groups:

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

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

The feed stuffs and groups of feed stuffs significantly and typically differed in their 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 an 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 feed stuffs (impact of drying and species). The processing of feed stuffs (protection of protein, drying) results in a shift towards fractions of lower degradability. This corresponds well with the degradability data determined with the in situ nylon bag technique. The cereals are characterized by a high degradability rate (29 %/h), besides of maize and sorghum (7 and 6 %/h). The degradability rate of legume and oil seeds is somewhat lower (13 %/h), the feed stuffs of lowest degradability rate being extracted oil seed 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 for rumen microbes.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- AACRS (Australian Agricultural Council. Ruminant Subcommittee), 1990: Feeding standards for Australian livestock: Ruminants. CSIRO Australia.
- ABDALLA, H.O., D.G. FOX und P.J. VAN SOEST, 1988: An evaluation of methods for preserving fresh forage samples before protein fraction determinations. *J. Anim. Sci.* 66: 2646-2649.
- AERTS, J.W., D.L. DE BRABANDER, B.G. COTTYN und F.X. BUYSSE, 1977: Comparison of laboratory methods for predicting of the organic matter digestibility of forages. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2: 337-349.
- AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients, 1992: Nutritive Requirements of animals: Protein, Nutrition Abstract a Review. Series B 62 (12): 787-835.
- AFRC, 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.
- ALVA (Arbeitsgemeinschaft landwirtschaftlicher Versuchsanstalten), 1986: Österreichische Methodenbuch für die Untersuchung von Futtermitteln, Futterzusatzstoffen und Schadstoffen. Selbstverlag ALVA.
- BALCH, C.C. und V.W. JOHNSON, 1950: Factors affecting the utilization of food by dairy cows. II. Factors influencing the rate of breakdown of cellulose (cotton threads) in the rumen of the cow. *Brit. J. Nutr.* 4: 389-394.
- BARTON II, F.E., 1990: The problem of reference data and the certification of near infrared reflectance spectroscopy. In: BISTON, R. und N. BARTIAUX-THILL (Eds.): Proc. of the 3rd international conference on near infrared spectroscopy 2nd Ed., June 25-29 Brussels, Agric. Res. center Gembloux, Belgium: 675-678.
- 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.
- BAUCHOP, T., 1979: Rumen anaerobic fungi of cattle and sheep. *Appl. Environ. Microbiol.* 38: 148.
- BERGEN, W.G., D.B. PURSER und J.H. CLINE, 1967: Enzymatic determination of the protein quality of individual rumen bacteria. *J. Nutr.* 92: 357.
- BERZAGHI, P., 1997: Investigation of a LOCAL calibration procedure for near infrared instruments. 3. *Near Infrared Spectrosc.* 5: 223-232.
- 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. Tierern.* 26: 157-188.

- BMLF (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft), 1994 und 1995:
Standarddeckungsbeiträge und Daten für die Betriebsberatung. Abteilung II/A4 –
Landw. Beratungswesen, Wien.
- BRYANT, M.P., 1973: Nutritional requirements of the predominant rumen cellulolytic
bacteria. *Fed. Proc.* 32: 1809-1813.
- CHEN, G. und J.B. RUSSELL, 1989: More monensin-sensitive, ammonia producing
bacteria from the rumen. *Appl. Environ. Microbiol.* 55: 1052.
- CITRON, A., A. BRETON und G. FONTY, 1987: Rumen anaerobic fungi. *Bull. Inst.
Pasteur* 85: 329.
- COLEMAN, G.S., 1980: Rumen ciliate protozoa. *Adv. Parasitol.* 18: 121.
- CRAWFORD Jr., R.J., W.H. HOOVER, C.J. SNIFFEN und B.A. CROOKER, 1978:
Degradation of feedstuff nitrogen in the rumen vs. nitrogen solubility in three solvents.
J. Anim. Sci. 46: 1768-1775.
- CRONJE, P.B., 1992: Effect of dietary roughage: concentrate ratio and rumen ammonia
concentration on in situ feedstuff degradation in the rumen of sheep. *S. Afr. J. Anim.
Sci.* 22: 207-213.
- CUNHA, T.J., 1987: Variables in animal nutrition keep shifting the “requirements”.
Feedstuffs. 59 (42): 1.
- DACCORD, R., 1992: Grenzen der Milchleistung. *Landfreund* 1992, 52: 11-13.
- DARDENNE, P. und R. BISTON, 1990: Standardization procedure and NIRS instrument
network. In: BISTON, R. und N. BARTIAUX-THILL (Eds.): *Proc. of the 3rd
international conference on near infrared spectroscopy 2nd Ed. June 25-29 Brussels.
Agric. Res. center Gembloux, Belgium: 655-662.*
- DE BOEVER, J.L., B.G. COTTYN, D.L. DE BRABANDER, J.M. VANACKER und Ch.V.
BOUCQUE, 1996: Prediction of the feeding value of grass silage by chemical
parameters, in vitro digestibility and near-infrared reflectance spectroscopy. *Anim.
Feed Sci. and Tech.* 60: 103-115.
- DE BOEVER, J.L., J.V. AERTS, B.G. COTTYN, J.M. VANCKER und F.X. BUYSSE,
1984: The in sacco protein degradability vs. Protein solubility of concentrate
ingredients. *Z. Tierphysiol. Tierernähr. Futtermittelkd.* 52: 227-234.
- DE BRABANDER, D.L., J.L. BOEVER, J.M. VANACKER, Ch.V. BOUCQUÉ und S.M.
BOTTERMAN, 1999a: Evaluation of physical structure in dairy cattle nutrition. In:
GRANSWORTHY, P.C. und J. WISEMAN (Eds.): *Recent Advances in Animal
Nutrition* University of Nottingham, UK: 111-147.
- DEHORITY, B.A. und C.G. ORPIN 1988: Development of, and natural fluctuations in,
rumen microbial populations. In: P.N. Hobson (Ed.): *The Rumen Microbial
Ecosystem.* Elsevier Applied Science, London and New York: 151-183.

- 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, 2001: Struktur- und Kohlenhydratversorgung der Milchkuh. *DLG-Information* 2/2001: 46 S.
- DREPPER, K. und K. ROHR, 1984: Grundzüge der Fütterungslehre. Hamburg U.A. Verlag Parey, 1984: 143 S.
- EHLE, F.R., M.R. MURPHY und J.H. CLARK, 1982: In situ particle size reduction and the effect of particle size on degradation of crude protein and dry matter in the rumen of dairy steers. *J. Dairy Sci.* 65: 963-971.
- ERWIN, E.S. und N.G. ELLISTON, 1959: Rapid method of determining digestibility of concentrates and roughages in cattle. *J. Anim. Sci.* 18: 1518.
- FAICHNEY, G.J., 1986: The kinetics of particulate matter in the rumen. In: MILLIGAN L.P., W.L. GROVUM und A. DOBSON (Eds.): *Control of Digestion and Metabolism in Ruminants*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ: 173-195.
- FIGROID, W., W.H. HALE und B. THEURER, 1972: An evaluation of the nylon bag technique for estimating rumen utilization of grains. *J. Anim. Sci.* 35: 113-120.
- FORBES, J.M., 1995: *Voluntary Food Intake and Diet Selection in Farm Animals*. CAB International, Wallingford, UK.
- FOX, D.G. und J.R. BLACK, 1984: A System for predicting body composition and performance of growing cattle. *J. Anim. Sci.* 58: 725.
- 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. DURAL, 2000: The net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. CNCPS Version 4.0, Model Documentation, Animal Science Mimeo 213, Department of Animal Science, Cornell University, New York, USA: 237 S.
- GASTEINER, J., 2001: Grundlagen zu den Verdauungsvorgängen beim Rind-Pansenphysiologie, Pansenazidose. In: BAL Bericht über die 28. Viehwirtschaftliche Fachtagung.
- GILL, J., R.C. CAMPLING und D.R. WESTGARTH, 1966: A study of chewing during eating in the cow. *Br. J. Nutr.* 20: 13-23.
- GILL, M., D.E. BEEVER und J. FRANCE, 1989: Biochemical bases needed for the mathematical representation of whole animal metabolism. *Nutr. Abst. Review.* 2: 181.
- GRENET, E., 1989: A comparison of the digestion and reduction in particle size of Lucerne hay (*Medicago sativa*) and Italian ryegrass hay (*Lolium italicum*) in the ovine digestive tract. *Br. J. Nutr.* 62: 493-507.
- GRUBER, L. 1994: Verwertung von Futterrüben und Rübenmischsilagen bei Milchkuhen. *Übersichten zur Tierernährung* 22: 243-280.

- GRUBER, L., 1995: Einfluss unterschiedlicher Grundfutterqualitäten und sinkender Kraffutterpreise auf Rationsanteile in der Milchviehhaltung und Grünlandbewirtschaftung. BAL Wintertagung 1995.
- GRUBER, L., 2002: Vorlesung Spezielle Wiederkäuerernährung, Institut für Nutztierwissenschaften, Uni. f. BOKU, Wien.
- GRUBER, L., R. STEINWENDER und W. BAUMGARTNER, 1995: Aktuelle Forschungsergebnisse und Versorgungsempfehlungen in der Rindermast und Milchviehfütterung. In: BAL Bericht über die 22. Tierzuchttagung.
- GRÜNER BERICHT, 2004: Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2003. Herausgeber: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: 54.
- HA, J.K. und J.J. KENNELLY, 1984: In situ dry matter and protein degradation of various protein sources in dairy cattle. *Canad. J. Anim. Sci.* 64: 443-452.
- HARSTAD, O.M. und E. PRESLØKKEN, 1999: Effective rumen degradability and intestinal indigestibility of individual amino acids in solvent-extracted soybean meal (SBM) and xylose-treated SBM (SoyPass[®]) determined in situ. *Anim Feed Sci. Technol.* 83: 31-47.
- HESPELL, R.B. und M.P. BRYANT, 1979: Efficiency of rumen microbial growth: Influence of some theoretical and experimental factors on Y_{ATP} . *J. Anim. Sci.* 49: 1640.
- HOPSON, J.D., R.R. JOHNSON und B.A. DEHORITY, 1963: Evaluation of the Dacron bag technique as a method of measuring cellulose digestibility and rate of forage digestion. *J. Anim. Sci.* 22: 448-453.
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Rinder>: Internetrecherche.
- HUHTANEN, P. und H. KHALILI, 1989: Microbial polysaccharidase activities associated with rumen particulate matter and feed particles incubated in nylon bags in the rumen. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 2: 400-401.
- HUNGATE, R.E., 1966: *The Rumen and its Microbes*. Academic Press, New York.
- 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.
- HUNTINGTON, J.A. und D.I. GIVENS, 1996: Studies on in situ degradation of feeds in the rumen: 1. Effect of species, bag mobility and incubation sequence on dry matter disappearance. *Anim. Feed Sci. Technol.* 64: 227-241.
- JEROCH, H., G. FLACHOWSKY und F. WEIßBACH, 1993: *Futtermittelkunde*. Gustav Fischer Verlag Jena Stuttgart: 510 S.
- JEROCH, H., W. DROCHNER und O. SIMON, 1999: *Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere*. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart: 544 S.

- KAMOUN, M. und A. THEWIS, 1990: Influence du mode de conditionnement d'un fourrage vert sur sa composition chimique, la digestibilité in vitro de la matière organique et la dégradabilité in sacco de l'azote dans le rumen. *Reprod. Nutr. Dev.* 2: 159-160.
- KNAUS, W.F., 2000: Das Cornell-System zur Optimierung von Rinderrationen: Ein Überblick. Fütterungsreferententagung 2000, Bad Tatzmannsdorf.
- KRISHNAMOORTHY, U., T.V. MUSCATO, C.J. SNIFFEN und P.J. VAN SOEST, 1982: Nitrogen fractions in selected feedstuffs. *J. Dairy Sci.* 65: 217-255.
- LEEDLE, J.A., M.P. BRYANT. und R.B. HESPELL, 1982: Diurnal variations in bacterial numbers and fluid parameters in ruminal contents of animal fed low or high forage diets. *Appl. Environ. Microbiol.* 44: 402-412.
- LEITGEB, R., 2002: Vorlesung Futtermittelkunde I und II. Institut für Nutztierwissenschaften, Uni. f. BOKU Wien.
- 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. und P.G. KNUTSSON, 1981: Effect of bag pore size on the loss of particulate matter and on the degradation of cell fiber. *Agric. Environ.* 6: 171-182.
- LINDBERG, J.E., 1981: The effect of sample size and sample structure on the degradation of dry matter, nitrogen and cell walls in nylon bags. *Swed. J. Agric. Res.* 11: 71-76.
- LINDBERG, J.E., 1985: Estimation of rumen degradability of feed proteins with the in sacco technique and various in vitro methods: A review. *Acta Agric Scand* 25: 64-97.
- LOWRY, O.H., N.J. ROSENBROUGH, A.L. FARR und R.J. RANDALL, 1951: Protein measurement with the Folin Phenol Reagent. *J. Biol. Chem.* 13: 265-275.
- MADSEN, J. und T. HVELPLUND, 1985: Protein degradation in the rumen. A comparison between in vivo, nylon bag, in vitro and buffer measurements. *Acta Agric. Scand.* 25: 103-124.
- 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.
- MARINUCCI, M.T., B.A. DEHORITY und S.C. LOERCH, 1992: In vitro and in vivo studies of factors affecting digestion of feeds in synthetic fiber bags. *J. Anim. Sci.* 70: 296-307.
- MARUM, P. und A.H. AASTVEIT, 1990: The precision of the Tilley & Terry method compared to the NIRS method in estimating digestibility in breeding programs, June 25-29 Brussels; 2nd Ed. *Agric. Res. center Gembloux, Belgium*: 566-569.
- McDONALD, P., R.A. EDWARDS und J.F.D. GREENHALGH, 1989: *Animal Nutrition* 4th Ed. Longman Scientific & Technical: 543 S.

- MCRAE, J.C., D.R. CAMPBELL und J. EADIE, 1975: Changes in the biochemical composition of herbage upon freezing and thawing. *J. Agric. Sci.* 84: 125-131.
- MEHREZ, A.Z. und E.R. ØRSKOV, 1977: A study of the artificial fiber nylon bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. *J. Agric. Sci.* 88: 645-650.
- MERTENS, D.R., 1993: Rate and extent of digestion. In: FORBES, J. M., und FRANCE, J. (Eds.): *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism*, UK, CAB International: 13-51.
- MEYER, J.A.F. und R.I. MACKIE, 1983: Microbiology of feed samples incubated in nylon bags in the rumen of sheep. *S. Afr. Tydskr. Veek.* 13: 220-222.
- MEYER, J.A.F. und R.I. MACKIE, 1986: Microbiological evaluation of the intraruminal in sacco digestion technique. *Appl. Environ. Microbiol.* 51: 622-629.
- MICHALET-DOREAU, B. und M.Y. OULD-BAH, 1989: Estimation of the extent of bacterial contamination in bag residues and its influence on in sacco measurements of forage nitrogen degradation in rumen. 16th Int. Grassl. Congr., Nice, France: 909-910.
- MICHALET-DOREAU, B. und M.Y. OULD-BAH, 1992: In vitro and in sacco methods for the estimation of dietary nitrogen degradability in the rumen: A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 40: 57-86.
- MICHALET-DOREAU, B. und P. CERNEAU, 1991: Influence of foodstuff particle size on in situ degradation of nitrogen in the rumen. *Anim. Feed Sci. Technol.* 35: 69-81.
- MICHALET-DOREAU, B., 1990a: Influence de la nature de l'aliment sur l'importance des pertes en particules dans la mesure de la dégradabilité in sacco de l'azote des aliments. *Reprod. Nutr. Dev.* 2: 151-152.
- MICHALET-DOREAU, B., P. CERNEU und C. DARDILLAT, 1992: Comparaison de la granulométrie du bol mastiqué et de l'aliment broyé à différentes grilles: incidence sur la méthodologie des mesures in sacco. *Ann. Zootech.* 41: 11-12.
- MICHALET-DOREAU, B., R. VÉRITÉ und P. CHAPOUTOT, 1987: Méthodologie de mesure de la dégradabilité in sacco de l'azote des aliments dans le rumen. *Bull. Tech., Cent. Rech. Zootech. Vet. Theix, INRA* 69: 5-7.
- MOHAMED, O.E. und R.H. SMITH, 1977: Measurement of protein degradation in the rumen. *Proc. Nutr. Soc.* 36: 152A.
- NAVARATRE, H.U.R.G., M.N.M. IBRAHIM und J.B. SHIERE, 1990: Comparison of four techniques for predicting digestibility of tropical feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 29: 209-221.
- NOCEK, J.E. und J.B. RUSSELL, 1988: Protein and carbohydrate as an integrated system. Relationship of ruminal availability to microbial contribution and milk production. *J. Dairy Sci.* 71: 2070.

- NOCEK, J.E. und M.B. HALL, 1984: Characterization of soy hull fiber digestion by in situ and in vitro enzymatic procedures. *J. Dairy Sci.* 67: 2599-2607.
- NOCEK, J.E., 1985: Evaluation of specific variables affecting in situ estimates of ruminal dry matter and protein digestion. *J. Anim. Sci.* 60: 1347-1358.
- NOCEK, J.E., 1988: In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: A review. *J. Dairy Sci.* 71: 2051-2069.
- NOLAN, J.V., 1975: Quantitative models of nitrogen metabolism in sheep. In: McDONALD I. W. und A.C.I. WARNER (Eds.): *Digestion and Metabolism in the Ruminant*. Univ. of New England Publishing Unit, Armidale, Australia: 416.
- NORRIS, K.H., R.F. BARNES, J.E. MOORE und J.S. SHENK, 1976: Predicting forage quality by infrared spectra. In: MARTENS und RUSSWURM (Eds.): *Proc. IUFost Symp. Food Research and data analysis*, Sept. 1982, Oslo, Norway. Applied science publ: 95-113.
- NRC (National Research Council), 1984: *Nutrient Requirements of Beef Cattle 6th Ed.*, National Academy Press, Washington, DC.
- NRC, 1989: *Nutrient Requirements for Beef Cattle 6th Ed.*, National Academy Press, Washington, DC.
- NRC, 1996: *Nutrient Requirements for Beef Cattle 7th Ed.*, National Academy Press, Washington, DC.
- NRC, 2001: *Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 7th Ed.*, National Academy Press, 381 S.
- OLTJEN, J.W., A.C. BYWATER, R.L. BALDWIN und W.N. GARRETT, 1986: Development of a dynamic model of beef cattle growth and composition. *J. Anim. Sci.* 62: 86.
- 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.* 92: 499-503.
- ØRSKOV, E.R. und M. RYLE, 1990: *Energy Nutrition in Ruminants*. Elsevier App. Sci. UK: 149 S.
- ØRSKOV, E.R., 1976: The Effect of processing on digestion and utilization of cereals by ruminants. *Proc. Nutr. Soc.* 35: 245.
- ØRSKOV, E.R., F.D. DEB HOVELL und F. MOULD, 1980: The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Trop. Anim. Prod.* 5: 195-213.
- PAUL, C. und W. SCHÖBERLEIN, 1991: Zum Einsatz der Nahinfrarot-Reflexions-Spektroskopie (NIRS) beim Monitoring des N-Versorgungszustands in Grassamenbeständen. *Das wirtschaftseig. Futter* 37 (1-2): 201-217.
- PAUL, C., 1987: Testing for sample stability and accuracy of NIRS-Predictions in the European Ringtest on grass silage. In: *Forage quality analysis by Near Infrared*

- Reflectance Spectroscopy, Commission of the European Communities, Brussels, 3.-4. Dezember 1987.
- PEYRAUD, J.L., 1990: Influence du mode de séchage et de la finesse de broyage des échantillons de fourrages sur l'estimation de la dégradabilité de l'azote. *Reprod. Nutr. Dev.* 2: 153-154.
- PFINGSTNER, H., 1993: Produktionskosten und Wettbewerb in der Rinderhaltung. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Agrarwirtschaft, Wien, 72: 160 S.
- PIATKOWSKI, B., H. GÜRTLER, J. VOIGT, 1990: Grundzüge der Wiederkäuerernährung. Gustav Fischer Verlag Jena: 236 S.
- PLAYNE, M.J., W. KHUMNUALTHONG und M.G. ECHEVARRIA, 1978: Factors affecting the digestion of oesophageal fistula samples and hay samples in nylon bags in the rumen of cattle. *J. Agric. Sci.* 90: 193-204.
- POOS-FLOYD, M., T. KLOPFENSTEIN und R.A. BRITTON, 1985: Evaluation of laboratory techniques for predicting ruminal protein degradation. *J. Dairy Sci.* 68: 829-839.
- POPPI, D.P., B.W. Norton, D.J. MINSON und R.E. HENDRICKSEN, 1980: The validity of the critical size theory for particles leaving the rumen. *J. Agric. Sci.* 94: 275-280.
- PRIGGE, E.C., M.J. BAKER und G.A. VARGA, 1984: Comparative digestion rumen fermentation and kinetics of forage diets by steers and withers. *J. Anim. Sci.* 59: 237-245.
- QUIN, J.I., J.G. VAN DER WATH und S. MYBURGH, 1938: Studies on the alimentary tract of merino sheep in South Africa. IV. Description of experimental technique. Onderstepoort *J. Vet. Sci. Anim. Ind.* 11: 341-600.
- REES, M.C. und D.A. LITTLE, 1980: Differences between sheep and cattle in digestibility, voluntary intake and retention time in rumen of three tropical grasses. *J. Agric. Sci.* 94: 483-485.
- RHIS, T., 1990: Comparison of ringtest performance on hay analysis using near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) and chemical methods. In: BISTON, R. und N. BARTIAUX-THILL (Eds.): Proc. of the 3rd international conference on near infrared spectroscopy 2nd Ed. June 25-29 Brussels. Agric. Res. center Gembloux, Belgium: 570-572.
- RODRIQUES, H., 1968: The in vivo bag technique in digestibility studies. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 2: 77-81.
- ROE, M.B., C.J. SNIFFEN und L.E. CHASE, 1990: Techniques for measuring protein fractions in feedstuffs. *Dep. Anim. Sci. Ithaca, NY. Proc. Cornell Nutr. Conf.:* 81-88.
- RUSSELL, J.B. und R.J. WALLACE, 1988: Energy yielding and consuming reactions, In: P.N. HOBSON (Ed.): *The Rumen Microbial Ecosystem*. Elsevier App. Sci. London: 185-216.

- RUSSELL, J.B. und R.L. BALDWIN, 1981: Microbial rumen fermentation. *J. Dairy Sci.* 64: 1153.
- RUSSELL, J.B., 1984: Factors influencing competition and compositions of rumen bacterial flora. *Proc. Symp. Herbivore Nutrition in Sub-tropics and Tropics.* Science Press, Craighall, South Africa: 313.
- RUSSELL, J.B., C.J. SNIFFEN und P.J. VAN SOEST, 1983: Effect of carbohydrate limitation on degradation and utilization of casein by mixed rumen bacteria. *J. Dairy Sci.* 66: 763.
- RUSSELL, J.B., H.J. STROBEL und G. CHEN, 1988: The enrichment and isolation of a ruminal bacterium with a very high specific activity of ammonia production. *Appl. Environ. Microbiol.* 54: 872.
- 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. Ruminal fermentation. *J. Anim. Sci.* 70: 3551-3561.
- SETALA, J., 1983: The nylon bag technique in the determination of ruminal feed protein degradation. *J. Sci. Agric. Finland* 55: 1-78.
- SHENK, J.S., 1990: Standardizing NIRS instruments. In: BISTON, R. und N. BARTIAUX-THILL (Eds.): *Proc. of the 3rd international conference on near infrared spectroscopy* 2nd Ed. June 25-29 Brussels. Agric. Res. center Gembloux, Belgium: 649-653.
- 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.* 120: 251-263.
- SLYTER, L.L., 1976: Influence of acidosis on rumen function. *J. Anim. Sci.* 43: 910.
- 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.
- STEINWIDDER, A. und K. WURM, 1999: Grundfutter mit dem richtigen Krafffutter ergänzen. In: *Der fortschrittliche Landwirt, Sonderbeilage 3/99.*
- STERN, M.D. und L.D. SATTER, 1984: Evaluation of nitrogen solubility and the dacron bag technique as methods for estimating protein degradation in the rumen. *J. Anim. Sci.* 58: 714-724.
- STEWART, C.S., 1979: Problems in the assessment of fiber digestion in the rumen. In: GROSSBARD, E. (Ed.): *Straw decay and its effect on disposal and utilisation*, UK: 315-319.
- STRITZLER, N.P., T.A. HVELPLUND und J. WOELSTRUP, 1990: The influence of the position in the rumen on dry matter disappearance from nylon bags. *Acta Agric. Scand.* 40: 363-366.

- STROBEL, H.J. und J.B. RUSSELL, 1986: Effect of pH and energy spilling on bacterial protein synthesis by carbohydrate-limited cultures or mixed rumen bacteria. *J. Dairy Sci.* 69: 2941.
- TAMMINGA, S., 1979: Protein degradation in the fore stomachs of ruminants. *J. Anim. Sci.* 49: 1615.
- UDÉN, P. und P.J. VAN SOEST, 1984: Investigations of the in situ bag technique and a comparison of the fermentation in heifers, sheep, ponies and rabbits. *J. Anim. Sci.* 58: 213-221.
- ULYATT, M.J., D.W. DELLOW, A. JOHN, C.S.W. REID und G.C. WAGHORN, 1986: Contribution of chewing during eating and rumination to the clearance of digesta from the rumino-reticulum. In: MILLIGAN L.P., W.L. GROVUM und A. DOBSON (Eds.), *Control of Digestion and Metabolism in Ruminants*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ: 498-515.
- VAN HELLEN, R.W. und W.C. ELLIS, 1977: Sample container porosities for rumen in situ studies. *J. Anim. Sci.* 44: 141-146.
- VAN KEUREN, R.W. und W.W. HEINEMANN, 1962: Study of a nylon bag technique for in vivo estimation of forage digestibility. *J. Anim. Sci.* 21: 340-345.
- VAN SOEST, P.J., 1982: The kinetics of digestion. In: VAN SOEST P.J. (Ed.), *Nutritional Ecology of the Ruminant*: 211-229.
- VAN SOEST, P.J., 1987: Soluble carbohydrates and non-fiber components of feeds. *Large Anim. Vet.* 42: 44.
- 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.
- VANZANT, E.S., R.C. COCHRAN und E.C. TITGEMEYER, 1998: Standardization of in situ techniques for ruminant feedstuff evaluation. *J. Anim. Sci.* 76: 2717-2729.
- VARGA, G.A. und W.H. HOOVER, 1983: Rate and extent of neutral detergent fiber degradation of feedstuffs in situ. *J. Dairy Sci.* 66: 2109-2115.
- VAZQUEZ-ANTON, M., A.J. HEINRICHS, J.M. ALDRICH und G.A. VARGA, 1993: Effect of postweaning age on rate of in situ protein disappearance in calves weaned at 5 weeks of age. *J. Dairy Sci.* 76: 2749-2757.
- 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.
- WALDO, D.R. und H.K. GOERING, 1979: Insolubility of proteins in ruminant feeds by four methods. *J. Anim. Sci.* 49: 1560-1568.
- WALDO, D.R., L.W. SMITH und E.L. COX, 1972: Model of cellulose disappearance from the rumen. *J. Dairy Sci.* 55: 125.

- WARNER, A.C.I., 1965: Factors influencing numbers and kinds of microorganisms in the rumen. In: R. W. DOUGHERTY (Ed.), Physiology of Digestion in the Ruminant: 346-359.
- WEAKLEY, D.C., F.N. OWENS, D.G. HEATH und B.J. SHOCKEY, 1977: Particle size and soybean meal value for ruminants. J. Anim. Sci. 45: 268.
- WEAKLEY, D.C., M.D. STERN und L.D. SATTER, 1983: Factors affecting disappearance of feedstuffs from bags suspended in the rumen. J. Anim. Sci. 56: 493-507.
- WEISBJERG, M.R., P.K. BHARGAVA, T. HVELPLUND und J. MADSEN, 1990: Use of degradation curves in feed evaluation, Report no. 679 National Institute of Animal Science.
- WILLIAMS, P.C. 1990: Application of Near-Infrared Reflectance and Transmittance Spectroscopy in agriculture. In: B. ISTON, R. und N. BARTIAUX-THILL (Eds.): Proc. of the 3rd international conference on near infrared spectroscopy 2nd Ed. June 25-29 Brussels. Agric. Res. center Gembloux, Belgium: 463-473.
- WINDHAM, W.R. und F.E. BARTON II, 1991: Moisture analysis in forage by Near-Infrared Reflectance Spectroscopy: Collaborative study of calibration methodology. J. Ass. Official Anal. Chem. 74 (2): 324-331.
- 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.