Ruminaler Trockenmasseabbau von neun Silomaissorten und Einfluss auf Futteraufnahme und Milchleistung von Milchkühen

DIPLOMARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades der Diplomingenieurin (DI)

Eingereicht von

Sabine Breitfuß

(0210950)

Beurteiler: Univ.-Doz. DI Dr. L. GRUBER

Betreuer: Univ.-Doz. DI Dr. L. GRUBER
DI M. URDL
Ao. Univ.-Prof. DI Dr. W.F. KNAUS

Universität für Bodenkultur, Wien

Department für Nachhaltige Agrarsysteme

Institut für Nutztierwissenschaften

Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Irdning

Institut für Nutztierforschung

Wien, im Oktober 2010

Gewidmet meinen beiden
lieben Damen

Danksagung

Mein Dank gebührt Herrn Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. L. Gruber der mir die Durchführung des Versuches ermöglicht hat und mir erste Einblicke in die praktische Nutztierforschung gewährte. Zusätzlich möchte ich mich für das Vertrauen in meine Person und die Unterstützung bei der Literatursuche bedanken.

Ganz besonderer Dank ergeht Herrn DI Marcus Urdl, der mir trotz eines engen Terminkalenders immer mit Rat und Tat zur Seite stand. Seine Ratschläge und konstruktive Kritik haben einen wesentlichen Beitrag zu dieser Diplomarbeit geleistet.

Danken möchte ich auch Herrn Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. W.F. Knaus, der mir bei der terminlichen Koordinierung immer entgegenkam.

Zusätzlich bedanke ich mich bei meiner Kollegin aus Frankreich, Maëlenn Marc, für die Hilfe bei der Versuchsvorbereitung und –durchführung.

Dem Stallpersonal danke ich für die zeitweilige Versorgung der Ochsen.

Meiner Familie möchte ich für die materielle und mentale Unterstützung während meiner gesamten Studienzeit danken.

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung 7

1.1 Wirtschaftliche Situation der tierischen Produktion durch Rinder in Österreich 7

1.2 Bedeutung von Mais in der Rinderfütterung 8

1.3 Forschungsfrage 9

1.4 Hypothese 10

1.5 Ziele 10

2 Literaturübersicht 11

2.1 Besonderheiten der Wiederkäuerverdauung 11
2.1.1 Allgemein 11
2.1.2 Die Morphologie des Pansens 12
2.1.3 Die Physiologie des Pansens 13

2.2 Futtermais 16
2.2.1 Biologie der Maispflanze 16
2.2.2 Trockenmasse und Nährstoffgehalt von Silomais 18
2.2.3 Einfluss der physiologischen Reife auf die Trockenmasse und Nährstoffe 19
2.2.4 Einfluss der Konservierung auf die Nährstoffzusammensetzung 21
2.2.5 Sorten und Korntyp 24

2.3 Ruminaler Abbau von körnerreichen Maisfuttermitteln 27

2.4 Einflussgrößen der Futteraufnahme bei Milchkühen 29
2.4.1 Energiebedarf der Milchkuh und Einflüsse auf die Milchinhaltsstoffe 29
2.4.2 Einflussfaktoren der Futteraufnahme 31

2.5 Das *in situ*-Verfahren 33
2.5.1 Grundlagen der Technik 33
2.5.2 Das mathematische Modell zur Ableitung des Trockenmasseabbaus 34
2.5.3 Varianzursachen in der *in situ*-Methode 36

3 Material und Methoden 44

3.1 Futtermittel 44
3.1.1 Sorten 44
3.1.2 Vegetationsstadium 44
3.1.3 Anbaugebiet 45

3.2 Die *in situ*-Methode 45
3.2.1 Vorbereitung der Proben 45
3.2.2 Nylon-bags und Einwaage 46

3.2.3 Ringe und Schnur 48
3.2.4 Fistulierte Tiere 48
3.2.5 Inkubation 49
3.2.6 Nachbehandlung der Proben 49
3.2.7 Statistische Auswertung 50

3.3 Die maissortenabhängige Futteraufnahme bei Milchkühen 51
3.3.1 Die Milchkühe 51
3.3.2 Tierhaltungsform 53
3.3.3 Das Fütterungsregime 53
3.3.4 Datenaufnahme 54
3.3.5 Statistische Auswertung 54

4 Ergebnisse und Diskussion 56

4.1 Der ruminale TM-Abbau von Kolbenschrot-Silage 56
4.1.1 Charakterisierung des Versuchsmaterials 56
4.1.2 Einfluss des Reifezeitpunktes auf die Parameter des *in situ*-Abbaus 61
4.1.3 Ruminale TM-Abbaukurven in Abhängigkeit der Reifezeitpunkte 68
4.1.4 Einfluss des Reifezeitpunktes auf die effektive Abbaubarkeit 74

4.2 Fütterungsversuch mit Milchkühen 79
4.2.1 Trockenmassegehalte der Maissorten 79
4.2.2 Nährstoffgehalte der Futtermittel 80
4.2.3 Einfluss der Reifegruppen auf die Futteraufnahme und tierische Leistung 84

5 Schlussfolgerung 87

6 Zusammenfassung 88

7 Abstract 89

8 Quellenverzeichnis 91

9 Abbildungsverzeichnis 99

10 Tabellenverzeichnis 100

11 Abkürzungen 101

1 Einleitung

1.1 Wirtschaftliche Situation der tierischen Produktion durch Rinder in Österreich

Durch die geographischen Gegebenheiten in Österreich bietet sich vor allem in Gebirgsregionen und in Gunstlagen mit ausreichend Niederschlag die Haltung von Rindern an. Das Dauergrünland umfasst auf Basis der INVEKOS-Daten eine Fläche von insgesamt 1.400.000 ha, wobei davon ca. 40 % als normal ertragsfähiges Grünland und etwa 60 % als extensives Grünland genutzt wird. Dazu kommen noch 163.000 ha Feldfutterflächen, auf denen für einen Zeitraum von maximal fünf Jahren unterschiedliche Klee- und Gräsermischungen angebaut werden, die ebenfalls der Grundfutterproduktion dienen. Bezogen auf die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche in Österreich nehmen Grünland und Feldfutterbau einen Anteil von rund 55 % ein, in westlichen Bundesländern, wie Vorarlberg, Tirol und Salzburg sind es jeweils sogar mehr als 95 % (GRÜNER BERICHT 2009).

Die Rinderpopulation in Österreich wurde im Jahr 2008 mit 1.997.209 Stück beschrieben. Im Vergleich zu Ziegen und Schafen, deren Population in Österreich 62.490 und 333.181 Stück zählen, nehmen Rinder einen Großteil an der gesamten Wiederkäuerpopulation ein (STATISTIK AUSTRIA 2009).

Die Milchproduktion stieg im Kalenderjahr 2008 leicht an. Der gesamte Rohmilchanfall belief sich auf 3.195.948 t Milch. Dies ist ein Plus von 1,28 % gegenüber dem Vorjahr. Die Lieferleistung an die Molkereinen betrug 85 %. Auch hier konnte eine leichte Erhöhung von 0,7 % gegenüber dem Vorjahr festgestellt werden. Jedoch gerieten die Auszahlungspreise durch die Konsumentenrückhaltung am europäischen Binnenmarkt und durch die international schwächere Nachfrage zunehmend unter Druck. Der Produktionswert von Milch erhöhte sich, gemessen zu Herstellungspreisen, um 18,6 % (GRÜNER BERICHT 2009).

Das Erzeugungsvolumen von Rindfleisch hat, im Vergleich zum Jahr 2007, einen leichten Rückgang, mit 1,1 %, zu verzeichnen. Der Produktionswert zu Herstellungspreisen stieg um 4,9 %. Im Jahr 2008 wurden insgesamt 610.000 Rinder

geschlachtet. Dies ist ein Plus von knapp 4 % gegenüber dem Vorjahr. Die Bruttoeigenerzeugung betrug jedoch 593.653 Stück und ergab damit ein Minus von 0,7 % (GRÜNER BERICHT 2009).

Die wirtschaftliche Situation für die Rinderhalter war allerdings nicht ganz so positiv, da vor allem die sehr hohen Betriebsmittelpreise im ersten Halbjahr die Deckungsbeiträge massiv reduzierten (GRÜNER BERICHT 2009).

Durch die stetige Erschwerung der wirtschaftlichen Produktionsbedingungen ist mitunter eine effiziente Fütterung unausweichlich.

1.2 Bedeutung von Mais in der Rinderfütterung

Der STATISTIK AUSTRIA (2008) zufolge betrug der Anbau von Silomais in Österreich im Jahre 2008 80.970 ha. Verglichen mit der gesamten österreichischen Ackerfläche (1.369.021 ha) beträgt der Anteil von Silomais 5,9 %. Gegenüber dem Vorjahr konnte eine flächenmäßige Erhöhung von 711 ha (+0,89 %) festgestellt werden. Zu den zentralen Anbaugebieten in Österreich zählen vor allem begünstigte Lagen wie Niederösterreich, Oberösterreich und die südöstliche Steiermark. Ihre Anteile an der bundesweiten Silomaisproduktion betragen jeweils 35, 31 und 13 %. Zu beachten ist außerdem, dass gebirgsreiche Bundesländer, denen nur wenige Ackerflächen zur Verfügung stehen, einen nicht zu vernachlässigenden Ackerflächenanteil für die Silomaisproduktion verwenden. So nutzen Salzburg, Tirol und Vorarlberg einen Anteil von 10, 27 und 48 % der bundeslandweiten Ackerfläche für den Anbau von Silomais.

Grundsätzlich wird zur Verfütterung an Wiederkäuer die ganze Pflanze geerntet und gehäckselt siliert. Mais und insbesondere dessen Stärke zeichnet sich im Gegensatz zu anderen Getreidesorten durch geringere Fermentationsgeschwindigkeiten im Pansen aus. Bei hochleistenden Tieren, sowohl in der Mast als auch in der Milchproduktion gilt es, einen Teil der Stärkeverdauung aus den Vormägen in hintere Verdauungsabschnitte zu verlagern. Damit werden eine bessere Energieverwertung und eine höhere Blutzuckerbereitstellung erreicht. Außerdem wird dadurch einer Pansenazidose entgegengewirkt. Daher ist die eingesetzte Maissorte einerseits für die Fermentationsbedingungen im Pansen bedeutend und andererseits für die

Glucosebereitstellung der Tiere (LEBZIEN et al. 1997). Bekannt ist auch, dass die Abbaubarkeit eines Futtermittels, im Pansen keine feste Größe ist, sondern mit der Höhe der Futteraufnahme und der damit verbundenen Passagerate einerseits und der Verweildauer im Vormagen andererseits variiert. So steigt mit zunehmendem Fütterungsniveau des Tieres auch die Passagerate des Futters und die Nahrung verlässt schneller die Vormägen (MAHLKOW-NERGE 2004).

Mit zunehmender Leistung im Rinderstall wird daher immer deutlicher, dass nicht nur die Eiweißergänzung der Ration, sondern auch die ausreichende Energieversorgung bei Aufrechterhaltung normaler Verdauungsvorgänge im Pansen das Kunststück der Wiederkäuerfütterung wird.

1.3 Forschungsfrage

Diese Diplomarbeit stellt den Teil eines dreijährigen Forschungsprojektes am Institut für Nutztierforschung des Lehr- und Forschungszentrums für Landwirtschaft (LFZ) Raumberg-Gumpenstein dar. Im Zuge des Projektes wird der Futtermittelwert von neun aktuellen und in Zukunft bedeutenden Silomaissorten ermittelt.

Die in dieser Diplomarbeit zu klärenden Fragestellungen sind:

- Welches ruminale Trockenmasseabbauverhalten zeigen die Kolbenschrot-Silagen (KS-Silage) der neun Hybriden zu zwei Reifezeitpunkten. Die Sorten wurden dabei in drei Reifegruppen unterteilt.
- Wie hoch ist die Futteraufnahme der Ganzpflanzensilagen in Abhängigkeit der Reifegruppen bei einem hohen Rationsanteil und wie wirken sich die Hybriden auf die Milchleistung und Milchinhaltsstoffe aus.

1.4 Hypothese

Die wichtigste Arbeitshypothese dieser Arbeit lautet wie folgt:

Der Abbau der Trockenmasse von KS-Silage im Pansen wird einerseits von den Silomaissorten und andererseits von deren Erntezeitpunkt beeinflusst. Des Weiteren wird die Hypothese aufgestellt, dass die drei Reifegruppen bei einem hohen Rationsanteil der Ganzpflanzensilage einen Einfluss auf die Futteraufnahme und Milchleistung von Milchkühen haben.

1.5 Ziele

Demnach werden folgende Ziele erarbeitet:

- Ermittlung der Trockenmasseabbaukinetik im Pansen von 9 KS-Silagen unterschiedlicher Sorten, zu je zwei verschiedenen Reifezeitpunkten.
- Ermittlung des Reifegruppeneinflusses von Maissilagen auf die Futteraufnahme von Milchkühen und deren tierischer Leistung.

2 Literaturübersicht

2.1 Besonderheiten der Wiederkäuerverdauung

2.1.1 Allgemein

Wiederkäuer besitzen eigens modifizierte Mägen welche drei nicht-sekretierende Vormägen und einen echten sekretierenden Magen inkludieren. Die drei Vormägen gliedern sich in den Netzmagen (*Reticulum*), den Pansen (*Rumen*) und den Blättermagen (*Omasum*) und haben sich möglicherweise durch Abwandlungen des unteren Ösophagusabschnittes entwickelt (CAMPBELL 2000, AKERS und DENBOW 2008). Der vierte und echte Magen, der Labmagen (*Abomasum*), ist dem Monogastridenmagen gleichzusetzen (AKERS und DENBOW 2008, Abb. 1). Auch die folgenden Abschnitte des Gastrointestinaltraktes sind mit jenen von Nichtwiederkäuern vergleichbar.

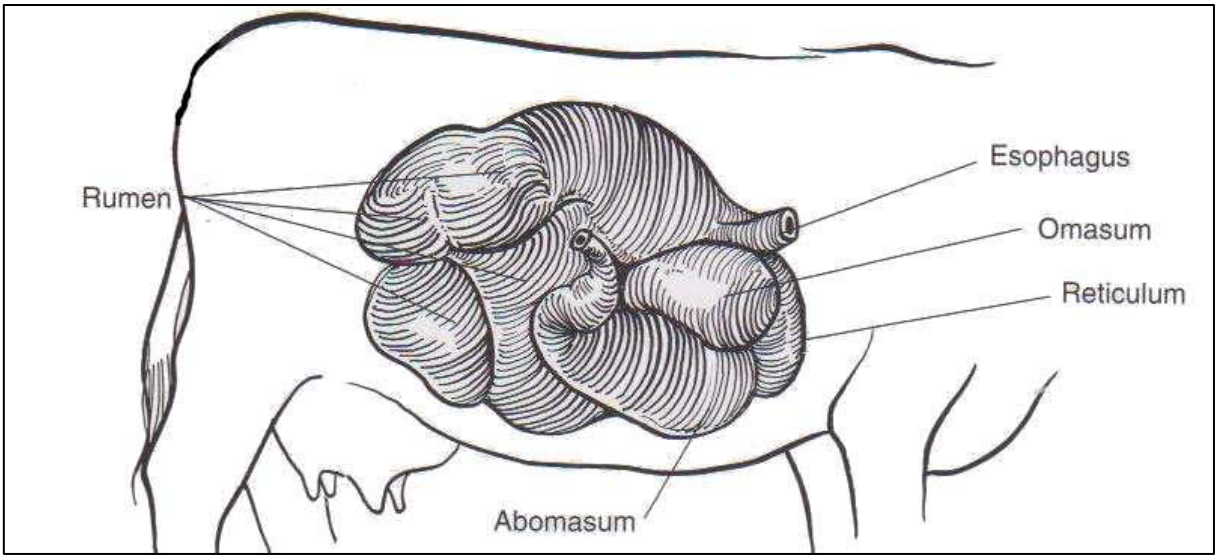

Abbildung 1: Rechte Lateralansicht der Wiederkäuermägen (FRANDSON et al. 2003)

Der Netzmagen und der Pansen werden als eine funktionale Einheit definiert. Einzig die ruminoreticulare Falte separiert die beiden Vormägen. Das nur wenig gekaute Futter gelangt vorerst in den Netzmagen. Durch den Kontakt des Raufutters mit der Netzmagenwand wird der Wiederkaureiz ausgelöst. Eine Folge von Kontraktionen

welche vorerst vom Netzmagen ausgehen ermöglicht das Aufstoßen des Futters (ANKERS und DENBOW 2008, FRANDSON et al. 2009). Bei geringen Futterpartikellängen (< 10 mm) sink der Wiederkaureiz. Dies wirkt sich in einer geringeren Einspeichelung und Abpufferung, durch das im Speichel enthaltene Natriumhydrogencarbonat ($NaHCO_3$), der Boli aus. Außerdem gelangen über den Speichel zusätzlich auch Ammoniak (NH_3) und Mineralstoffe in das aufgenommene Futter (JEROCH et al. 1999). Anschließend erfolgen die mikrobielle Verdauung im Pansen und die Entwässerung im Blättermagen (JEROCH et al. 1999, ANKERS und DENBOW 2008, FRANDSON et al. 2009). Die darauffolgenden Phasen der Verdauung sind die für alle *Mammalia* typisch.

2.1.2 Die Morphologie des Pansens

Der Pansen stellt die größte Kammer des Vormagens dar und füllt fast die gesamte linke Hälfte der Bauchhöhle aus (Abb. 1). Der Kern eines funktionierenden Pansens zeichnet sich durch eine stabile Faserschicht aus. Diese Schicht weist von dorsal nach ventral einen Fermentations- und Temperaturgradienten auf. Im unteren Bereich ist die Fermentation bereits so weit fortgeschritten, dass die Temperaturdifferenz zum oberen Bereich ca. 0,7° C b eträgt. Diese Fasermatte muss eine plastische Konsistenz besitzen, damit sie von Pansensaft durchströmt werden kann. Das Flüssigkeitsniveau hebt und senkt sich im Rhythmus der Pansenkontraktionen, so dass ein kontinuierlicher Wechsel zwischen Gas- und Flüssigphase stattfindet. Die Kontraktionen fördern die Abtrennung von Gasbläschen aus der Flüssigkeit und die Bildung der dorsalen Gasblase. Überschüssige Gase werden eruktiert (JEROCH et al. 1999, AKERS und DENBOW 2008, Abb. 2).

Der Pansen stellt einen mikrobiellen Lebensraum dar, der eine perfekte Symbiose zwischen anaeroben Mikroorganismen und dem Wirtstier ermöglicht. Im Allgemeinen wird die Keimzahl mit 10 Milliarden Keime je ml Pansensaft angegeben. Im Gesamten beträgt sie 3 – 7 kg Mikrobenfrischmasse. Das sind 5 – 10 % des Panseninhalts. Sowohl die Gesamtkeimzahl als auch die Zusammensetzung der Mikroorganismenpopulation wird durch die Ration beeinflusst. Während bei rohfaserreichen Futtermitteln wie Stroh oder Heu die Keimzahl im Pansensaft 4 – 15

Milliarden pro ml beträgt, erhöht sich die Zahl der Mikroben bei stärkereicher Fütterung auf 50 – 60 Milliarden pro ml Pansensaft (JEROCH et al. 1999, KIRCHGEßNER 2004). Die wichtigsten Mikrobengruppen sind grundsätzlich die Amylolyten und die Cellulolyten (RUSSEL et al. 1992, JEROCH et al. 1999, KIRCHGEßNER 2004). Die Keime im Panseninhalt gliedern sich in Bakterien, Protozoen und Pilze, wobei Bakterien den durchaus größten Anteil an der Gesamtkeimzahl aufweisen. Protozoen sind 10- bis 100-mal größer als Bakterien und können dadurch bis zu 50 % der Mikroorganismenmasse ausmachen. Pilze werden vor allem bei der Verfütterung rohfaserreicher und schlecht verdaulicher Rationen nachgewiesen (JEROCH et al. 1999).

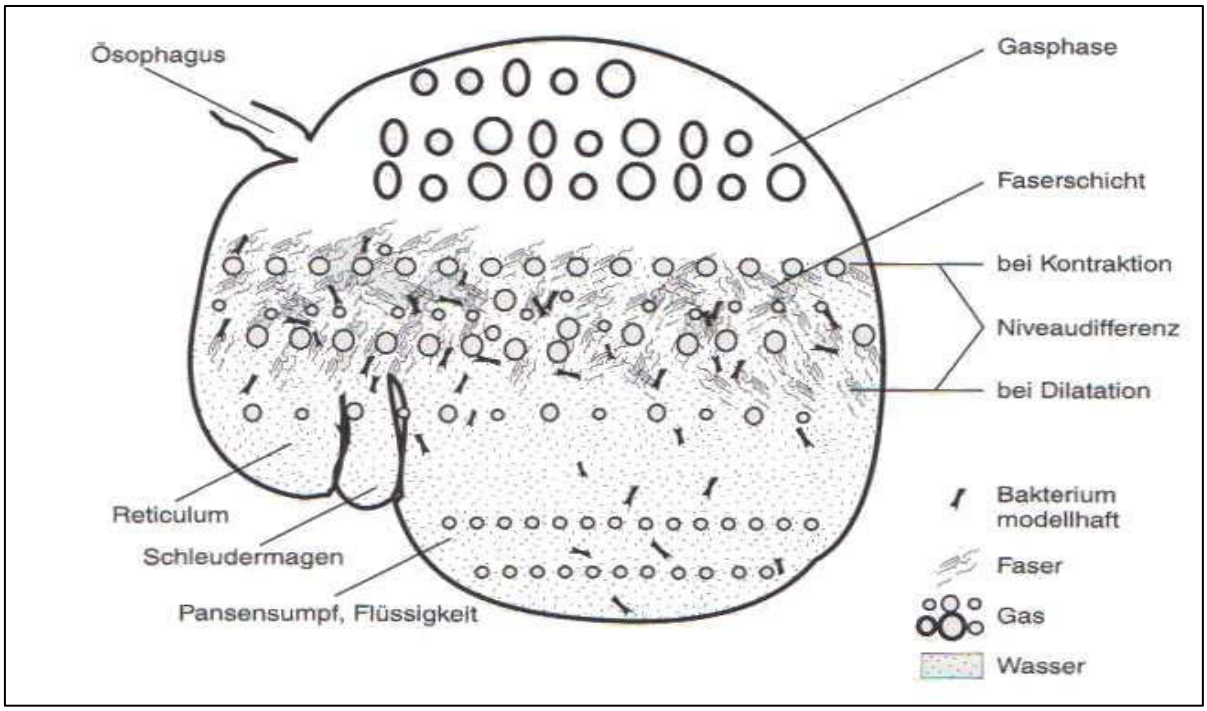

Abbildung 2: Aufbau des Pansens (JEROCH et al. 1999)

2.1.3 Die Physiologie des Pansens

Der Pansen unterliegt einem Regelkreislauf in dem isoazide, isoosmotische und isotherme Konditionen gesichert werden (JEROCH et al. 1999).

Cellulolyten fermentieren Strukturkohlenhydrate welche hauptsächlich in der Zellwand vorkommen und nützen Ammoniak als Stickstoffquelle. Sie sind nicht in der

Lage Proteine, Peptide oder Aminosäuren zu fermentieren. Zudem zeichnen sie sich durch langsames Wachstum aus. Sie sind nicht mobil und damit auf den flüssigkeitsbedingten Transport zum Substrat angewiesen (RUSSEL et al. 1992, JEROCH et al. 1999).

Im Gegensatz dazu nützen die schnell wachsenden Amylolyten Proteine und deren Vorstufen als Stickstofflierferanten. Die Hauptaufgabe der Amylolyten ist der Abbau von Nichtstrukurkohlenhydraten wie Stärke, Zucker, Pektine usw. (RUSSEL et al. 1992). Kohlenhydrate werden im Pansen größtenteils zu kurzkettigen Fettsäuren fermentiert. Die wichtigsten flüchtigen Fettsäuren sind:

- Acetat
- Propionat
- Butyrat

Volatile Fettsäuren sind die primäre Energiequelle des Tieres (RUSSEL et al. 1992). Die bedeutendste Leistung der Pansenbakterien ist sicherlich der Abbau von Cellulose und anderer Nichtstärkepolysaccharide, da diese nur im Pansen aufgeschlossen werden können. Acetat wird hauptsächlich durch den Abbau von faserreichen Futtermitteln gebildet. Gemeinsam mit Butyrat, welches bei der Fermentation leicht löslicher Kohlenhydrate entsteht, sind diese beiden Säuren für die Körper- und Milchfettbildung verantwortlich. Für die Deckung des Energiebedarfs wird daher vorrangig Acetat und Butyrat verwendet (KIRCHGEßNER 2004). Die Propionatbildung findet ebenfalls verstärkt bei der Verabreichung leichtlöslicher Kohlenhydrate statt und wird für die Glucosesynthese in der Gluconeogenese genutzt (RUSSEL et al. 1992, JEROCH et al. 1999). Ein ungleich höheres Mengenverhältnis von Propionat zu Acetat im Rumen äußert sich in einem geringen Milchfettanteil (RUSSEL et al. 1992). Die fermentierten organischen Substanzen (FFS) werden im unteren Bereich des Pansens durch den Faserschwamm gedrückt und die Fermentationsprodukte gehen hier in Lösung. Die flüchtigen Fettsäuren werden dann durch die Pansenwand absorbiert. Nur bei ausreichender Faserschicht erfolgen genügend Durchmischungskontraktionen, die die Absorption fördern. Der Pansen ist somit ein “Nachsacksystem“ und das Futter muss in einem bestimmten zeitlichen Rahmen fermentierbar sein. Dabei ist die Qualität der Nahrung, vor allem die des Grundfutters, ausschlaggebend (JEROCH et al. 1999, KIRCHGEßNER 2004). Bei

sehr stärkereicher Fütterung entsteht in großen Mengen Laktat. Wird die Kapazität der Laktatverwerter überschritten, äußert sich dies in der Absinkung des pH-Wertes. Unter diesen Bedingungen kann es zu einer Verschiebung im Verhältnis der Bakterienarten kommen, insbesondere zu einer Abnahme der Zahl der säureempfindlichen cellulolytischen Bakterien. Säuretolerante Arten hingegen, weisen unter diesen Gegebenheiten erhöhte Proliferationsraten auf. Bei einer Absenkung des pH-Wertes unter pH 6,0 entsteht die gefürchtete Pansenazidose (RUSSEL et al. 1992, JEROCH 1999, KIRCHGEßNER 2004).

Futterproteine werden im Rumen größtenteils durch proteolytisch wirkende Mikroorganismen zu Aminosäuren hydrolysiert und fast vollständig desaminiert. Die primären Stoffwechselprodukte des Proteinabbaus im Pansen sind hauptsächlich NH_3 und mikrobielles Eiweiß. Das nicht im Pansen abgebaute Futterprotein (UDP), deren Anteil von der Passagerate abhängt, gelangt in den Labmagen und anschließend in den Dünndarm, wo die freien Aminosäuren der Proteine absorbiert werden (JEROCH et al. 1999).

Übersteigt die Rate des Proteinabbaus die Rate der Kohlenhydratfermentation, können hohe Stickstoffverluste durch Ammoniak auftreten. Ein umgekehrtes Verhältnis resultiert in einer verminderten mikrobiellen Proteinsynthese. Sind Futtermittel nur sehr langsam fermentierbar, beeinflusst dies die Futteraufnahme und die Passage von unverdautem Material aus dem Pansen ist erhöht (RUSSEL et al. 1992).

Die Passagerate pro Stunde wird daher durch die Futteraufnahme, den Zerkleinerungsgrad des Futters und die Futterart bestimmt (SNIFFEN et al. 1992). Die Passage von unfermentiertem Futter kann die Nährstoffverfügbarkeit beeinflussen. Zudem hat die Passagerate auch einen wichtigen Einfluss auf das Mikrobenwachstum. Kohlenhydrate die nicht im Pansen fermentiert werden, verringern das mikrobielle Wachstum und folgend auch die Ammoniakverwertung. Wenn das unabgebaute Futter aus den Mägen im Dünndarm abgebaut werden kann, verringert dies jedoch Fermentationsverlusste, wie sie durch Methan und Ammoniak entstehen. Außerdem erhöht sich die effektive Nährstoffaufnahme. Die optimale Fütterungsstrategie und der Grad der Passage hängen von den Kosten des Futtermittels und dem Leistungsniveau des Produktionssystems ab (RUSSEL et al. 1992). Eine hohe

Verdaulichkeit beschleunigt beim Wiederkäuer zusätzlich die Futterpassage durch die Vormägen (ZSCHEISCHLER et al. 1990).

Die Syntheseleistung des Pansens ist für mindestens 80 % der duodenalen Proteinanflutung verantwortlich. Zudem stellen die mikrobielle Biomasse und die flüchtigen Fettsäuren ebenfalls über 80 % der täglichen Energiezufuhr dar (JEROCH et al. 1999, ANKERS and DENBOW 2008).

2.2 Futtermais

Die allgemeinen Anforderungen an einen guten Silomais sind ein hoher Ganzpflanzenertrag, eine gute Ganzpflanzenverdaulichkeit, die auf einer guten Restpflanzenverdaulichkeit basiert, ein spätes Blühstadium und eine schnelle Abreife. Die Standfestigkeit, die vor allem auf einer guten Wurzelverankerung beruht, darf ebenfalls nicht außer Acht gelassen werden (THOMET et al. 1988).

2.2.1 Biologie der Maispflanze

Mais (Zea mays) wird der Familie der Süßgräser (Poaceae) zugeordnet (SENGHAS und SEYBOLD 2003). Eine Besonderheit welche die Maispflanze gemeinsam mit Zuckerrohr unter den Nutzpflanzen auszeichnet ist, dass diese zu den C4-Pflanzen zählen. Der CO_2-Einbau über C4-Dicarbonsäuren stellt eine Anpassung an trockene, stark besonnte und wasserarme Umweltbedingungen dar. Durch die damit verbundene höhere photosynthetische Leistung kann die maximale Zuwachsrate der Pflanzen hierbei das Zehnfache gegenüber üblichen Nutzpflanzen betragen (CAMPBELL 2000). Mais hat als subtropische Pflanze einen hohen Wärmebedarf. Den Züchtern ist es jedoch gelungen, die Anbaugrenzen weit nach Norden auszudehnen (ZSCHEISCHLER et al. 1990).

Die Pflanzen sind einhäusig-getrennt geschlechtlich. Am Gipfel des Stängels erfolgt die Bildung der zweiblütigen männlichen Ährchen. Diese bilden einen rispigen Blütenstand. Die weiblichen Organe (Stempelblüten) sitzen auf kurzen Seitentrieben in den Blattachseln und sind von Lieschblättern umgeben. Die Griffel aller Blüten

bilden eine Quaste und ragen zur Zeit der Blüte aus den Lieschblättern heraus (Abb. 3).

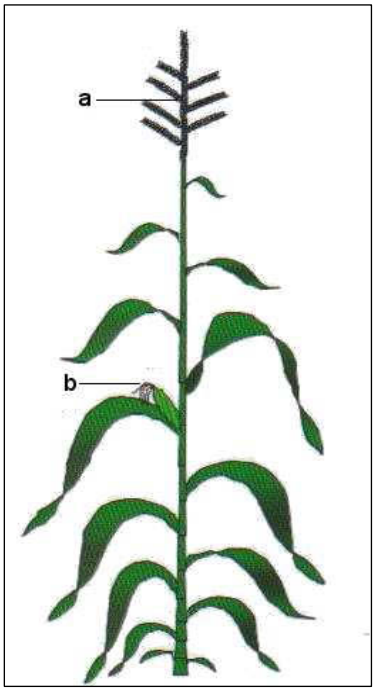

Abbildung 3: Die Maispflanze. a) männliche Rispe. b) weibliche Ähre.
(BENETZEN und HAKE 2009)

Die Befruchtung erfolgt durch Windbestäubung. Selbstbefruchtung wird durch Protandrie größtenteils vermieden. Nach erfolgter Befruchtung, die in unseren Breitengraden gegen Ende Juli eintritt, trocknen die Narbenfäden sehr rasch ein. Von diesem Zeitpunkt an erhöht sich in der Maispflanze die Trockensubstanz durch Einlagerung von Nährstoffen in den Körnern (ZSCHEISCHLER et al. 1990), die Photosyntheseleistung beginnt jedoch wieder abzunehmen (THOMET et al. 1988). Der Reifeverlauf der Pflanze wird in die Stadien Milchreife (bis 25 % TM), Teigreife (bis 35 % TM) und Körnerreife (bis 55 % TM) eingeteilt (ZSCHEISCHLER et al. 1990, RESCH 2009).

Zur Kennzeichnung der Reifezeit werden die Sorten mit FAO Reifezahlen gekennzeichnet. Diese sind international gültige Maßzahlen. Reifezahlen sind entscheidend für die Sortenwahl von Mais aller Nutzungsrichtungen (AMLER 2003). Das Weltsortiment erstreckt sich über die FAO-Zahlen von 100-900. In Österreich werden Sorten mit FAO Reifezahlen bis zu 500 angebaut. Wobei Sorten mit hohen Reifezahlen nur auf sehr günstigen Standorten, wie sie in Ostösterreich vorliegen,

gut gedeihen. Die Differenz von 10 FAO-Zahlen macht einen Unterschied in der Reife von etwa 1-2 Tagen bzw. 1-2 % im Trockensubstanzgehalt der Körner zum Zeitpunkt der Ernte aus. Unter günstigen Klima- und Standortbedingungen drängen sich die Unterschiede in der Pflanzenentwicklung und der Abreife enger zusammen. In kühlen Jahren bzw. in den Grenzlagen werden die Reifezeitunterschiede größer. Der uns bekannte Mais stammt hauptsächlich aus Hybridzüchtung. Der Erfolg dieser Hybriden zeigt sich in einer gesteigerten Lebenskraft und Leistung gegenüber der Elterngeneration. Der Erfolg tritt jedoch nur in der ersten Nachkommengeneration auf, danach sinkt die Leistung wieder rasch ab (ZSCHEISCHLER et al. 1990).

2.2.2 Trockenmasse und Nährstoffgehalt von Silomais

Der Trockenmassegehalt ist nach GROß (1979) in dreifacher Hinsicht von Bedeutung für die Bewertung von Silomais:

1. für die Nährstoffkonzentration
2. für die Silierfähigkeit
3. für die Futteraufnahme

Die Abhandlung dieser einleitenden Punkte erfolgt in diesem bzw. den nachfolgenden Kapiteln.

Die Trockenmasse (TM) der Kolben beträgt zum optimalen Reifezeitpunkt 40 – 60 % (GROß 1979). Nach GROß (1970) ist von allen Wesensmerkmalen der Maispflanze der TM-Gehalt der Kolben am besten geeignet, um Aussagen über den Nährstoffgehalt der Kolben, der Restpflanze und somit der Gesamtpflanze treffen zu können. Die TM-Gehalte der Restpflanze unterliegen nämlich größeren witterungsbedingten Schwankungen als die TM-Gehalte der Kolben. Die Entwicklung der Kolben und der Restpflanze unterliegen einer positiven Korrelation.

In der Gesamtpflanze wird der Gehalt an Nährstoffen vom Kolbenanteil und vom Vegetationsstadium beeinflusst (GROß 1979, PEX et al. 1996, SCHWARZ et al. 1996). In Abhängigkeit des Verhältnisses von Kolben und Restpflanze sowie deren Inhaltsstoffen sind letztlich die relativen Anteile an TM, Rohnährstoffe, Stärke und

pflanzlichen Gerüstsubstanzen der Maissilage bzw. der Ganzpflanze zu sehen (PEX et al. 1996). Die Energiekonzentration im Futter ist daher umso höher, je geringer der Wassergehalt ist (GROß 1979) aber auch je niedriger der Anteil an Rohfaser und je höher der Stärkegehalt ist (JEROCH et al. 1987). Steigt der Kolbenanteil, dann verursacht der gleichbleibend hohe Nährstoffgehalt im Kolben eine Steigerung des Nährstoffgehaltes in der Gesamtpflanze. Demgegenüber bedeutet aber der steigende TM-Gehalt im Kolben eine sich auf den Futterwert beziehende Verschlechterung der Restpflanze, wodurch sich der Nährstoffgehalt der Gesamtpflanze verschlechtert. Der Nährstoffgehalt der Ganzpflanze ist deshalb umso höher, je höher der Kolben- bzw. der Körneranteil ist (GROß 1979, BÖHM et al. 1983, PEX et al. 1996). So kommt im Stadium der Teigreife mindestens die Hälfte der Nährstoffe aus den Körnern (GROß 1979). Der Kobenanteil soll auf mindestens 50 % ansteigen, wenn eine Verschlechterung im Nährstoffgehalt der Gesamtpflanze vermieden werden soll. Demnach tritt mit steigendem Körneranteil eine erwartete Qualitätsverbesserung der Ganzpflanze meistens nicht ein, weil die Restpflanzenqualität sinkt (THOMET et al. 1988).

Der Kolben zeichnet sich vor allem durch den hohen Gehalt an stickstofffreien Extraktstoffen (NfE) aus (GROß und PESCHKE 1980). Es bestehen enge Beziehungen zwischen dem Gehalt an Stärke und dem Gehalt an NfE im Kolben. Mit steigendem TM-Gehalt im Kolben steigen auch der Stärkegehalt und die NfE linear an. Somit erhöhen sich mit fortschreitender Entwicklung der Pflanze auch der Korn- und Kolbenanteil (GROß 1970, GROß 1986, PEX et al. 1996).

2.2.3 Einfluss der physiologischen Reife auf die Trockenmasse und Nährstoffe

Mit zunehmender Entwicklung der Maispflanze steigt auch deren TM-Gehalt (GROß 1970, BÖHM et al. 1983, JEROCH et al. 1987, ZSCHEISCHLER et al. 1990). Zwischen den Parametern Trockenmasse und Vegetationsstadium besteht ein sehr enges Verhältnis. Mit zunehmender Entwicklung verschieben sich die relativen Anteile der Gesamttrockenmasse (GTM) von Kolben und Restpflanze eindeutig zugunsten des Kolbens, daher wird die GTM zunächst durch den Kolben bestimmt

(JEROCH et al. 1987). Die generative Entwicklung der Maispflanze, welche anhand der Körner- bzw. der Kolbentrockenmasse messbar ist, steht in enger Beziehung zum TM-Gehalt der Gesamtpflanze, zum Ertrag und zur Qualität (HAARHOFF 1990, AMLER 2003, RESCH 2009). Demnach ist Mais die einzige Futterpflanze, bei der mit zunehmender Reife nicht nur der Ertrag, sondern auch die Verdaulichkeit bis zu einem bestimmten Stadium noch ansteigt (ZSCHEISCHLER et al. 1990).

Der TM-Gehalt der Maiskolben und der TM-Gehalt der Körner zeigen nach GROß und PESCHKE (1980) signifikante lineare Beziehungen. Zusätzlich bestehen für alle Nährstoffe signifikante Korrelationen. Da im Kolben mit zunehmender Entwicklung der NfE-Gehalt ansteigt geht der Anteil an NfE in der Restpflanze erwartungsgemäß zurück. Der Rohfasergehalt im Kolben und somit vorerst auch in der Gesamtpflanze unterliegt mit fortgeschrittenem Vegetationsstadium einer Verminderung. Der Rohfettgehalt erhöht sich mit zunehmender Reife des Kolbens, obgleich diese nicht so ausgeprägt ist wie der Gehalt an NfE. In der Restpflanze geht der Rohfettgehalt zurück. Der Rohproteingehalt sinkt mit zunehmender Entwicklung sowohl im Kolben als auch in der Restpflanze. Der Rohfasergehalt der Restpflanze unterliegt jedoch einer leichten, aber stetigen Erhöhung (GROß 1970, ZSCHEISCHLER et al. 1974, BÖHM et al. 1983, GRUBER et al. 1983, JEROCH et al. 1987, PEX et al. 1996, Tab. 1).

Der Kolben ändert seinen Nährstoffgehalt, ab einem TM-Gehalt der Gesamtpflanze von 30 %, nur mehr wenig, er wirkt durch seinen Anteil (Groß und Peschke 1980, Tab. 1). JEROCH et al. (1987) berichten über einen steilen Anstieg der TM-Bildung des Kolbens bis zu einer TM-Anteil von 40 %. Danach wird der Kurvenverlauf deutlich flacher. Bei einem TM-Gehalt von über 50 % im Kolben bzw. 65 % im Korn geht die Einlagerung von Stärke in den Kolben allmählich zu Ende (Tab. 1). Es ist jedoch mit einem raschen Anstieg des TM-Gehaltes der Restpflanze zu rechnen (GROß und PESCHKE 1980, AMLER 2003).

Der kritische Einflussfaktor für den Nährstoffgehalt der Silomaispflanze ist bei gleichem hohem Kolbenanteil das Vegetationsstadium der Restpflanze (GROß und PESCHKE 1980). Demnach ändert sich der TM-Gehalt in der Restpflanze über einen relativ langen Zeitraum, bei steigenden Kolbentrockenmassegehalten (KTM) von etwa 20 – 45 %, kaum (GROß und PESCHKE 1980, BÖHM et al. 1983).

GRUBER et al. (1983) berichten über einen starken Anstieg der Rohfaser ab einem TM-Gehalt des Kolbens von 40 %. Demnach unterliegt die Restpflanze bei späten Erntezeitpunkten einem starken Anstieg des ADF- und Ligningehaltes (PEX et al. 1996). Dies bewirkt in der Gesamtpflanze zwar eine Erhöhung der Trockenmasse, die Futterqualität wird jedoch maßgeblich verringert. Daher bedeutet ein hoher TM-Gehalt im Kolben auch einen hohen Reifegrad der Restpflanze (GROß 1979, THOMET et al. 1988, JEROCH et al. 1987, PEX et al. 1996).

Der Reifegrad der Gesamtpflanze und der Reifegrad der Körner weisen demnach eine enge, sehr hoch signifikante und nichtlineare Beziehung auf. Wird der Sorteneinfluss außer Acht gelassen, ist Mais gemessen am Stärke- und Rohfasergehalt dann silierreif, wenn die Stärkeeinlagerung weitgehend abgeschlossen ist. Dann ist auch das Ertragsmaximum erreicht und der Rohfasergehalt befindet sich noch im Minimum (AMLER 2003). Der TM-Gehalt der Restpflanze sollte unter 18 % bleiben. Dies wäre im Stadium der Teigreife der Fall. JEROCH et al. (1987) konnten eine KTM zur Kornreife von 55 % für eine frühreife Sorte und 52 % für eine mittelfrühe Sorte feststellen. Thomet et al. (1988) definieren die optimale Silierreife mit 49 bis 55 % KTM. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass durch witterungsbedingte Einflüsse von Jahr zu Jahr mehr oder weniger große Abweichungen auftreten können (GROß 1970, THOMET et al. 1988). Die Ergebnisse von GROß (1970) deuten darauf hin, dass die Restpflanze größeren wetterbedingten Schwankungen in Bezug auf die TM-Bildung unterliegt als der Kolben. Bei kühler und regnerischer Witterung und daraus resultierender verzögerter Pflanzenentwicklung schreitet die Ausreifung der Restpflanze schnell voran, der Kolben ist jedoch noch wenig ausgereift (THOMET et al. 1988).

2.2.4 Einfluss der Konservierung auf die Nährstoffzusammensetzung

Der Nährstoffgehalt einer stabilen Maissilage ist mit dem der Frischpflanze vergleichbar (ZSCHEISCHLER et al. 1990). Für die Silierung ist der TM-Gehalt des Futters von großer Bedeutung. Es ist bekannt, dass Silomais die Futterpflanze ist, die sich am leichtesten silieren lässt. Im Allgemeinen werden deshalb auch noch bei

einer weniger guten Siliertechnik Silagen erzeugt, die eine hohe Qualität aufweisen (GROß 1979).

Der Trockensubstanzgehalt im Silomais wirkt sich auf die Höhe der Verluste in der Silage aus. Verursacht werden sie einerseits durch die Gärsaftverluste und andererseits durch die Gärungsverluste (GROß 1979). Nach den Erkenntnissen von GROß (1979) und BÖHM et al. (1983) sinken mit steigenden TM-Gehalten der Maispflanze die Gärsaftbildung und damit auch die Stärkeverlusste. Demnach erfährt der relative Rohfasergehalt der Silage vor allem im ansteigenden TM-Bereich von 20 – 30 % eine sehr deutliche Minderung (PEX et al. 1996). Zudem konnte eine Abnahme der beiden Gärsäuren Milch- und Essigsäure bei höheren TM-Gehalten der Silagen beobachtet werden (HONIG und ROHR 1982, BÖHM et al. 1983). Als kritische Grenze sollten aber 30 % TM in der Gesamtpflanze gesehen werden, da bei einer Unterschreitung dieser Richtzahl die Nährstoffverluste durch Gärsäfte massiv ansteigen (GROß 1979, WERMKE und ROHR 1985, HAARHOFF 1990). JEROCH et al. (1987) empfehlen für die Silierung TM-Bereiche von 25 – 35 % der Ganzpflanze. Bei einem sehr hohen TM-Gehalt von über 35 % in Maissilagen ergeben sich zunehmende Schwierigkeiten in der Verdichtung und damit vor allem mit Nachgärungen (BÖHM et al. 1983). Im Stadium der Teigreife, ist auch die Silierreife erreicht (GROß 1979, Tab. 1).

Nach WERMKE und ROHR (1985) und WERMKE (1985) führt die Silierung der Ganzpflanze zu einem relativen Anstieg des Gehaltes an Rohprotein und Rohfaser und zu einem relativen Abfall des Gehaltes an Energie und NfE. Diese Schlussfolgerungen stimmen auch mit den Richtwerten der DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer überein. Ähnliche nährstoffrelevante Vorgänge sind auch bei der Erzeugung der KS-Silage zu erkennen (Tab. 1). Eine Sorte kann einen hohen Rohfasergehalt in der Restpflanze aufweisen, gleichzeitig jedoch einen niedrigen Rohfasergehalt in der Maissilage besitzen. Die Inhaltsstoffe der Maissilage werden nämlich zusätzlich durch die Relation von Restpflanze und Kolben bestimmt (SCHWARZ et al. 1996).

Nach AMLER (2003) ist in der landwirtschaftlichen Praxis die Bestimmung der Silierreife von Mais durch die Bestimmung des TM-Gehaltes der Körner von mehreren repräsentativen Kolben des Maisbestandes einfacher zu bewerkstelligen,

als die Bestimmung des TM-Gehaltes der Restpflanze, des Kolbens oder der Gesamtpflanze. Dabei kann bei einem TM-Gehalt von > 57 % im Korn mit Kornfeuchteschnellmessgeräten auf dem Maisfeld, ohne größere zeit- und materialaufwändige Methoden, gearbeitet werden.

Tabelle 1: Nährstoffgehalt von frischem und silierten Futtermais mit mittlerem Kolbenanteil in Abhängigkeit des Reifestadiums (nach DLG 1997, abgeändert)

	Reifestadium	**TM (%)**	**Nährstoffe (g/kg TM)**					**MJ NEL**
			XP	**XL**	**XF**	**NfE**	**Stärke**	
FRISCH	Beginn Kolbenbildung	17	104	22	258	543	43	6,04
	In der Milchreife, Kolbenanteil mittel (25-35 %)	21	90	21	223	611	120	6,47
	Beginn der Teigreife, Kolbenanteil mittel (35-45 %)	27	86	27	205	634	187	6,39
	Ende der Teigreife, Kolbenanteil mittel (45-55 %)	35	81	29	198	646	277	6,38
	Maiskolben ohne Hüllblätter	60	100	40	91	750	531	7,79
SILIERT	Beginn der Kolbenbildung	17	101	32	277	508	-	5,68
	In der Milchreife, Kolbenanteil mittel (25-35 %)	21	93	31	233	584	131	6,03
	Beginn der Teigreife, Kolbenanteil mittel (35-45 %)	27	88	33	212	615	203	6,31
	Ende der Teigreife, Kolbenanteil mittel (45-55 %)	35	81	32	201	641	286	6,45
	Maiskolben ohne Hüllblätter	60	95	40	89	753	559	7,78

2.2.5 Sorten und Korntyp

Die Sortenwahl beginnt bei der Wahl der passenden Reifegruppe, die sich nach dem Nutzungszweck und der klimatischen Lage des Anbauortes zu richten hat. Auch pflanzenbauliche Gesichtspunkte wie die Verträglichkeit von Frühjahrskälte und Sommertrockenheit, die geringe Krankheitsanfälligkeit und die Standfestigkeit der Pflanzen spielen dabei eine maßgebliche Rolle. Die Sortenwahl sollte auch in Berücksichtigung des zu erreichenden Massenertrags und der daraus resultierenden Nährstoffkonzentration im Siliergut getroffen werden (ZSCHEISCHLER et al. 1990, SCHWARZ et al. 1996). ZSCHEISCHLER et al. (1974) und JEROCH et al. (1987) konnten feststellen, dass frühreife Sorten einen massiven Anstieg der Trockenmasse sowohl in der Restpflanze und damit auch in der Gesamtpflanze aufweisen, wenn diese erst nach ihrer optimalen physiologischen Reife geerntet werden. Frühreife Sorten zeigen zudem eine schnellere Abreife als mittelfrühe Sorten (JEROCH et al. 1987).

GROß und PESCHKE (1980) stellten bei der Untersuchung der Entwicklung des TM-Gehaltes für die Reifegruppen mit den FAO RZ 210, 230 und 280 fest, dass sich der TM-Gehalt der Körner von der Milchreife an (30 % TM) bis zur Druschreife (65 % TM) proportional entwickelt. Unterschiede in der Nährstoffbildung und –umlagerung zwischen früh-, mittel- und spätreifen Sorten werden vor allem durch die Wuchsdauer bestimmt. So entwickeln sich spätreife Sorten im Vergleich zu frühreifen Sorten erwartungsgemäß langsamer (ZSCHEISCHLER et al. 1974, JEROCH et al. 1987). Spätreife Hybriden verfügen über ein höheres Ertragspotential als früher reifende, auch in klimatisch ungünstigeren Gebieten. Sie sind bezüglich des Ganzpflanzenertrages leistungsfähiger und auch nutzungselastischer (THOMET et al. 1988, HAARHOFF 1990). Früher reifende Genotypen dagegen erreichen schneller eine hohe Trockenmasse in der Gesamtpflanze (HAARHOFF 1990).

Die nährstoffbezogene Verschlechterung der Restpflanze mit fortschreitendem Vegetationsverlauf spricht für spätreife Sorten mit einem möglichst hohen Kolbenanteil. Sofern aber solche Sorten den geforderten TM-Gehalt von 30 % nicht erreichen, ist mit einer geringeren Nährstoffkonzentration und einer daraus resultierenden geringeren Futteraufnahme zu rechnen. Der TM-Gehalt von 30 % in

der Gesamtpflanze ist kaum noch zu erreichen, wenn der Kolben-TM-Gehalt bei der Ernte unter 50 % liegt (GROß 1979). Maissorten mit hohem Kolbenanteil haben in vergleichbaren Reifestadien bereits einen höheren Trockenmassegehalt (JEROCH et al. 1987).

Bezüglich des Korntyps werden sieben Gruppen unterschieden, wobei die amerikanische bzw. lateinische Bezeichnung in Klammern mit angeführt ist: Zahnmais (dent), Hartmais (flint), Puffmais (pop), Zuckermais (sweet), Stärkemais (flour), Wachmais (waxy) und Spelzmais (pod). Die Kornform ist größtenteils abhängig von der Beschaffenheit des Endosperms. Zahnmais hat mit über 70 % die größte wirtschaftliche Bedeutung, gefolgt von Hartmais mit 13 bis 14 % und Stärkemais mit 12 % (ZSCHEISCHLER er al. 1990).

Das Maiskorn (Abb. 4) setzt sich aus drei Hauptbestandteilen zusammen: dem Endosperm (84 %), dem Pericarp (6 %) und dem Embryo (10 %). Das Endosperm stellt das stärkehaltige Nährgewebe dar (KURTZ 2006). An den Seiten der Körner ist horniges Gewebe (vitreous endosperm) vorhanden. Dazwischen liegt weiches Nährgewebe (floury endosperm). Die Stärkekörner des peripheren Endosperms sind mit Speicherproteinen und einer dichten Matrix aus getrockneten Endospermzellen umgeben, die für Wasser und hydrolytische Enzyme eine Barriere bilden. Das „mehlige“-Endosperm enthält wenige zelluläre Strukturen, aber die höchste Dichte an Stärkekörnern. In dieser Schicht sind die Stärkekörner für enzymatische Hydrolyse eher zugänglich. Sorten mit hohem Anteil der körnigen und der peripheren Schicht werden als „vitreous“ (gläsern) oder „flint“ (hart) bezeichnet, bei hohem Anteil an „floury“-Endosperm als „dent“ (zahnig). Bei Hartmais ist demnach der Anteil des mehligen und weichen Endosperms kleiner als bei Zahnmais. PEREIRA et al. (2004) ermittelten einen Anteil des gläsernen Endosperms von 67,0 % bei Hartmais und 44,3 % bei Zahnmais. Entsprechend sind die Körner des Hartmais bei zunehmender Ausreife runder und härter. Die Körner des Zahnmais zeichnen sich im Gegensatz dazu durch eine höhere Verdaulichkeit aus (ZSCHEISCHLER et al. 1990, KOTARSKI et al. 1992, PHILIPPEAU und MICHALET-DOREAU 1998, PEREIRA et al. 2004). In der vorliegenden Arbeit sind die Korntypen Hartmais und Zahnmais von Bedeutung.

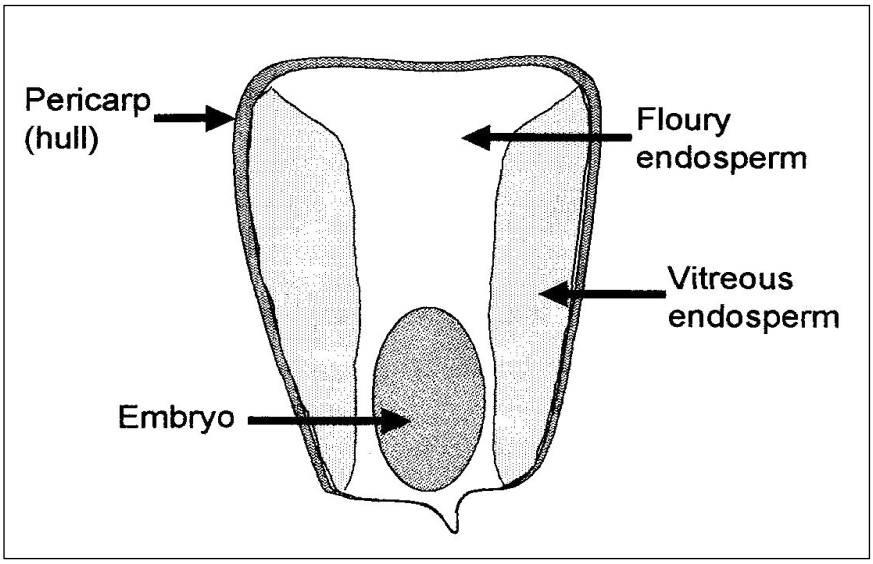

Abbildung 4: Schematische Darstellung der Zusammensetzung des Maiskorns (nach HALL 2002, zitiert in KURTZ 2006)

Zudem werden, unabhängig vom Korntyp, drei Stärketypen in den Maiskörnern unterschieden. Diese werden als wachsig, normal und extender bezeichnet und hängen von den relativen Anteilen an Amylose und Amylopektin ab (KURTZ 2006). Die Stärke von wachsigen Maissorten enthält bis zu 99 % Amylopektin (KOTARSKI et al. 1992). Abweichend davon enthält der normale Stärketyp 20 – 30 % Amylose und 70 – 80 % Amylopektin (ROONEY und PFLUGFELDER 1986). Der Stärketyp Extender besteht zu 75 % aus Amylose und zu 25 % aus Amylopektin (MICHALET-DOREAU und CHAMPION 1995). Jedoch können innerhalb der Stärketypen auch Variationen bezüglich der Gehalte an Amylose und Amylopektin auftreten (FUWA et al. 1999). Die in dieser Diplomarbeit behandelten Sorten entsprechen dem normalen Stärketyp.

Die beiden Makromoleküle bestehen aus Glucoseeinheiten. Da die Glucosemoleküle der Amylose sind mit α-1,4-glycosidischen Verbindungen verlinkt. Daraus ergibt sich ein verzweigungsfreies, helixartiges Molekül mit mehreren hunderten oder tausenden Glucoseeinheiten. Die Glucoseeinheiten des Amylopektin beinhalten neben den α-1,4-glycosidischen Verbindungen zusätzlich α-1,6-glycosidische Bindungen (4 – 5 % aller Bindungen), die in Verzweigungen resultieren. Zudem ist das Amylopektinmolekül, mit durchschnittlich 250 000 Glucoseeinheiten auch größer. Stärke zeichnet sich im Kontakt mit Wasser durch seine hydrophile Eigenschaft aus. Durch Quellung nehmen die Moleküle bis zu 50 % an Gewicht zu. Amylopektin besitzt

dabei eine höhere Viskosität als Amylose, die aus der Größe und der Molekülstruktur resultieren (FRENCH 1973, CAMPELL 2000).

Hinsichtlich der ruminalen Abbaubarkeit der Stärketypen finden sich in der Literatur widersprüchliche Erkenntnisse. HUNTINGTON (1997) spricht von einem schnelleren Abbau amylopektinhaltiger (wachsiger) Genotypen. Nach CONE (1991) werden Stärketräger mit hohem Anteil an Amylopektin aufgrund der Verzweigungen im Molekül langsamer abgebaut.

2.3 Ruminaler Abbau von körnerreichen Maisfuttermitteln

Die Verfütterung großer Mengen an leicht abbaubaren Kohlenhydraten ermöglicht zwar eine Verbesserung der Energieversorgung, führt aber gleichzeitig zu einem pH-Wert Abfall im Pansen, der letztendlich zum Krankheitsbild der Pansenazidose führen kann (HÖNER et al. 2002). Maisstärke besitzt jedoch den Vorteil, dass die ruminale Verfügbarkeit im Gegensatz zu anderen Getreidearten niedriger ist und somit ein Teil des Stärkeabbaus in den Dünndarm verschoben wird. Dadurch werden die Glucoseeinheiten dem Wiederkäuer direkt zur Verfügung gestellt und ein tiefes Absinken des pH-Wertes wird verhindert (ØRSKOV und RYLE 1990, LEBZIEN 1997, JEROCH et al. 1999, MATTHÉ 2001, GOSSELINK et al. 2004). PHILIPPEAU und MICHALET-DOREAU (1998) beschreiben die ruminale Stärkeabbaubarkeit in Abhängigkeit den Korntyps Zahn- und Hartmais mit 72,3 und 61,6 %. Batajoo und Shaver (1998) geben einen Wert von 56,5 % an. Sie begründen die geringe Stärkeabbaubarkeit dadurch, dass die Proteinmatrix, welche das Endosperm umgibt, die enzymatische Zersetzung im Pansen hemmt. HONIG und ROHR (1982) zeigten, dass die erwartete gute Verdaulichkeit der Stärke in den Maiskörnern oft nicht erreicht wird, weil die Körnerteile ohne spezielle technologische Zerkleinerung vom Wiederkäuer nur ungenügend verwertet werden können.

Weitere Untersuchungen belegen, dass silierter Mais immer wesentlich umfangreicher im Pansen abgebaut wird, als das frische oder getrocknete Ausgangsmaterial (OWENS et al. 1986, PHILIPPEAU und MICHALET-DOREAU 1998, SCHWARZ und ETTLE 2000). Das bedeutet, dass der Siliervorgang einen erheblichen Einfluss auf das Ausmaß des Stärkeabbaus im Pansen hat.

Wissenschaftlich wird diese Tatsache damit erklärt, dass die Silierung zu einer teilweisen Auflösung der Proteinmatrix des Endosperms im Maiskorn führt. Dadurch wird die Stärke für die Mikroorganismen im Pansen besser angreifbar. Eine erhöhte ruminale Stärkeabbaubarkeit nach dem Silieren kann demnach teilweise aus einer Auflösung des Endospermproteins während der Fermentation bei der Silierung abgeleitet werden (PHILIPPEAU und MICHALET-DOREAU 1999, MAHLKOW-NERGE 2004).

Ein für Maiskörner typisches Charakteristikum ist die zunehmende Kornverhärtung (Vitreousness) mit fortschreitender Entwicklung des Kolbens. Die Kornverhärtung ist im Hartmais wesentlich ausgeprägter als im Zahnmais. Dieses Faktum resultiert aus der Endospermstruktur der beiden Korntypen. Demnach kann beim Korntyp Zahnmais auf eine höhere Stärkeabbaubarkeit geschlossen werden (Abb. 5, CERNEAU and MICHALET-DOREAU 1991, MICHALET-DOREAU and CHAMPION 1995, PHILIPPEAU und MICHALET-DOREAU 1997).

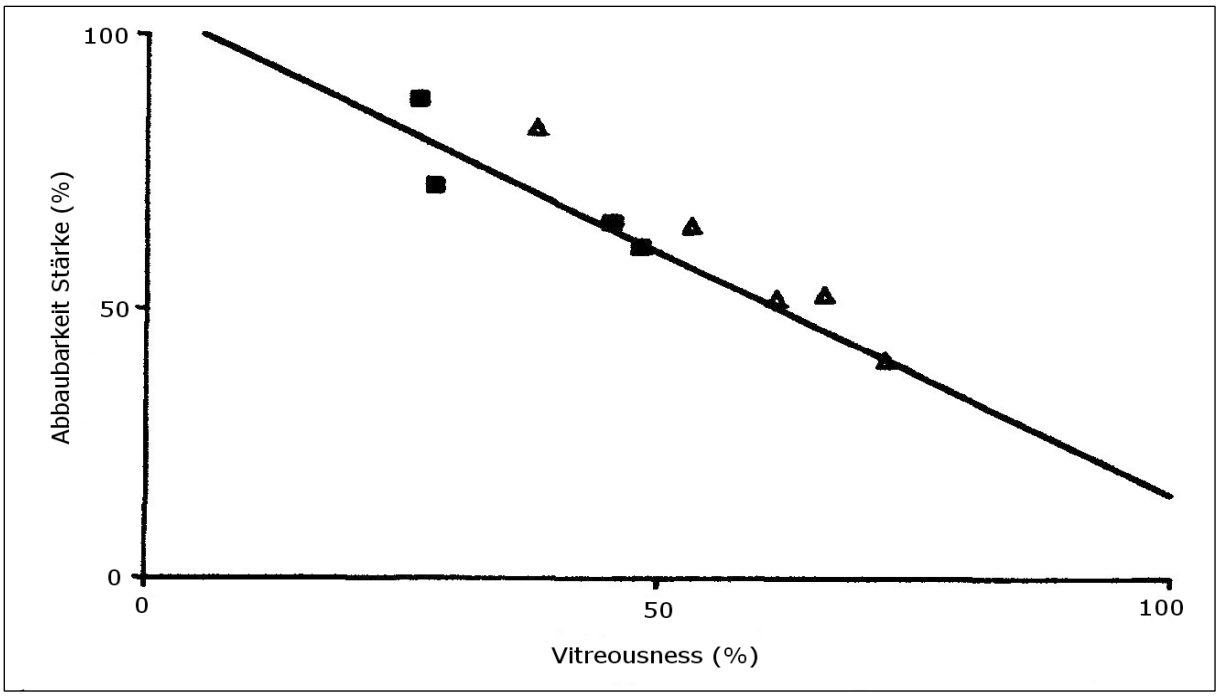

Abbildung 5: Beziehung zwischen *in situ*-Stärkeabbaubarkeit von Maiskörnern und der Vitreousness; ▲ = Hartmais, ■ = Zahnmais (nach PHILIPPEAU und MICHALET-DOREAU 1997)

2.4 Einflussgrößen der Futteraufnahme bei Milchkühen

2.4.1 Energiebedarf der Milchkuh und Einflüsse auf die Milchinhaltsstoffe

Ein sehr wesentliches Kriterium zur Beurteilung von Futtermitteln und Futterrationen für die Milchviehfütterung ist die Energiekonzentration. Bei gleichbleibendem Fassungsvermögen des Pansens stehen der Milchkuh nämlich je nach Höhe des Energiegehalts der Futtermittel verschieden große Nährstoffmengen für die Milchleistung zur Verfügung. Bis zu einem gewissen Grad kann die Futteraufnahme während der Trächtigkeit und der Laktation erhöht werden. Dies resultiert aus einer Dehnung des Pansens und somit in der Erhöhung des Pansenvolumens. Die adäquate Versorgung der Milchkuh ist dadurch jedoch nicht gewährleistet. Daraus lässt sich aber folgern, dass mit steigender Milchleistung die Energiekonzentration des Futters ansteigen muss. Liegt der Energiegehalt des Futters niedriger, als es für die jeweilige Leistung erforderlich ist, so wird der Nährstoffbedarf nicht gedeckt, die Leistung verringert sich und Körperreserven werden mobilisiert (ØRSKOV und RYLE 1990, KIRCHGEßNER 2004, Tab. 2).

Der Milchfettgehalt kann maßgeblich durch die Fütterung beeinflusst werden. Für die Bildung des Milchfettes müssen ausreichend Bausteine zur Verfügung stehen. Dabei sind insbesondere Essig- und Buttersäure für die Milchfettsynthese von Bedeutung. Durch zuviel Propionsäure wird der Milchfettgehalt gesenkt. Der Einfluss der Kohlenhydrate auf den Milchfettgehalt hängt davon ab, ob sie als Zucker, Stärke oder Rohfaser vorliegen. Die wichtigste Voraussetzung für den maximalen Milchfettgehalt ist eine ausreichende Zufuhr von Rohfaser. Ihren optimalen Anteil kann man in der Milchviehfütterung mit etwa 18 % TM angeben (JEROCH 1999, KIRCHGEßNER 2004).

Der Proteingehalt kann durch die Fütterung geringfügig erhöht werden. Dies kann durch die Kohlenhydrat- und damit durch die Energiezufuhr, aber auch durch die rationsspezifische Proteinversorgung erreicht werden. Mit zunehmender Leistung scheint hierbei der Anteil an UDP in der Ration an Bedeutung zuzunehmen. Zunächst ist der Milcheiweißgehalt unmittelbar von der bedarfsgerechten duodenalen Anflutung an nXP abhängig. Das nutzbare Rohprotein setzt sich vorwiegend aus mikrobiellem Protein (65 – 85 %) und im weiteren aus nicht abgebautem Futter-

protein (UDP) zusammen. Das Aminosäuremuster der Milchproteine ist genetisch vorgegeben (JEROCH 1999, KIRCHGEßNER 2004).

Tabelle 2: Zum Nährstoffbedarf von Milchkühen für verschiedene Milchleistungen (nach KIRCHGEßNER 2004)

	Trockenmasse (kg)	**Nutzbares Rohprotein (g)**	**MJ NEL**
Erhaltung bei 650 kg	12 – 14	440	37,7
Milch 3,8 % Fett und 3,3 % Eiweiß			
Erhaltung + 5 kg Milch	14 - 20	860	53,2
10		1.280	68,6
15		1.700	84,1
20		2.120	99,5
25		2.540	115,0
30		2.960	130,4
Milch, 4 % Fett und 3,4 % Eiweiß			
Erhaltung + 5 kg Milch	14 - 20	870	53,6
10		1.300	69,4
15		1.730	85,3
20		2.160	101,2
25		2.590	117,0
30		3.020	132,9
Milch, 4,2 % Fett und 3,5 % Eiweiß			
Erhaltung + 5 kg Milch	14 - 20	880	54,0
10		1.320	70,2
15		1.760	86,5
20		2.200	102,7
25		2.640	119,0
30		3.080	135,2
Milch 4,4 % Fett und 3,6 % Eiweiß			
Erhaltung + 5 kg Milch	14 - 20	850	54,4
10		1.340	71,0
15		1.790	87,7
20		2.240	104,3
25		2.690	121,0
30		3.140	137,6

2.4.2 Einflussfaktoren der Futteraufnahme

Für eine ausreichende Nährstoffversorgung ist neben der Energie- und Nährstoffkonzentration des Futters auch das Futteraufnahmevermögen der Milchkühe zu beachten. Vor allem bei hochlaktierenden Kühen ist eine bedarfsgerechte Nährstoffaufnahme wegen des begrenzten Futterverzehrs erschwert. Grundsätzlich muss zwischen Einflussfaktoren, die durch das Tier unmittelbar bedingt sind, sowie durch die Fütterung und das Futtermittel bedingte Faktoren unterschieden werden (KIRCHGEßNER 2004).

Die Futteraufnahme steht in enger Beziehung zur Pansenfüllung. Die Größe des Pansens hängt von der Lebendmasse und geringfügig von der Rasse der Tiere ab. Mit zunehmender Größe des Pansens steigen auch die Futteraufnahme und die ruminale Retentionszeit des Futters. Damit ist ein erhöhter Abbau des Futtermittels verbunden (ØRSKOV und RYLE 1990). Bei energetischer Unterversorgung der Tiere wird die Futteraufnahme vorwiegend von der Pansenfüllung bestimmt. Dadurch determinieren eher nutritive Komponenten, wie die Grundfutterqualität oder der Kraftfutteranteil in der Ration die Futteraufnahme. Bei einer positiven Energiebilanz wird diese hauptsächlich durch physiologische Faktoren bestimmt (GRUBER et al. 2004, Abb. 6).Die Verweildauer bzw. Passagegeschwindigkeit des Futters hängt von der Intensität des bakteriellen Abbaus im Pansen ab. Diese Intensität wird unter anderem von der Vormagenmotorik und der Speichelproduktion beeinflusst, die ihrerseits von der Struktur bzw. der physikalischen Beschaffenheit des Futters abhängt. Die Verdaulichkeit des Futters steht in engem Zusammenhang mit der Passagegeschwindigkeit. Je geringer die Verdaulichkeit eines Futtermittels ist, desto länger wird seine Verweildauer im Pansen sein (KIRCHGEßNER 2004).

Zahlreiche Autoren konnten in Abhängigkeit der Rationsanteile an Raufutter Unterschiede bezüglich der Futteraufnahme feststellen. Es zeigte sich, dass Rationen die einen hohen Anteil an Strukturfutter enthalten in einer geringeren Futteraufnahme und einer geringeren Passagerate resultieren und vice versa (FLACHOWSKY und SCHNEIDER 1992, AMLER 2003, GRUBER et al. 2004, BRÜSEMEISTER 2008). Die Futteraufnahme wird demnach stark von der Futterqualität, der Aufbereitung und die daraus resultierende Passagerate beeinflusst. Die

nicht abbaubare Fraktion (1-a+b) des Futters stellt dabei einen Platzhalter dar. Die Verdauungsrate bestimmt wie lange die potentiell abbaubare Fraktion (a+b) im Pansen verweilt und somit den Platz im Pansen okkupiert. Die im Rumen schnell abbaubare und sofort lösliche Fraktion a ist dabei zu vernachlässigen (ØRSKOV und RYLE 1990, GRUBER et al. 2004). Weist ein Futtermittel eine schlechte Verdaulichkeit auf, kann das einer erhöhten Futteraufnahme entgegenwirken, da die Retentionszeit steigt. Demnach sollte Futter hoher Qualität bevorzugt werden (RUSSEL et al. 1992). Dabei spielt auch die Größe der Futtermittelbestandteile eine wesentliche Rolle. Je kleiner die theoretische Häcksellänge ist, umso höher ist die Futteraufnahme. Bei Trockenmasseanteilen bis zu 30 % kann eine erhöhte Futteraufnahme für Maissilage festgestellt werden (PREISSINGER et al. 1997). Dennoch muss eine befriedigende Anregung zum Wiederkäuen durch das Futtermittel gegeben sein um die Verzehrsleistung zu steigern. Für gut vergorene Maissilage ist diese Eigenschaft für den Wiederkäuer positiv zu werten (ZSCHEISCHLER et al. 1990). Unter üblichen Haltungsbedingungen stellt die ruminale Abbaubarkeit, neben der Futtermittelstruktur und dem Geschmack, ØRSKOV und RYLE (1990) zufolge, den bedeutendsten Einflussfaktor der Futteraufnahme dar.

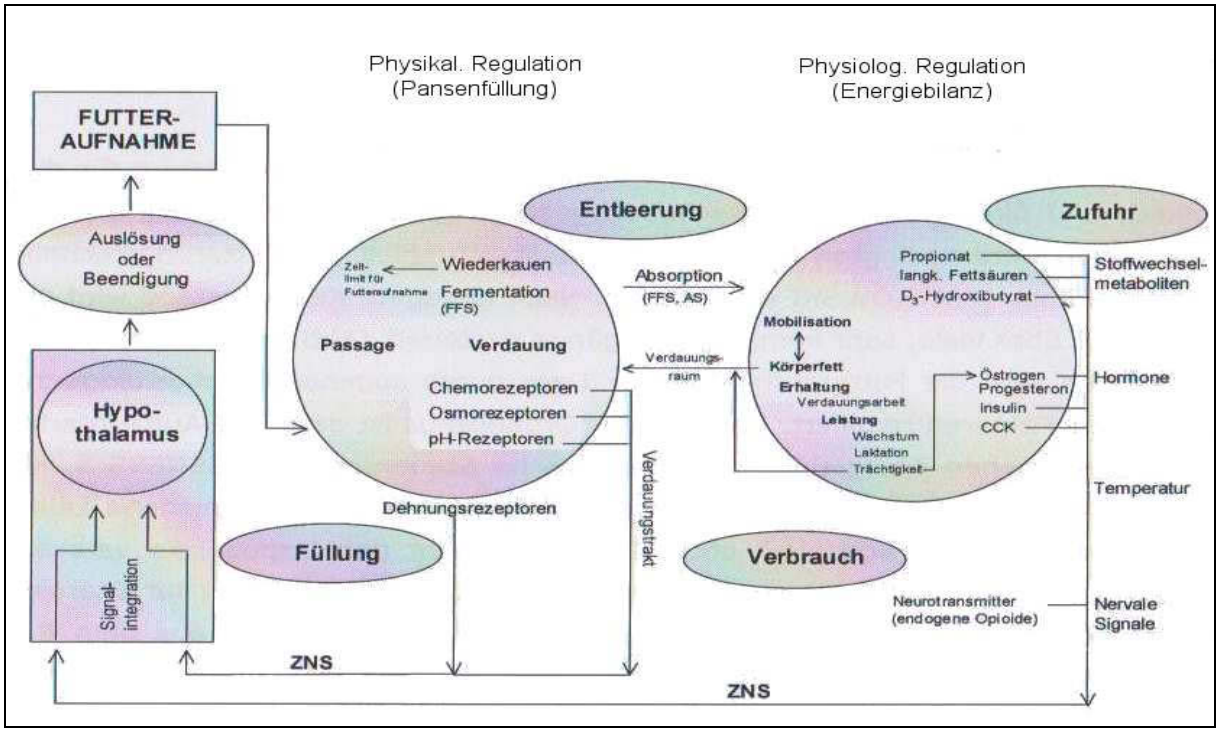

Abbildung 6: Regulierung der Futteraufnahme bei Wiederkäuern
(nach GRUBER et al. 2001)

2.5 Das *in situ*-Verfahren

2.5.1 Grundlagen der Technik

Für die Dokumentation des Abbaus von Futtermitteln durch Wiederkäuer werden grundsätzlich zwei Verfahren verwendet. Dies sind einerseits die *in vitro*-Methoden und andererseits das *in situ*-Verfahren. Die *in vitro*-Methoden verlaufen unter standardisierten Laborbedingungen. Durch dieses Verfahren werden finale Ergebnisse bezüglich des ruminalen Abbaus von Futtermitteln erhalten. Umwelteinflüsse können jedoch nicht miteinbezogen werden. Cone et al. (2002) konnten ein Bestimmtheitsmaß (R^2) von 0,5 – 0,75 feststellen, wenn der *in situ*-Abbau mittels der chemischen Komponenten der Futtermittel und einer *in vitro*-Methode geschätzt wird. Daraus lässt sich schließen, dass die direkte Ermittlung des TM-Abbaus durch die *in situ*-Methodik, im Gegensatz zu den *in vitro*-Verfahren, genauere Ergebnisse über die Fermentation der organischen Masse im Pansen liefert.

Die *in situ*-Abbaubarkeit von Futtermitteln wird, ebenfalls unter einer standardisierten Vorgehensweise, am lebenden und fistulierten Tier ermittelt. Um die ruminalen Abbaucharakteristika von Futtermitteln dazustellen, werden meist gefriergetrocknete und zerkleinerte Futtermittelproben in gewobene Nylonbeutel eingewogen und in den Pansen der Tiere für eine bestimmte Zeit inkubiert. Durch die zahlreichen Einflussfaktoren welche bei der Nylon-bag-Methode zu berücksichtigen sind, ist es jedoch schwierig eine strikte Standardisierung zu erreichen. Eine Übersicht über den Ablauf der *in situ*-Methode geht aus Abbildung 7 hervor (SÜDEKUM 2005).

Abbildung 7: Wichtige Schritte im Ablauf der *in situ*-Methode (nach SÜDEKUM 2005)

2.5.2 Das mathematische Modell zur Ableitung des Trockenmasseabbaus

Dem *in situ*-Versuch liegt das unten angeführte Schätzmodell nach ØRSKOV und MCDONALD (1979) zugrunde.

$$P = a + b\,(1 - \exp^{-ct})$$

Mit diesem nicht linearen Regressionsmodell wird die potentielle Abbaubarkeit des Futtermittels beschrieben. Der Parameter a stellt dabei die lösliche und sofort abbaubare Fraktion des getesteten Substrates dar und definiert den Abschnitt zum Zeitpunkt 0 auf der Y-Achse. Die Differenz zwischen dem Y-Achsenabschnitt (a) und der Asymptote wird durch die Fraktion b definiert. Der Parameter b stellt die unlösliche, jedoch potentiell abbaubare Fraktion des Futtermittels dar. Der Faktor c beschreibt die Abbaurate pro Stunde der Funktion b und ist für die Steilheit des Kurvenanstieges und die Abbaugeschwindigkeit des unlöslichen und potentiell

abbaubaren Anteils des Futtermittels verantwortlich (ØRSKOV und MCDONALD 1979, ØRSKOV und RYLE 1990, Abb. 8).

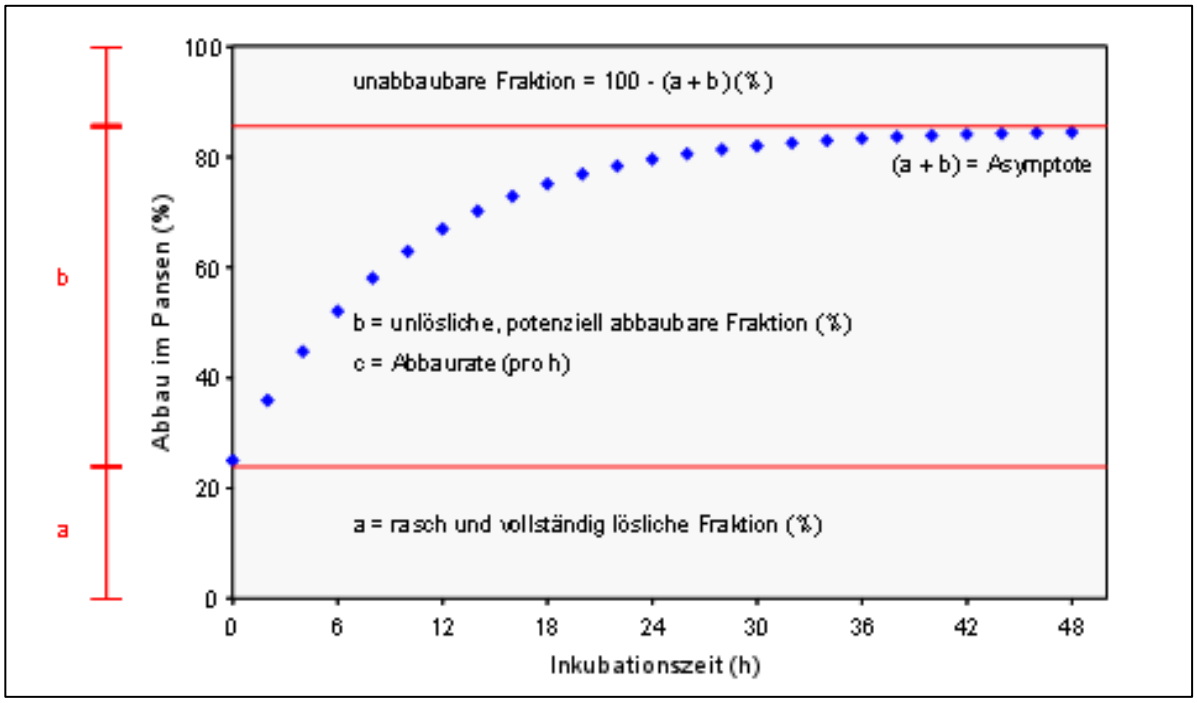

Abbildung 8: Asymptote des ruminalen Abbaus eines Futtermittels (nach HUNTINGTON und GIVENS 1995)

Die Abbaubarkeit eines Futtermittels in Prozent zum Zeitpunkt x wird mit folgender Formel errechnet.

deg = 100 - (Einwaage/Rückwaage *100)

Die inkubierten Proben unterliegen jedoch einer lag-Phase im Pansen. In dieser Zeit wird das zu testende Futtermittel in den Pansenchymus integriert und durch die Pansenmikroben besiedelt. Es findet daher noch kein symbiontenbedingter Abbau statt. Das Modell nach ØRSKOV und MCDONALD (1979) lässt diesen Faktor außer acht.

MCDONALD (1981) behandelte erstmals diese Tatsache und integrierte den Parameter in die Formel des effektiven Nährstoffabbaus (ED). SÜDEKUM (2005) modifizierte die Formel. Zudem wird in diesem Modell auch die Passagerate (k) berücksichtigt.

$$ED = a + b * c/(c + k) \exp^{(-k * lag)}$$

Lange lag-Phasen, bis zu vier Stunden, treten vor allem bei der Inkubation von Futtermitteln mit einem hohen Anteil an Gerüstsubstanzen auf (NOCEK und ENGLISH 1986). Berechnet wird dieser Parameter mit der Formel nach ØRSKOV und RYLE (1990).

$$Lag = 1/c * \ln (b/(a + b - Waschmaschinenverlust))$$

2.5.3 Varianzursachen in der *in situ*-Methode

Trotz der weit verbreiteten Anwendung unterliegen die mittels *in situ*-Methodik gewonnenen Daten über die Kinetik des ruminalen Nährstoffabbaus Einschränkungen hinsichtlich ihrer Aussagefähigkeit, die auch durch eine Standardisierung der Methode nur bedingt zu beheben sind. Mit einer strikten Standardisierung lassen sich aber reproduzierbare Werte erzielen, die eine unverzichtbare Voraussetzung zur Anwendung der Methode darstellen (HUNTINGTON und GIVENS 1997, SÜDEKUM 2005). Es existieren mehrere Übersichtsarbeiten welche die Varianzursachen der Methode behandeln (NOCEK 1988, HUNTINGTON und GIVENS 1995, VAZANT et al 1998, SÜDEKUM 2005).

Probenaufbereitung

Trocknen

Im Gegensatz zu anderen Trocknungsmethoden ist die Gefriertrocknung am besten für die Aufbereitung von Proben für die *in situ*-Methode geeignet. Die Erhitzung, welche bei der Trocknung feuchter Futtermittel häufig angewendet wird, führt zu massiven Veränderungen der chemischen Zusammensetzung und hat folglich auch Einfluss auf die ruminale Abbaubarkeit. Auch die Gefriertrocknung von Futtermitteln zeigt eine Abweichung des Abbaus im Vergleich zu frischen Futtermitteln, wenn auch nur geringfügig (DULPHY et al. 1999).

Mahlen und Sieben

Wegen der bei der *in situ*-Methode fehlenden mechanischen Zerkleinerung, die *in vivo* durch das Kauen und Wiederkäuen erreicht wird, müssen Futtermittel vor der

Einwaage in die bags mechanisch bearbeitet werden, um möglichst den natürlichen Gegebenheiten entsprechende Voraussetzungen für den mikrobiellen Abbau der Futterbestandteile im Pansen zu schaffen und repräsentative Ergebnisse zu erhalten (SÜDEKUM 2005, BAYLEY 1962, NOCEK 1988, MICHALET-DOREAU und OULD-BAH 1992).

Michalet-Doreau und CERNEAU (1991) kamen zu dem Schluss, dass eine Verringerung der Sieblochgröße, auch eine signifikante Verringerung der Partikelgröße für alle Futtermittel mit sich bringt. Zusätzlich hat die Vermahlung unterschiedliche Effekte auf die Partikelgrößenverteilung bei verschiedenen Futtermitteln. Es besteht eine beträchtliche Variation in der Partikelgröße zwischen den bearbeiteten Futtermitteln bei gleicher Mahlsiebgröße. Zu große Partikel limitieren die mikrobielle Besiedelung, vermindern den ruminalen Abbau und vergrößern zusätzlich die Variabilität in den Kenngrößen zum ruminalen Abbau (MICHALET-DOREAU und OULD-BAH 1992) und zu kleine Partikel führen, in Abhängigkeit der Porengröße der Säckchen, zu erhöhten Verlusten (VAZANT et al. 1998). Das Potential für Verluste an kleinen, wasserunlöslichen Partikeln erhöht sich bei der Inkubation bei Verwendung von Sieblochgrößen < 2 mm. Daher sollte die Sieblochgröße der Mühle bei mindestens 2 mm liegen und die Obergrenze von 3 mm nicht überschritten werden (ØRSKOV et al. 1980, UDÉN und VAN SOEST 1984, VAZANT et al. 1998). Ørskov et al. (1980) befinden andere Zerkleinerungs-methoden, wie zerhacken, zerschneiden und walzen als ungeeignet.

Es ist jedoch nur schwer möglich eine Standardisierung bezüglich der Partikelgröße zu erreichen und diesbezügliche Empfehlungen wären wünschenswert (VAZANT et al. 1998). Nach SÜDEKUM (2005) sollte die Partikelgrößenverteilung mittels eines standardisierten Verfahrens ermittelt und als unterstützende Information in Publikationen mitgeteilt werden.

Einweichen und Auswaschverluste

Das Quellen der Futtermittelproben in Wasser vor der Inkubation kann die umgehende Besiedelung des Futtermittelsubstrates mit Mikroorganismen fördern. Dies ist von Vorteil, wenn Proben nur kurzen Inkubationszeiten unterliegen (VAZANT et al. 1998). Mit dieser Maßnahme soll die Einspeichelung der Futterprobe imitiert werden (NOCEK 1985).

CONE et al. (2006) untersuchten die präinkubalen Auswaschverluste bei stärkereichen Futtermitteln und deren Fermentationsverhalten in Pansensaft. Die Vermahlung der Futtermittel erfolgte mittels eines 3-mm-Rasters und die Porengröße der Säckchen betrug 40 µm. Im Durchschnitt wurde circa ein Viertel des verwendeten Futtermittels ausgewaschen. Die auswaschbare Fraktion darf nicht mit der schnell verdaulichen Fraktion a gleichgesetzt werden. CONE et al. (2006) konnten feststellen, dass durchschnittlich nur ein Drittel der auswaschbaren Fraktion als schnell fermentierbar angesehen werden kann. Da ein gewisser Teil der Futtermittel wasserlöslich ist bzw. Feinstpartikel auswaschbar sind, wäre es wichtig diesen Anteil (NDF) durch eine Nullprobe zu ermitteln (ØRSKOV et al. 1980).

Bags

Grundsätzlich muss beachtet werden, dass die Bedingungen für das Futtermittel in den Säckchen von jenen im Pansen abweichen. Die Futterpartikel der Proben sind auf ein geringes Volumen konzentriert. Im Gegensatz dazu unterliegt der Panseninhalt keiner Einschränkung und dadurch ist eine bessere Besiedelung der Futterpartikel mit Mikroorganismen gegeben (NOZIÈRE und MICHALET-DOREAU 1996).

Material

Die Materialstruktur beeinflusst die Werte der ruminalen Abbaubarkeit (FIGROID 1972) und die unregelmäßige Porengrößenverteilung in multifilamentösem Gewebe wurde von MEYER und MACKIE (1986) und MARINUCCI et al. (1992) bearbeitet. Die Autoren fügten hinzu, dass die Unregelmäßigkeiten im Gewebe mit vermehrter Verwendung steigen. In der Mehrheit der in der Übersichtsarbeit von HUNTINGTON und GIVENS (1995) erwähnten Studien wurden Nylonbags verwendet. Diese können laut den Autoren mehrmals eingesetzt werden. Mehrere Publikationen beschreiben die Verwendung von hitzebehandeltem, präzisionsgewobenen Nylongewebe um eine fixe Porengröße zu erhalten (HUNTINGTON und GIVENS 1995).

Porengröße

Die angemessene Porengröße der bags ist ein Kompromiss zwischen dem Eintritt von im Pansen vorhandenen Mikroorganismen in die bags und dem Ausströmen von unabgebautem Futtermaterial (NOCEK 1988, VAZANT et al. 1998). Da die

Porengröße einen erheblichen Einfluss auf die Abbaukinetik der Probe hat, sollte diese so gewählt werden, dass das Einströmen der Verdauungsfaktoren, wie Mikroorganismen und Puffer und das Ausströmen von Verdauungsendprodukten, wie flüchtige Fettsäuren, gegeben ist. Der Austritt von unverdautem Probematerial sollte jedoch unterbunden werden. Ebenso sollte der Einstrom von im Pansen vorhandenen Futtermittelpartikeln minimiert werden, da dies zu einer Unterschätzung des Futtermittelabbaus führt (VAN HELLEN und ELLIS 1977).

Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass mit zunehmender Porengröße auch das Ausmaß der mikrobiellen Besiedelung größer ist (UDÉN und VAN SOEST 1984, MEYER und MACKIE 1986) und damit auch das die Fermentationsrate ansteigt (WEAKLEY et al. 1983). MEYER und MACKIE (1986) schlussfolgerten, das bei einer Porengröße < 10 µm die Einwanderung von Bakterien und Protozoen in die bags einer starken Einschränkung unterliegt.

Bei der Wahl der Porengröße kann man von zwei Ansätzen ausgehen. Erstens, jene Porengröße, die die Minimierung des partikulären Influx und den Verlust von unzersetztem Material als wichtig erachten (z.B. VAN HELLEN und ELLIS 1977, LINDBERG 1981a). Beim zweiten Ansatz ist das oberste Ziel die Schaffung des Pansenmilieus im Probebeutel. Es sollten möglichst gleichmäßige Verhältnisse innerhalb und außerhalb der bags erreicht werden (MEYER und MACKIE 1986, MARINUCCI et al. 1992). Bei der größten getesteten Porengröße (53 µm) konnten MEYER und MACKIE (1986) trotzdem nur 60 % der im Pansen vorhandenen Symbionten in den Säckchen nachweisen.

Die Erhöhung der Porengröße erhöht nicht nur die potentiellen Verluste von unabgebauten Futterpartikeln, sondern erlaubt ebenfalls eine größere Einwanderung von Feinstpartikeln aus dem Pansen in die bags (UDEN und VAN SOEST 1984). Dies scheint zuerst nachteilig für den *in situ*-Prozess zu sein, aber die Mehrheit der ruminalen Bakterien ist nicht mobil und 75 % der Bakterienpopulation sind sehr eng mit Teilchenmaterial verbunden. Der Einstrom von Pansenflüssigkeit, welche durch die Öffnungen im Beutel erleichtert wird, ist ein kritisches Merkmal für die Kolonisation der Probe (FORSBERG und LAM 1977, WOLSTRUP und JENSEN 1978). Nach UDÉN und VAN SOEST (1984) ist es schwierig Ober- und

Untergrenzen bezüglich der Porenöffnungen zu definieren. Die Wahl der Porengröße sollte daher vorrangig von der Partikelgröße der Probe abhängen.

Einwaage und Beuteloberflächenverhältnis

Nach NOCEK (1988) und ØRSKOV et al. (1980) ist die Probemenge dann optimal, wenn nach langen Inkubationszeiten noch genügend Rest vorhanden ist, um am Material chemische Analysen durchzuführen. Jedoch sollte der Beutel auch nicht überfüllt werden. Eine Überfüllung kann zu einer verzögerten Bakterienkolonisation und einer Unterschätzung der Abbaubarkeit führen. Daher sollte eine ausreichende Beutelgröße gewählt werden, um ein optimales Probegewicht-Oberflächenverhältnis zu erreichen. Nach ØRSKOV et al. (1980) sollte bei der Wahl der Probegröße auch die Futtermitteldichte beachtet werden.

Viele Autoren (zB VAN HELLEN und ELLIS 1977, UDÉN und VAN SOEST 1984, LINDBERG 1981a, FIGROID et al. 1972, MARINUCCI et al. 1992 und NOCEK 1985) beobachteten eine negative Korrelation zwischen dem Probegewicht und der Beuteloberfläche. VAZANT et al. (1998) führten an 73 Veröffentlichungen eine Metastudie durch, wobei auch der Einfluss des Probegewichtes und der Beuteldimensionen behandelt wurde. Sie kamen zu dem Schluss, dass nur 56 % der Autoren ein Einwaage-Beuteloberflächenverhältnis von 10 – 20 mg/cm² verwendeten. Zwanzig der Studien beschreiben ein Verhältnis von weniger als 10 mg/cm² und zwölf Artikel empfehlen eine Einwaage-Beuteloberflächenbeziehung von mehr als 20 mg/cm². Vorsicht sollte gegeben sein, wenn eine Probenmenge kleiner als 4 mg/cm² verwendet wird. Dies kann zu einer Überschätzung des Abbaus der Futtermittelproben führen (HUNTINGTON und GIVENS 1995).

Allgemein sollte die Berechnung des Einwaage-Beuteloberflächenverhältnisses mit der Gleichung: Einwaage (mg)/(bag-Breite in cm * bag-Länge in cm * 2) erfolgen (VAZANT et al. 1998).

Schnur

Die Schnurlänge zwischen der Verschlussklappe der Pansenfistel und dem Gewicht an dem die Säckchen befestigt sind ist die kritische Determinante welche die Eindringtiefe in den Pansen limitiert (HUNTINGTON und GIVENS 1997).

STRITZLER et al. (1990) konnten eine lineare Beziehung zwischen dem TM-Verschwinden von Reygras und Gerstenstroh und der Schnurlänge feststellen. Mit zunehmender Schnurlänge (25 cm auf 105 cm) erhöht sich der Abbau der Trockenmasse. Sie weisen darauf hin, dass die vermehrte freie Beweglichkeit, welche aus einer höheren Schnurlänge resultiert, den Flüssigkeitsaustausch zwischen dem Pansen- und dem Säckcheninhalt erleichtert und somit die mikrobielle Aktivität gefördert wird. HUNTINGTON und GIVENS (1995) definieren Schnurlängen von 41 cm bis 60 cm als angepasst, um den Probebeuteln freie Bewegung zu gewährleisten.

Tierbezogene Effekte

Ration

Die Ration, welche die Versuchstiere erhalten hat einen starken Effekt auf die Abbaurate der inkubierten Futtermittel. Das Futter ist der Hauptfaktor für die Quantität und für die Art der Mikroben im Pansen (NOCEK 1988). Tiere deren Ration beispielsweise einen hohen Kraftfutteranteil aufweist zeigen eine reduzierte cellulolytische Aktivität im Pansen und umgekehrt. Die Zusammenstellung der Ration hängt somit auch von dem Ziel des Experiments ab. Es ist auch wichtig, dass der Abbaucharakter des getesteten Futtermittels bekannt ist, um festzustellen ob die Ration den Verdau beeinträchtigt (ØRSKOV et al. 1980). Nach NOCEK (1988) sollte in der Ration auch das getestete Futtermittel beinhaltet sein. Die Basalration sollte einen kleinen Anteil an verschiedenen Futtermitteln enthalten um eine diverse mikrobielle Population im Pansen zu garantieren.

Lokalisation der Probebeutel im Pansen

Die Beutel sollten, in Abhängigkeit der Schnurlänge, im Pansen so platziert werden, dass eine freie Beweglichkeit der Säckchen gewährleistet ist. Die Pansenbewegung sorgt für die Integration der Säckchen in den Chymus und den Eintritt von Pansensaft in die Probe (STRITZLER et al. 1990).

In der großen Mehrzahl der Publikationen werden die Beutel in den ventralen Pansensack inkubiert, da hier nur wenig Futter vorhanden ist und somit die

Symbionten die Probe leichter besiedeln können (HUNTINGTON und GIVENS 1995).

Anzahl der gleichzeitig inkubierten Probebeutel je Tier

Die Anzahl an Beuteln, die pro Tier gleichzeitig inkubiert werden können, wird primär durch die Tierart (große oder kleine Wiederkäuer) und die Größe der verwendeten Beutel bestimmt, sowie durch die Art und Weise, in der die Beutel einzeln oder gruppenweise an Leinen, Gewichten oder ähnlichen Vorrichtungen befestigt werden (SÜDEKUM 2005). Huntington und GIVENS (1997) untersuchten den Einfluss der Anzahl an gleichzeitig inkubierten Säckchen bei Milchkühen. Sie inkubierten 20, 40 und 60 Probebeutel und konnten keine Beeinträchtigung des TM-Abbaus feststellen.

Nachbehandlung

Konservierung

Die Auswirkungen der postinkubalen Konservierung der Proben auf den TM-Abbau wurden von HUNTINGTON und GIVENS (1997) untersucht. Das Gefrieren der Säckchen nach der Inkubation zeigte eine geringe aber signifikante Verringerung des Trockenmasseabbaus.

Waschen

Beträchtliche Variationen bezüglich der Waschprozedur konnten in der Arbeit von HUNTINGTON und GIVENS (1995) aufgezeigt werden. Die Mehrheit der in dieser Übersichtsarbeit zitierten Autoren gab an, dass eine automatische Waschmaschine benutzt wurde, um eine einheitliche Waschung zu garantieren. Nichtsdestotrotz bestehen Unterschiede in den Marken der Waschmaschinen oder den verwendeten Waschprogrammen. Dies kann zu beträchtlichen Variationen bei den Ergebnissen zwischen den durchführenden Forschungsanstalten führen.

HUNTINGTON und GIVENS (1997) fanden heraus, dass mit zunehmender Waschintensität auch die Trockenmasseverluste ansteigen. Um dies zu vermeiden sollte für die postinkubale Waschung ein Wollwaschprogramm gewählt werden. Jedoch sind auch intensive, mechanisierte Waschprozeduren nicht in der Lage, die mikrobielle Besiedelung der Futtermittelresiduen in den Beuteln ausreichend zu entfernen. Dies führt besonders bei rohproteinarmen, aber stärke- und faserreichen

und damit intensiv besiedelten Futtermitteln wegen des hohen Rohproteingehaltes der Pansenmikroben zu einer massiven Unterschätzung des Rohproteinabbaus (SÜDEKUM 2005).

Trocknen

Die Trocknungstemperatur, der die Beutel nach dem Waschen ausgesetzt werden, hängt stark von der vorgesehenen Analytik ab. Wenn nur die Gehalte an TM ermittelt werden sollen, sind auch Trocknungstemperaturen > 60℃ unkritisch. Wenn jedoch Faser- und Rohproteinfraktionen oder Stärke in den Residuen bestimmt werden sollen, sind niedrigere Trocknungstemperaturen anzuwenden (SÜDEKUM 2005).

Inkubationszeiten

ØRSKOV et al. (1980) empfehlen für Futterkonzentrate 12 bis 36-stündige, für Raufutter guter Qualität 24 bis 60-stündige und für Raufutter schlechter Qualität 48 bis 72-stündige Inkubationszeiten um die potentielle Abbaubarkeit zu beschreiben.

Nach MERTENS (1993) hängen die Inkubationszeiten von der erwarteten Abbaugeschwindigkeit der Futtermittel ab. Die Abstände zwischen den Inkubationsintervallen sind wichtig um den Aufbau von *in situ*-Experimenten zu optimieren. Die ruminale Fermentation von Futtermitteln gliedert sich in drei Phasen. Diese sind eine Anfangsphase, in der die Probe in den Pansenchymus integriert wird. In der zweiten Phase erfolgt ein steiler Anstieg der Kurve, da hier vor allem schnell abbaubare Komponenten des Futtermittels zersetzt werden. Dem folgt eine Verlangsamung der Fermentation der Probe. Die Degradationskurve erreicht ein Plateau da die relativen Anteile der langsam abbaubaren und nicht abbaubaren Fraktionen steigen. Um eine möglichst präzise Schätzung zu erhalten, sollten vor allem während der zweiten Abbauphase vermehrt Inkubationszeiten gesetzt werden. Danach können die Abstände der Inkubationsintervalle größer werden.

VAN KEUREN und HEINEMANN (1962) konnten feststellen, dass sich die Unterschiede im ruminalen Abbau verschiedener Probegrößen mit zunehmender Inkubationszeit verringern. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen von LINDBERG (1981a) welcher diesbezüglich keine Unterschiede feststellen konnte.

3 Material und Methoden

3.1 Futtermittel

3.1.1 Sorten

Die verwendeten Sorten gliedern sich in drei Reifegruppen mit früh- bis mittelfrühreifende (RG I), mittelfrüh- bis mittelspätreifende (RG II) und mittelspät- bis spätreifende Sorten (RG III), (Tab. 3).

Tabelle 3: Charakterisierung der Maissorten

REIFEGRUPPE	SORTE	FAO RZ	Korntyp	SAATGUTFIRMA
I	NUESTRO	230	Hz	Die Saat
	NK-FALKONE	250	Hz	Sygenta
	BEATLE	260	Hz	Euralis/RWA
II	ROBERTO	270	Hz	Saatbau Linz
	PR39T45	280	HZ	Pioneer
	RONALDINIO	290	Hz	KWS/Semena
III	DK 315	320	Z	Saatbau Linz
	PR39F58	320	Z	Pioneer
	FRIEDRIXX	330	Z	RAGT

Hz = Hartmais mit geringem Anteil an Zahnmais im Genom
HZ = Hart und Zahnmais sind zu gleichen Anteilen im Genom enthalten
Z = Zahnmais

3.1.2 Vegetationsstadium

Der Nährstoffgehalt der Pflanze und damit des späteren Futtermittels wird vor allem durch das Vegetationsstadium bei der Ernte bestimmt. Die zwei für diesen Versuch gewählten Beprobungszeitpunkte für die nachfolgenden *in situ*-Versuche wurden

theoretisch anhand des Trockenmassegehaltes der Körner festgelegt. So sollte die erste Beprobung bei einem TM-Gehalt des Kornes von 50 % erfolgen. Der zweite Termin sollte bei TM-Gehalten von 65 % durchgeführt werden.

Die Maispflanzen für den Fütterungsversuch wurden am zweiten Beprobungszeitpunkt des *in situ*-Versuchs geerntet.

3.1.3 Anbaugebiet

Angebaut wurde das Versuchsmaterial in Bad Wimsbach-Neydharting bei Lambach (OÖ, Bezirk Wels). Der Ort liegt auf einer Seehöhe von 360 m und weist eine mittlere Jahrestemperatur von 8,4 ℃ auf. Die durchschnittlichen Jahresniederschläge belaufen sich auf 839,8 l/m² (ZAMG, 2009).

3.2 Die *in situ*-Methode

Die *in situ*-Untersuchungen wurden nach den Vorgaben von ØRSKOV et al. (1980) und HUNTINGTON und GIVENS (1995) durchgeführt.

3.2.1 Vorbereitung der Proben

In dieser Arbeit werden die Abbauparameter der Kolben des Versuchsjahres 2007 festgestellt. Der Trockenmaseabbau der Restpflanzen desselben Versuchsjahres wird in der Arbeit von Müller (2010) bearbeitet. Die 18 Einzelproben (9 Sorten * 2 Reifezeitpunkte der hergestellten KS-Silagen wurden gefriergetrocknet und anschließend mit einer Mühle der Firma KURTZ (Type LS 253) vermahlen. Die Rastergröße betrug 2 mm.

3.2.2 Nylon-bags und Einwaage

Das verwendete Material der Säckchen ist gewobenes Nylon, der Firma ANKOM Technology (Fairport, NY, USA) mit der Produktbezeichnung „Part # R1020“. Die Porenweite beträgt 50 µm.

Die bags werden im Rohzustand mit den Maßen 10 cm × 20 cm gekauft. Mit einem Schweißgerät der Firma AUDION ELEKTRO (Marke „Sealboy 235 SBM“) wird zunächst ein rechtwinkeliges Dreieck, mit einer Seitenlänge von 4,5 cm, abgeschweißt, um zu gewährleisten, dass die gesamte Futtermittelprobe im Pansen den gleichen Bedingungen unterliegt.

Damit erreichen die bags eine theoretische Oberfläche von 379,75 cm². Das blinde Dreieck wird anschließen mit einer Öse versehen, um die Säckchen während der Inkubation, am Metallring fixieren zu können (Abb. 9).

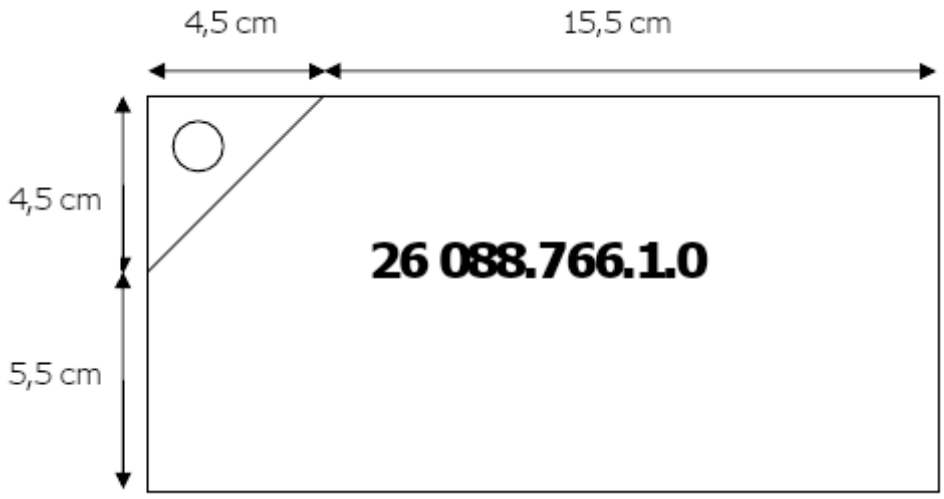

Abbildung 9: Beispiel eines Nylonbags

In diesem Versuch wurden neue und ein bis zweimal gebrauchte bags verwendet. Für die Inkubationsstufen eins bis sechs sind hauptsächlich zweimal gebrauchte bags verwendet worden. Um dem Risiko einer Mehrarbeit entgegenzuwirken, welche durch die Beschädigung der Säckchen während der Inkubation entstehen kann, wurden für die Zeitstufen sieben und acht nur neue oder einmal benutzte bags verwendet. Um die Säckchen wiederverwenden zu können wurden diese von links

bei 40 ℃ gewaschen und anschließend geschleudert. Danach erfolgte die Trocknung in einem Trockenschrank bei 100℃ für min destens 24 Stunden.

Um eine eindeutige Identifizierung der Säckchen sicherzustellen sind diese mit einem Permanentmarker der Firma EDDING beschriftet worden. Die Kennzeichnung erfolgte durch eine fortlaufende Nummer, den Futtermittelcode, die Nummer der Ochsen und der Inkubationsstufe (Abb. 9). Danach wurden die Säckchen in einem Wärmeschrank bei 100 ℃ für mindestens zwei Stunden aufbewahrt, um die Beschriftung zu fixieren. Nach der Entnahme aus dem Trockenschrank wurden die Säckchen in einem Exsikkator zwischengelagert und danach das Leergewicht dieser ermittelt.

Die Einwaage der Futtermittelproben erfolgte direkt in die Säckchen, um Umfüllverluste zu vermeiden. Die Einwaagemenge ergibt sich aus der benötigten Restmenge für nachfolgende chemische Analysen und der limitierten Menge an Probematerial (Tab. 4).

Verwendet man zur Berechnung der Einwaage in mg/cm² und die theoretische Oberfläche von 379,75 cm² so ergeben sich die in Tabelle 4 angeführten Verhältnisse.

Tabelle 4: Übersicht der Inkubationsstufen und der Einwaage

Stunden	**Zeitstufe**	**Einwaage soll (+/- 0,05 g)**	**Einwaage mg/cm²**
0	0	5,7 g	15,0
3	1	5,7 g	15,0
6	2	5,7 g	15,0
10	3	5,7 g	15,0
14	4	5,7 g	15,0
24	5	5,7 g	15,0
48	6	12 g	31,6
72	7	18 g	47,4
96	8	24 g	63,2

Für die Zeitstufen sieben und acht wurden je zwei bags pro Futtermittel und Ochse vorbereitet, um sicherzugehen, dass nach der Inkubation genügend Rest vorhanden ist. Anschließend wurden die Nylonbags verschweißt, auf eine Holzvorrichtung gehängt und dem Zeitplan entsprechend inkubiert.

3.2.3 Ringe und Schnur

Die Säckchen wurden mit Kabelbindern an einem Metallgewicht (0,5 kg) befestigt, um eine Platzierung dieser im Chymus des Pansens zu gewährleisten. Die Schnur welche am Metallring und an dem Verschluss der Öffnung befestigt wurde hatte eine Länge von circa 50 cm. Dies ist wichtig, da durch die ruminalen Kontraktionen Pansenflüssigkeit in die Proben gelangt und somit ein möglichst natürliches Pansenmilieu innerhalb der bags geschaffen wird.

3.2.4 Fistulierte Tiere

Es wurde mit vier fistulierten Ochsen der Rasse Braunvieh gearbeitet. Die Tiere wiesen ein durchschnittliches Alter von zehn Jahren und ein durchschnittliches Gewicht von 950 kg auf. Die Haltung der Tiere erfolgte paarweise in zwei getrennten und gegenüberliegenden Laufstallboxen mit Auslauf. Um eine eindeutige Identifizierung der Ochsen sicherzustellen wurden mit Lackspray Nummern auf die Tiere von eins bis vier aufgetragen. Um eine tierbezogene Variation in Bezug auf den TM-Abbau zu vermeiden, wurden die Inkubationen der einzelnen Zeitstufen stets gleichzeitig durchgeführt. Zudem erfolgten die Inkubationen immer in derselben tierbezogenen Reihenfolge.

Die Tiere wurden auf Erhaltungsbedarf gefüttert. Sie erhielten die tägliche Ration aufgeteilt auf vier Mahlzeiten.

3.2.5 Inkubation

Bei der Inkubation der bags wurde darauf geachtet, dass sich während der Untersuchungen nicht mehr als 30 Säckchen je Ochse im Pansen befanden.

Vorbereitung

Alle Proben wurden vor der Inkubation im lauwarmen Wasser vorgeweicht um die Einspeichelung der Futterprobe zu simulieren. Zudem ermittelte man die lösliche Fraktion und die Auswaschung von Feinstpartikeln mit einer Nullprobe, welche auch eingeweicht wurden. Die Nullprobe ist nicht inkubiert worden. Die Nachbehandlung erfolgte simultan mit den inkubierten Säckchen. Die ausgewaschenen Feinstpartikel sind jedoch nicht gesondert erfasst worden.

Inkubationszeiten

Es wurden acht Inkubationsstufen festgelegt, um dem Abbau der KS-Silagen zu dokumentieren (Tab. 4).

3.2.6 Nachbehandlung der Proben

Eindämmung des mikrobiellen Abbaus und mechanisches Waschen

Sofort nach der Entnahme sind die inkubierten bags in Eiswasser gelegt worden um den mikrobiellen Abbau einzudämmen. Anschließend wurden die Säckchen in einer Waschmaschine (Modell: Miele NOVOTRONIC W507) mit einem Wollwasch-programm, mit einer Dauer von 45 Minuten und kaltem Wasser gewaschen. Waschmittel wurde nicht verwendet. Die Schleuderfunktion ist unterbunden worden, um die bags nicht zu beschädigen und den Austritt von unabgebautem Material zu vermindern.

Konservierung und Trocknung

Nach dem Waschvorgang wurden die inkubierten Futterproben in einem Tiefkühlraum bei -18° C zwischengelagert, da aus ar beitstechnischen Gründen die Trocknung nur einmal wöchentlich erfolgte.

Vor der Trocknung wurden die Proben für etwa 24 Stunden bei Raumtemperatur aufgetaut und anschließend für 48 Stunden in einem Trockenschrank bei 50° C schonend getrocknet. Dabei wurde darauf geachtet, dass die inkubierten bags stets einzeln auf den Blechen liegen um eine gleichmäßige Trocknung zu gewährleisten. Um eine nachträgliche Adhäsion von Wasser zu vermeiden, erfolgte vor der Rückwaage eine nochmalige Zwischenlagerung in einem Exsikkator.

Rückwaage

Die Gewichtsbestimmung des Restes wurde mitsamt den Säckchen durchgeführt, um Verluste von Futtermittelresiduen zu vermeiden. Die Berechnung der Menge an nicht abgebautem Material erfolgte anschließend durch Subtraktion des bag-Leergewichtes, welches bei der Einwaage notiert wurde.

Bestimmung der Trockenmasse

Trockenmassebestimmungen wurden vor und nach der Inkubation wie folgt durchgeführt:

Im Zuge der Probenvorbereitung wurden 5 g des Probematerials in eine Aluminiumschale gefüllt, deren Leergewicht ermittelt wurde und bei 100° C für mindestens 24 Stunden in einem Trockenschrank getrocknet.

Für die Bestimmung der Trockenmasse der Residuen sind eigens befüllte Säckchen mit 5,7 g des Probematerials für 24 Stunden inkubiert worden. Die Nachbehandlung erfolgte gemeinsam mit den anderen bags. Nach der Entnahme aus dem Exsikkator wurden die Säckchen samt Inhalt gewogen und anschließend in einem Trockenschrank für 24 Stunden bei 100° C getrocknet und an schließend rückgewogen. Aus der Gewichtsdifferenz wurde die Trockenmasse der Futtermittelreste bestimmt.

3.2.7 Statistische Auswertung

Die zur Beschreibung der Abbaukinetik erforderlichen Parameter a, b und c wurden mit dem Modell nach ØRSKOV und MCDONALD (1979) ermittelt. Die Berechnung der effektiven Verdaulichkeit der Futtermittel erfolgte mit dem Modell von MCDONALD (1981), modifiziert nach SÜDEKUM (2005). Alle Werte wurden mit dem

Statistik-Paket STATGRAPHICS Centurion XVI mit der Prozedur „Nonlinear Regression – Methode Marquardt“ ermittelt.

3.3 Die maissortenabhängige Futteraufnahme bei Milchkühen

3.3.1 Die Milchkühe

Die Tiere wurden in Abhängigkeit der verfügbaren Versuchstiere und der Anzahl der Laktationen gewählt (Tab. 5). Zudem sind die Durchschnittswerte des letzten Produktionsniveaus und der Laktationstag am Beginn des Experiments ermittelt worden. Auch das Freisein der Tiere von Krankheiten und Parasiten war eine Grundlage für die Wahl der Tiere. Der Rasseneffekt wurde ebenfalls berücksichtigt.

Tabelle 5: Charakterisierung der Versuchstiere

TIER	RASSE	LAKTATIONSZAHL	LAKTATIONSTAGE	
			21.01.2008	13.04.2008
Osaka	HF × FV	4	124	207
Norhild	FV	1	49	132
Hofmeister	FV	2	94	-
Umbria	FV	1	92	175
Grace	BS	6		
Gregoria	BS	5	122	205
Nanna	HF × BS	1	63	146
Berta	FV	5	121	204
Barbie	BS	4	108	191
Enns	HF	1	91	174

Die Verfütterung erfolgte anhand eines lateinischen Quadrates (Tab. 6). Jede der neun Kühe erhielt in den jeweiligen Perioden aus den entsprechenden Reifegruppen jeweils nur eine Sorte. Diese Limitierung ergab sich aus Kapazitäts- und

Zeitgründen. Die Tiere wurden in drei Gruppen zu je drei Kühen eingeteilt. Innerhalb der drei Gruppen sind alle Sorten der drei Reifegruppen getestet worden.

Tabelle 6: Das experimentelle Design

AUFTEILUNG KÜHE	Osaka Norhild Hofmeister/ Umbria	Grace Gregoria Nanna	Barbie Enns Berta
Periode 1	RG I	RG III	RG II
Periode 2	RG II	RG I	RG III
Periode 3	RG III	RG II	RG I

RG I = Reifegruppe 1 mit den Sorten Nuestro, NK-Falkone und Beatle
RG II = Reifegruppe 2 mit den Sorten Roberto, PR39T45 und Ronaldinio
RG III = Reifegruppe 3 mit den Sorten DK 315, PR39F58 und Friedrixx

Um zu gewährleisten, dass die nachfolgenden Ergebnisse nicht durch das vorige Fütterungsregime beeinflusst werden, wurde eine siebentägige Vorbereitungszeit, vom 14. bis zum 20. Jänner 2008, durchgeführt. In dieser Zeit sollten sich die Tiere und auch die mikrobielle Population in den Vormägen auf die neue Ration einstellen.

Das Experiment wurde in drei Perioden mit einer jeweiligen Dauer von 4 Wochen, in der Zeit vom 21. Jänner bis zum 13. April 2008 durchgeführt. Dies ergibt somit eine Gesamtdauer des Experimentes von 84 Tagen.

Zehn Tage nach dem Beginn des Experimentes wurde die Kuh Hofmeister krankheitsbedingt aus dem Versuch ausgeschlossen. In der dritten Woche der ersten Periode wurde Hofmeister durch Umbria ersetzt. Auch Umbria durchlief eine Vorperiode zur Gewöhnung an das neue Fütterungsregime. Dadurch sind an dieser Stelle bis zum 10. Februar 2008 keine Daten verfügbar.

3.3.2 Tierhaltungsform

Die Haltung der Tiere erfolgte für die Zeit des Versuchs in einem klimatisierten Anbindestall um die Messbarkeit der Futteraufnahme zu gewährleisten. Zusätzlich wurden die Fressplätze mit Holzplatten abgetrennt. Somit konnte sichergestellt werden, dass die Kühe wirklich nur ihre eigene Ration fressen.

3.3.3 Das Fütterungsregime

Die Ration wurde für jede Kuh und jede Periode eigens kalkuliert und morgens um 4:30 und abends um 16:30 verfüttert. Die vorgelegte Ration auf Trockenmasse-Basis sah folgendermaßen aus:

75 % Maissilage

8,5 % Heu

16,5 % Sojaextraktionsschrot 44

Die Ration sollte sowohl den Erhaltungs- als auch Leistungsbedarf jedes Tieres abdecken. Die Deckung des Salz-, Mineralstoff- und Vitaminbedarfs erfolgte mittels Viehsalz und einer Mineral/Wirkstoffmischung. Durch die Strukturwirksamkeit des Heus wird die Homöostase im Pansen sichergestellt. Aus praktischen Gründen erfolgte die Zusammenstellung der Ration täglich. Kraftfutter ist nur nach Bedarf verfüttert worden.

Die Rationsanteile der einzelnen Futtermittel sind in Behälter, eigens für jede Kuh, eingewogen worden. Das Heu wurde immer am Beginn der Fütterung vorgelegt, um sicherzustellen dass die Tiere das gesamte Heu fressen. Eine ähnliche Vorgangsweise erfolgte auch bei der Vorlage des Sojaextraktionsschrotes, des Salzes und der Mineral/Wirkstoffmischung. Diese wurden mit einem Teil der Maissilage

gemischt und ebenfalls zu Beginn der Maissilagefütterung vorgelegt. Anschließend erfolgte die Vorlage der restlichen Ganzpflanzenmaissilage.

Die Futterreste wurden gesammelt und rückgewogen. Die Trockenmasse der Maissilage wurde täglich ermittelt (Ein- und Rückwaage). Die Trockenmassen der restlichen Futtermittel sind in jeder Periode einmalig anhand einer Sammelprobe bestimmt worden. Die Futteraufnahme ist direkt und elektronisch gespeichert worden und zusätzlich erfolgte die Transkription auf Papier um Fehler zu vermeiden.

3.3.4 Datenaufnahme

Die Milchmenge wurde bei jeder Melkung (6:00 und 16:00 Uhr) ermittelt. Die Erfassung der Milchinhaltsstoffe erfolgte ebenfalls täglich. Die gezogenen Proben wurden im Milchprüflabor St. Michael (Steiermark) analysiert.

3.3.5 Statistische Auswertung

Die vorliegenden Daten behandeln das Erntejahr 2007, welches das erste projektbezogene Versuchsjahr darstellt. Aus diesem Grund unterliegt die Auswertung mittels des statistischen Modells keiner Wiederholung.

Die statistische Analyse wurde mit Hilfe des Statistikprogramms SAS (Version 9.1.3, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) durchgeführt. Die Effekte der Periode, der Reifegruppe und der Tiere wurden mit dem unten angeführten Modell (Abb. 10) Modell berücksichtigt.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k(\beta_j) + \varepsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = Beobachtungswert der abhängigen Variable

μ = gemeinsame Konstante für alle Y_{ijk}

α_i = fixer Effekt der Reifegruppe i (i = I, II, III)

β_j = fixer Effekt der Fütterungsperiode j (j = 1 – 3)

$\gamma_k(\beta_j)$= Zufallskomponente des Tieres k in Fütterungsperiode j

ε_{ijk} = Resteffekt

Abbildung 10: Statistisches Modell und Parameter

Ein paarweiser Mittelwertvergleich erfolgte mit dem Tukey-Kramer-Verfahren. Als Signifikanzniveau wurde bei der Berechnung eine Irrtumswahrscheinlichkeit von maximal 5 % ($p<0,05$) festgelegt.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Der ruminale TM-Abbau von Kolbenschrot-Silage

Die Veränderungen des ruminalen Abbauverhaltens von KS-Silagen werden in der vorliegenden Arbeit anhand zweier Reifezeitpunkte für neun Maissorten dargestellt. Aufgrund des unterschiedlichen Abreifeverhaltens verschiedener Sorten, der daraus resultierenden (Nährstoff-)Zusammensetzung der Pflanze und deren Auswirkungen auf Verdaulichkeiten und Abbaucharakteristika können Reifestadium und Sorteneinfluss nicht immer klar getrennt werden. Deshalb sollen diese Gesichtspunkte gemeinsam diskutiert werden (ETTLE 2001). Nach KURTZ (2006) hat der Erntezeitpunkt den größten Einfluss auf die Gesamtverdaulichkeit von Mais im Allgemeinen. Im Speziellen wirkt sich der Reifezustand der Körner maßgeblich auf die TM-Abbaubarkeit und damit auch auf den Stärkeabbau im Pansen aus. Bisher wurden nur wenige Versuche mit KS-Silagen bei Rindern durchgeführt. Forschungsarbeiten beziehen sich vor allem auf den ruminalen Abbau und die Verdaulichkeit von silierten oder unsilierten Maiskörnern. Durch den Spindelanteil in der KS-Silage sind die Werte des ruminalen Abbaus in der vorliegenden Arbeit niedriger als jene für Maiskörner.

4.1.1 Charakterisierung des Versuchsmaterials

In den Tabellen 7, 8 und 9 sind die Daten des Versuchsmaterials angeführt. Der Einfluss des Erntezeitpunktes auf die Maispflanze ist vorrangig aus den Zunahmen der Kolbentrockenmasse und der Erhöhung des Kolbenanteils ersichtlich (HAARHOFF 1990, SCHWARZ und ETTLE 2000, ETTLE et al. 2001, AMLER 2003, RESCH 2009). Zwischen den Probenahmen der vorliegenden Ergebnisse erhöht sich der mittlere Kolbenanteil (KA) der Reifegruppen von 47,9 auf 54,5 %. Die Kolbentrockenmasse (KTM) nimmt von 46,7 auf 52,9 % zu (Tab. 7).

Zwischen den Reifegruppen ist ein Gefälle in den Trockenmassegehalten und den Kolbenanteilen ersichtlich (Tab. 7). So gehen aus den Werten der ersten Reifegruppe zum ersten und zum zweiten Reifezeitpunkt die höchsten TM- und

Kolbenanteile hervor, während die dritte Gruppe die niedrigsten Werte aufweist. Auffallend ist jedoch der Anstieg des KA und der KTM in der dritten Reifegruppe um 8 und 7 % innerhalb von zwei Wochen (Tab. 7). JEROCH et al. (1987) konnten ein schnelleres Abreifen von frühreifen Sorten im Gegensatz zu spätreifen Sorten feststellen. Die erste Probenahme der Maishybriden wurde zu einem Zeitpunkt durchgeführt an dem die Entwicklung der früh- bis mittlefrühreifen Kolben schon relativ weit fortgeschritten war. Dies ist auch an den Werten des KA und der KTM in den Reifegruppen erkennbar. Demnach weisen die früh- bis mittelfrühreifende Gruppe I und die mittelfrüh- bis mittelspätreifende Gruppe II geringere Anstiege des KA und der KTM auf als die mittelspät- bis spätreifende Gruppe III, die zum ersten Reifezeitpunkt in der Entwicklung noch weiter zurück lag (Tab. 7).

Die allgemeine Erhöhung der Trockenmasse ist auf die fortschreitende Entwicklung der Pflanzen zurückzuführen. Die Unterschiede in der TM-Entwicklung von Reifezeitpunkt 1 zu Zeitpunkt 2 zwischen den Hybriden und weiterfolgend auch bezüglich der ruminalen Abbaubarkeit sind auf den Sorteneinfluss zurückzuführen (Tab. 8). Die niedrigste KTM zum ersten Erntezeitpunkt zeigt die spätreife Sorte Friedrixx (38,7 %). Diese Sorte zeigt aber auch den höchsten Anstieg der KTM vom ersten zum zweiten Reifezeitpunkt (+12,5 %). Den höchsten KTM-Wert zum ersten Reifezeitpunkt weist die Sorte Nuestro auf (49,7 %). Zum zweiten Erntezeitpunkt sind die Unterschiede in den KTM-Gehalten der einzelnen Hybriden als gering einzustufen. Der Höchstwert ist bei der Sorte PR39T45 mit 56,4 % zu beobachten. Den niedrigsten Wert zeigt die Sorte DK315 mit 49,9 % (Tab. 8). Bei dieser ist auch zwischen den Reifezeitpunkten nur ein geringer Anstieg der KTM ersichtlich (+0,7 %). Dennoch können keine Zusammenhänge bezüglich der KTM in den einzelnen Hybriden und den FAO-Reifezahlen getroffen werden.

Tabelle 7: Kolbenanteil und Kolbentrockenmasse der Reifegruppen zu zwei Reifezeitpunkten

Reifezeitpunkt	Reifegruppe	Kolbenanteil (KA) in %	Trockenmasse Kolben (KTM) in %
1	I	48,8	48,6
	II	48,6	47,5
	III	46,2	44,1
	Mittel	47,9	46,7
2	I	55,2	54,3
	II	53,9	53,6
	III	54,4	50,9
	Mittel	54,5	52,9

Tabelle 8: Erntetermin, Kolbenanteil und Kolbentrockenmasse der untersuchten Maissorten

Sorte	Erntetermin	Reifezeitpunkt	Kolbenanteil (KA) in %	Trockenmasse Kolben (KTM) in %
Nuestro	27.08.2007	1	48,6	49,7
	13.09.2007	2	57,8	53,8
NK-Falkone	27.08.2007	1	48,3	48,6
	13.09.2007	2	57,1	55,7
Beatle	05.09.2007	1	49,5	47,5
	19.09.2007	2	50,5	53,5
Roberto	27.08.2007	1	45,6	44,3
	13.09.2007	2	54,0	51,1
PR39T45	27.08.2007	1	50,1	49,1
	13.09.2007	2	56,0	56,4
Ronaldinio	27.08.2007	1	49,9	49,2
	13.09.2007	2	51,7	53,3
DK315	27.08.2007	1	49,9	49,2
	19.09.2007	2	54,3	49,9
PR39F58	27.08.2007	1	48,6	44,5
	13.09.2007	2	55,8	51,7
Friedrixx	27.08.2007	1	40,0	38,7
	19.09.2007	2	53,2	51,2

In Tabelle 9 sind die analysierten Nährstoffgehalte der silierten Maiskolben angeführt. Betrachtet man die mittleren Anteile der Rohfaser (XF) und der Zellwandbestandteile der Kolben zu den beiden Erntezeitpunkten so ist eine Abnahme dieser ersichtlich. Der Ligninanteil zeigt keine wesentliche Veränderung.

Die Sorten PR39T45 und PR39F58 weisen mit fortschreitender Entwicklung des Kolbens jedoch eine Erhöhung der Gerüstsubstanzen und ein Absinken der stickstofffreien Extraktstoffe (NfE) und der Nichtfaserkohlenhydrate (NFC) auf. Auch der NFC-Anteil der Sorte Nuestro zeigt eine geringfügige Verminderung. Die mittleren NfE- und NFC- Anteile erhöhen sich vom ersten zum zweiten Erntezeitpunkt. Dies trifft auch auf die Reifegruppen und die restlichen Sorten zu.

Erwartungsgemäß sinkt der mittlere Rohproteingehalt (XP) vom ersten zum zweiten Reifezeitpunkt. Die Hybriden Nuestro, DK315 und PR39F58 weisen jedoch keine maßgeblichen Veränderungen auf.

Die Entwicklung des Rohfettes (XL) in den Sorten zeigt kein einheitliches Bild. Während sich die Anteile in den Gruppen und bei den meisten Sorten erwartungsgemäß erhöht, weisen die Sorten DK315 und PR39T45 eine Verminderung des Rohfettanteiles vom ersten zum zweiten Reifezeitpunkt auf.

Das Absinken der Gerüstsubstanzen und des Rohproteins, sowie der Anstieg der stickstofffreien Extraktstoffe und des Rohfettes in den Kolben mit fortschreitender Entwicklung stimmen auch mit zahlreichen Literaturstellen überein (GROß 1970, ZSCHEISCHLER et al. 1974, GROß und PESCHKE 1980, BÖHM et al. 1983, GRUBER et al. 1983, PEX et al. 1996 und SCHWARZ et al. 1996).

Tabelle 9: Nährstoffgehalte der Maiskolben zu zwei Reifezeitpunkten

Reifegruppe	**I**						**II**						**III**						**Mittelwerte**							
Sorte	**Nuestro**		**NK-Falkone**		**Beatle**		**Roberto**		**PR39T45**		**Ronaldinio**		**DK315**		**PR39F58**		**Friedrixx**		**Gruppe I**		**Gruppe II**		**Gruppe III**		**RZP 1**	**RZP 2**
Reifezeit-punkt	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
Nährstoffe (g/kg TM)																										
OS	984	983	980	985	983	985	982	984	981	984	981	983	981	983	983	980	981	983	982	984	981	984	982	982	982	983
XA	16	17	20	15	17	16	18	17	19	16	19	17	19	18	17	20	20	17	18	16	19	16	18	18	18	17
XP	86	86	89	84	89	87	90	86	83	77	89	85	85	86	83	84	94	84	88	86	87	83	87	84	87	84
XL	41	46	44	43	39	42	37	41	47	44	42	42	40	38	38	45	37	39	42	44	42	42	38	41	41	42
XF	79	69	98	56	103	73	94	78	68	94	112	77	97	78	64	73	98	76	94	66	91	83	86	75	90	75
NfE	778	783	749	801	751	783	761	778	783	769	738	780	760	781	797	778	751	785	759	789	761	776	770	782	763	782
NFC	668	660	607	685	608	646	627	663	673	610	557	654	578	658	666	610	601	656	628	664	619	642	615	641	621	649
Zellwandbestandteile (g/kg TM)																										
NDF	189	191	240	173	246	209	228	194	179	253	293	203	279	201	196	241	249	205	225	191	233	217	241	216	233	208
ADF	95	94	112	76	118	97	110	87	83	119	149	91	138	88	85	95	117	93	108	89	114	99	113	92	112	93
ADL	28	26	22	17	32	19	22	0	14	49	0	22	25	15	20	16	22	25	27	21	12	24	22	19	20	21
Mineralstoffe (g/kg TM)																										
Ca	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Mg	1,0	1,1	1,1	0,8	1,1	1,0	1,0	0,9	1,0	0,9	1,1	1,0	1,1	1,1	0,9	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0
P	2,8	2,8	3,1	2,8	2,8	2,7	2,7	2,4	2,9	2,8	2,8	2,5	2,9	2,8	2,7	2,9	2,9	2,9	2,9	2,7	2,8	2,5	2,9	2,9	2,9	2,7
K	7,5	7,6	8,1	7,3	7,9	7,3	7,9	7,2	7,8	7,1	7,9	7,5	8,0	7,8	7,7	8,3	8,4	7,8	7,9	7,4	7,9	7,3	8,0	7,9	7,9	7,5
Na	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Spurenelemente (mg/kg TM)																										
Mn	6,7	7,3	7,2	6,1	8,2	6,8	8,5	6,6	8,3	10,7	8,1	6,7	8,0	6,7	6,4	7,8	7,9	5,9	7,3	6,7	8,3	8,0	7,5	6,8	7,7	7,2
Zn	17,5	18,6	20,9	17,2	19,2	17,3	20,0	17,5	19,0	21,2	19,9	16,8	21,1	17,7	20,9	20,1	22,6	19,5	19,2	17,7	19,6	18,5	21,6	19,1	20,1	18,4
Cu	2,3	2,3	2,8	2,3	2,5	2,3	2,5	1,8	2,4	3,2	3,2	2,9	3,0	2,9	3,1	3,0	2,9	2,7	2,5	2,3	2,7	2,7	3,0	2,9	2,7	2,6

4.1.2 Einfluss des Reifezeitpunktes auf die Parameter des *in situ*-Abbaus

Die Ergebnisse zum Trockenmasseabbau (nach ØRSKOV und MCDONALD 1979), der 18 untersuchten KS-Silagen sind in Tabelle 10 angeführt. Die potentielle Abbaubarkeit liegt beim ersten und zweiten Reifezeitpunkt (RZP 1 und RZP 2) im Mittel bei 89,2 % und 91,3 %. STÖGMÜLLER (2005) stellte für KS-Silage eine höhere potentielle Abbaubarkeit von 97,0 % fest. FLACHOWSKY et al. (1993) ermittelten TM-Abbauwerte für Maiskolben welche in Abhängigkeit der Sorte und des Erntezeitpunktes von 88,5 bis 93,8 % reichten. Es konnte jedoch keine einheitliche Tendenz bezüglich einer entwicklungsbedingten Erhöhung oder Erniedrigung der *in situ*-Abbaubarkeit festgestellt werden.

Die rasch und vollständig lösliche Fraktion a beträgt durchschnittlich 53,3 % (RZP 1) bzw. 52,6 % (RZP 2). STÖGMÜLLER (2005) ermittelte den Anteil der Fraktion a bei KS-Silage mit 64,5 %. TAFERNER (2006) konnte mit zunehmender Ausreife eine signifikante Abnahme der Fraktion a bei Ganzpflanzenmaissilage feststellen. Die Fraktion b zeigte eine signifikante Erhöhung (TAFERNER 2006). Die Fraktion a der KS-Silage in Gruppe II erhöht sich mit zunehmender Entwicklung (+2,8 %) und die Fraktion b zeigt eine geringfügige Verminderung (-0,4 %). PHILIPPEAU und MICHALET-DOREAU (1998) konnten bei silierten Maiskörnern einen mittleren Anteil der Fraktion a von 63,5 % feststellen. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung sind niedriger. Dies ist durch den Spindelanteil in der Silage zu erklären. NOCEK (1987) beobachtete bei getrockneten Maiskolben eine niedrigere potentielle Abbaubarkeit (a+b) im Gegensatz zu getrockneten Maiskörnern (91,5 bzw. 96,9 %). Zudem erwies sich der NDF-Gehalt im Kolben mehr als doppelt so hoch gegenüber Maiskörnern (230 bzw. 103 g/kg TM). Dies ist auch aus den vorliegenden Ergebnissen ersichtlich. Die durchschnittlichen NDF-Anteile betragen im Mittel 233 (RZP 1) bzw. 208 g/kg TM (RZP 2).

Grundsätzlich nimmt mit zunehmender Reife der Kolben der Spindelanteil und somit der Anteil an Gerüstsubstanzen ab und der Körneranteil bzw. die Gehalte an NfE und NFC nehmen zu. Der Spindelanteil, welcher in der Kolbenfrischmasse durchschnittlich 15 % beträgt, kann jedoch sortenspezifische Unterschiede mit +/- 5 %

aufweisen (KURTZ 2006). Zudem muss der Anteil an Partikelverlusten berücksichtigt werden. PHILIPPEAU et al. (1999) konnten diese bei Körnern des Typs Zahn- und Hartmais mit 14,2 bzw. 7,7 %, gemessen an der zu inkubierenden Trockenmasse, quantifizieren. Die Sieblochgröße bei der Vermahlung betrug 3 mm und die Porengröße der bags wurde mit 53 µm angegeben. Da in der vorliegenden Studie eine geringere Sieblochgröße (2 mm) und bags mit eine Porengröße von 50 µm zum Einsatz kamen, wird davon ausgegangen, dass die Werte für KS-Silagen in etwa vergleichbar sind. Im Mittel steigt Fraktion b zwischen RZP 1 und RZP 2 von 35,8 auf 38,9 %. Auch die durchschnittliche Abbaurate c steigt mit den Reifezeitpunkten an (0,129 bzw. 0,151 h^{-1}). STÖGMÜLLER (2005) konnte eine etwas niedrigere Fraktion b (32,5 %) und eine Abbaurate von 0,130 h^{-1} feststellen.

Im Gegensatz zur Reifegruppe II ist bei Gruppe I und III mit zunehmender Reife eine Verminderung der Fraktion a nachweisbar (-2,1 bzw. -2,9 %). Bei Fraktion b ist in den Gruppen I und III ein gegenläufiges Muster erkennbar (+4,6 bzw. +5,2 %). Dies stimmt auch mit den Ergebnissen von AKBAR et al. (2002) überein, die ihre *in situ*-Versuche jedoch an Schafen durchführten. Mit zunehmender Kolbenentwicklung verringerte sich Fraktion a und Fraktion b erhöhte sich (AKBAR et al. 2002). Dies ist auf den fortgeschrittenen Reifestatus zurückzuführen. Die mittlere Abbaurate c erhöht sich in den Reifegruppen II und III vom ersten zu zweiten Reifezeitpunkt. Eine Verminderung der Abbaugeschwindigkeit ist in der Reifegruppe I zu beobachten (Tab. 10). Dies ist lediglich auf die Sorte Beatle zurückzuführen (Abb. 14).

ETTLE et al. (2001) und AKBAR et al. (2002) stellten ein einheitliches Absinken der Fraktion a mit zunehmender Reife bei silierten Maiskörnern und Maiskolben fest. Mit dem Anstieg des TM- bzw. Stärkegehaltes im Korn bei zunehmender Reife des Kolbens ist offensichtlich auch eine Verfestigung der Endospermstruktur (Vitreousness) verbunden (SCHNEIDER et al. 1994, PHILIPPEAU und MICHALET-DOREAU 1998, PHILIPPEAU et al. 1999, PEREIRA et al. 2004). Dies resultiert in der Verminderung der Fraktion a und der Erhöhung der Fraktion b. Folglich vermindert sich auch die Abbaurate im Pansen mit fortgeschrittener Reife, da die ruminalen Symbionten mehr Zeit benötigen um die Partikel abzubauen. Die Anteile an stickstofffreien Extraktstoffen (NfE) und Nichtfasterkohlenhydraten (NFC) erhöhen sich in allen Gruppen und alle Reifegruppen weisen eine Verminderung der

Gerüstsubstanzen (XF, NDF, ADF und ADL) auf (Tab. 9). Da sich in Gruppe II Fraktion a erhöht und Fraktion b sinkt, kann geschlossen werden, dass das Endosperm der Maiskörner dieser Gruppe nur geringe Verhärtungen aufweist.

Betrachtet man die Reifegruppen zum zweiten Reifezeitpunkt, so ist eine dem Reifeverlauf der Gruppen entsprechende Aufteilung der Fraktionen a und b sowie der Abbaurate c erkennbar. Demnach zeigt die erste Reifegruppe die niedrigsten Anteile der Fraktion a und die höchsten bei Fraktion b. Ein umgekehrtes Bild ist in der spätreifen Gruppe erkennbar (Tab. 10).

Die vorliegenden Ergebnisse der *in situ*-Parameter für die einzelnen Hybriden sind jedoch sehr heterogen. Beim Sortenvergleich in Abhängigkeit der Reifezeitpunke kann kein einheitlicher Trend hinsichtlich des Abreifeverhaltens festgestellt werden (Tab. 10).

Tabelle 10: Kennzahlen des *in situ*-Trockenmasseabbaus von KS-Silage

Reifezeit-punkt	Sorte	a	b	c	(a+b)	lag-Phase (h)	ED2	ED5	ED8
Reifegruppe I									
1	**Nuestro**	50,3	37,3	0,114	87,5	0,00	82,0	76,1	72,1
2		51,8	38,6	0,178	90,4	1,30	85,6	80,0	75,8
1	**NK-Falkone**	49,1	41,9	0,102	91,0	0,00	84,1	77,2	72,6
2		51,8	39,6	0,119	91,4	0,85	85,2	78,6	74,0
1	**Beatle**	54,9	33,2	0,182	88,2	2,59	83,4	77,8	73,7
2		**44,4**	48,1	0,076	92,4	0,00	82,4	73,4	67,8
Reifegruppe II									
1	**Roberto**	43,4	47,5	0,099	90,9	0,00	82,9	75,0	69,7
2		44,2	47,1	0,199	91,2	2,16	85,1	78,0	72,4
1	**PR39T45**	55,2	33,0	0,124	88,3	1,36	82,9	77,2	73,2
2		57,1	34,1	0,120	91,2	2,53	84,8	78,2	73,7
1	**Ronaldinio**	49,9	37,5	0,091	87,4	0,68	80,2	73,3	68,8
2		55,7	35,6	0,143	91,3	0,70	86,5	81,1	77,3
Reifegruppe III									
1	**DK315**	55,9	32,6	0,110	88,5	1,69	82,6	76,5	72,4
2		61,4	30,5	0,228	91,9	3,56	87,5	82,3	78,4
1	**PR39F58**	56,7	35,6	0,149	92,3	1,58	87,1	81,3	77,1
2		51,5	40,5	0,096	92,0	0,00	85,0	78,1	73,6
1	**Friedrixx**	64,6	23,6	0,193	88,2	4,23	84,3	79,8	76,5
2		55,7	34,5	0,200	90,3	3,07	85,2	79,4	75,0
Mittel									
1	**Gruppe I**	51,4	37,5	0,133	88,9	0,86	83,1	77,1	72,8
2		49,3	42,1	0,124	91,4	0,72	84,4	77,3	72,5
1	**Gruppe II**	49,5	39,3	0,105	88,9	0,68	82,0	75,2	70,6
2		52,3	38,9	0,154	91,2	1,80	85,5	79,1	74,5
1	**Gruppe III**	59,1	30,6	0,150	89,7	2,50	84,6	79,2	75,3
2		56,2	35,8	0,175	91,4	2,21	85,9	80,0	75,7
Reifezeitpunkt 1		53,3	35,8	0,129	89,2	1,35	83,2	77,2	72,9
Reifezeitpunkt 2		52,6	38,9	0,151	91,3	1,58	85,3	78,8	74,2

a = löslich und vollständig abbaubare Fraktion (%)
b = unlösliche, aber potentiell abbaubare Fraktion (%)
c = Konstante der Abbaurate der Fraktion b h^{-1}
(a+b) = potentielle Abbaubarkeit des Futtermittels (%)
lag = lag-Phase (h), verzögerter Beginn der mikrobiellen Aktivität
ED = effektive Abbaubarkeit (%) bei einer Passagerate des Futters von 0.02, 0.05 und 0.08

Bei den Sorten Beatle, PR39F58 und Friedrixx ist ein Rückgang der Fraktion a mit zunehmender Kolbenentwicklung um 10.2, 5.3 und 8.9 % festgestellt worden (Abb. 11). Im Falle der Hybriden Beatle und Friedrixx kann nach SCHNEIDER et al. (1994) von einer Verhärtung der Kornstruktur ausgegangen werden, da sich die Gerüstsubstanzen vermindern und die Anteile an NfE und NFC eine Erhöhung mit zunehmender Kolbenentwicklung aufweisen (Tab. 10). Das Absinken der Fraktion a begründet sich bei der Sorte PR39F58 aus dem Anstieg der Gerüstsubstanzen und dem Absinken der NfE- und NFC-Anteile (Tab. 10). Alle anderen Hybriden weisen einen Anstieg der Fraktion a auf. Auffallend ist jedoch, dass bezüglich der Sorte PR39T45 ein Anstieg der Gerüstsubstanzen und ein Absinken der NfE- und NFC-Anteile mit zunehmender Kolbenentwicklung zu verzeichnen ist. Die restlichen Sorten weisen eine Verminderung oder geringfügige Veränderung der Gerüst-substanzen auf. Die Anteile der Fraktion a steigen bei den Sorten Nuestro und NK-Falkone um +1,5 % bzw. +2,7 %. Die Sorten der zweiten Reifegruppe zeigen einheitlich einen Anstieg der Fraktion a. Während dieser bei Roberto und PR39T45 mit nur +0,8 und +1,8 % zu verzeichnen ist, weist die Sorte Ronaldinio einen Anstieg um +5,8 % auf. Die Erhöhung der Fraktion a bei der spätreifen Sorte DK315 ist mit +5,5 % zu beziffern (Abb. 11). Nach GROß (1986) geht die Stärkeeinlagerung bei einem Kolbentrockenmassegehalt von 50 % allmählich zu Ende. Die Erhöhungen der Fraktion a weisen jedoch auf die noch stattfindende Stärkeeinlagerung hin. Dies wird durch die NfE und NFC-Gehalte größtenteils bestätigt (Tab. 10).

In der Mehrheit trifft die gegenläufige Entwicklung der Fraktion b zur Fraktion a auch auf die einzelnen Sorten zu. Nur Nuestro und PR39T45 zeigen wie auch in der Fraktion a, eine geringfügige Erhöhung der Fraktion b (+1,3 und +1,1 %). Die Sorte Beatle weist einen Anstieg der Fraktion b um +14,8 % auf. Geringfügige Veränderungen sind in der Gruppe II bei den Sorten Roberto und Ronaldinio zu erkennen (-0,4 und -2,0 %). Die Sorte PR39F58 zeigt wiederum eine Erhöhung der Fraktion b um +5,0 %. Ebenso Friedrixx um sogar +10,9 % (Abb. 12). Der Anstieg der Fraktion b in den Sorten PR39T45 und PR39F58 ist auf die Zunahme der Gerüstsubstanzen mit zunehmender Kolbenentwicklung zurückzuführen (Tab. 11).

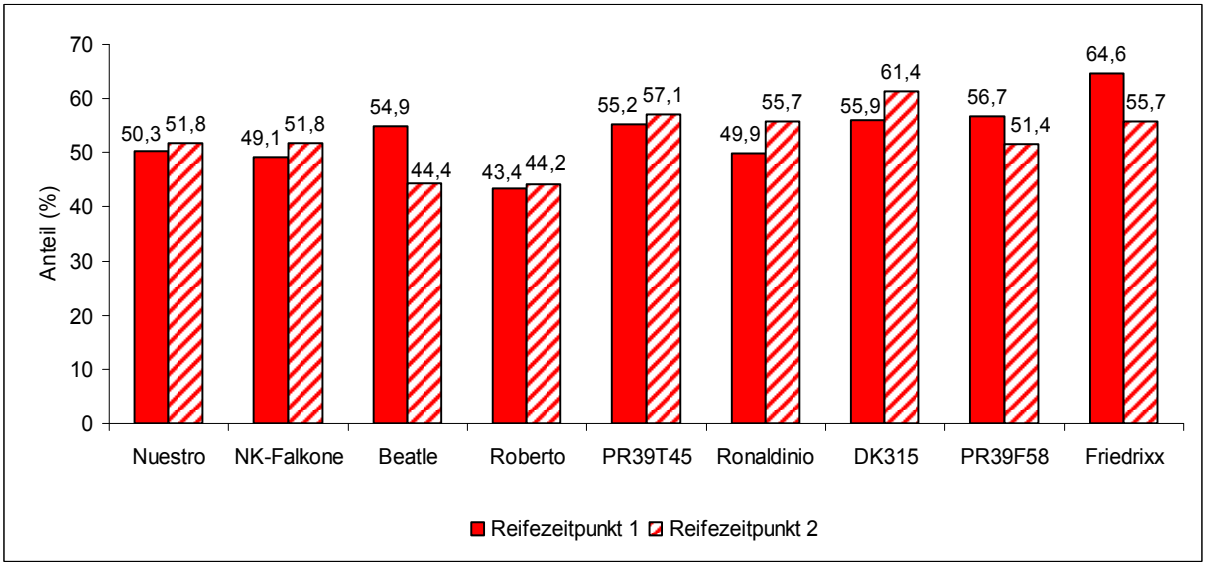

Abbildung 11: Anteile der Fraktion a zu zwei Reifezeitpunkten

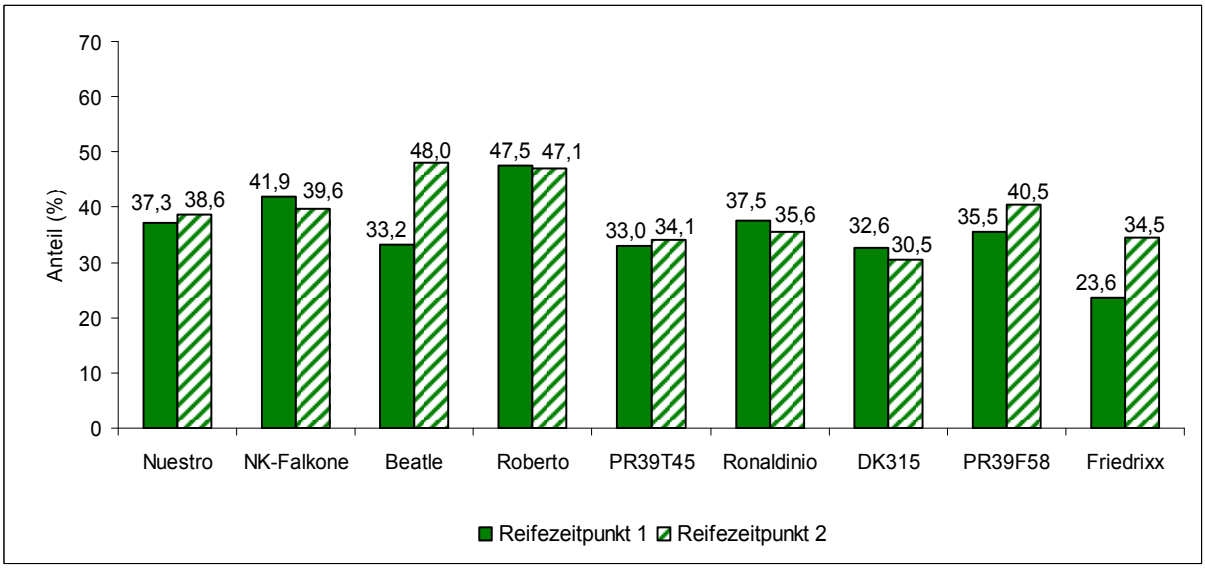

Abbildung 12: Anteile der Fraktion b zu zwei Reifezeitpunkten

Im Sortenvergleich weisen nur die Sorten Beatle (Gruppe I), PR39T45 (Gruppe II) und PR39F58 (Gruppe III) eine Verminderung der Abbaurate c mit zunehmender Entwicklung auf (Tab. 10). Die sehr geringfügige Verminderung der Abbaurate bei der Sorte PR39T45 und der hohe Rückgang der Abbaurate bei PR39F58 sind auf Erhöhungen der Gerüstsubstanzen zurückzuführen (Abb. 13, Tab. 10). Besonders auffallend ist die Veränderung bei der Sorte Beatle, deren Abbaurate von 0,182 auf

0,076 h^{-1} sinkt. Dies ist auf eine starke Verhärtung des Endosperms zurückzuführen, da die Anteile an NfE und NFC steigen und die Anteile an Gerüstsubstanzen mit zunehmender Reife jedoch sinken (Tab. 10). Alle weiteren Sorten zeigen eine Erhöhung der Abbaugeschwindigkeit und der NfE- und NFC-Anteile. Der Anstieg der Abbaurrate ist besonders hoch bei den Hybriden Nuestro (Gruppe I), Roberto (Gruppe II) und DK315 (Gruppe III). Die Abbauraten steigen bei der Sorte Nuestro von 0,113 auf 0,178 h^{-1}, bei der Sorte Roberto von 0,099 auf 0,199 h^{-1} und bei der Sorte DK315 von 0,110 auf 0,228 h^{-1} (Abb. 13) Da die Erhöhung der NfE und der NFC im Sortenvergleich der vorliegenden Ergebnisse im Mittelfeld liegen, könnten die starken Zunahmen der Abbaurate auf die Stärkezusammensetzung (relative Anteile Amylose und Amylopektin) zurückzuführen sein (CONE 1991, HUNTINGTON 1997). Um diese Annahme bestätigen zu können, sind jedoch weitere Analysen von Nöten, die den Umfang dieser Diplomarbeit überschreiten. Generell sind die Zunahmen der Abbauraten jedoch auf Erhöhungen der Anteile an NfE und NFC zurückzuführen (Tab. 9). Die Erhöhungen der Abbauraten zum zweiten Reifezeitpunkt stehen auch in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von AKBAR et al. (2002) da der Spindelanteil abnimmt und folgend der Kornanteil steigt (Abb. 13).

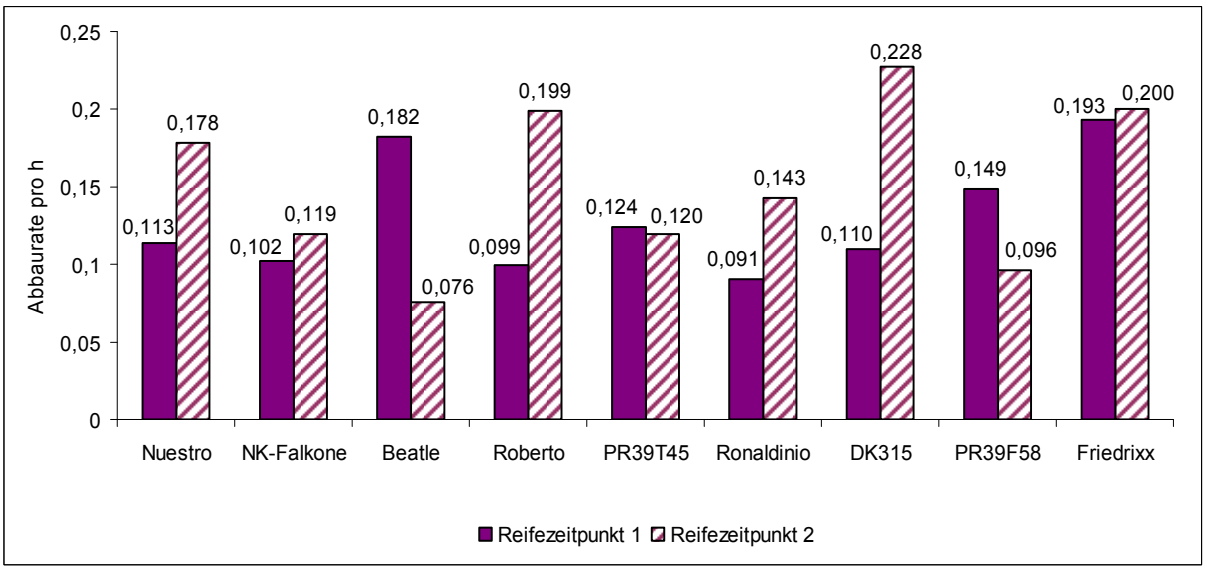

Abbildung 13: Abbauraten (c) zu zwei Reifezeitpunkten

Daraus ist ersichtlich, dass mit zunehmender Reife die potentielle Abbaubarkeit (a+b) in allen Reifegruppen und nahezu allen Sorte geringfügig ansteigt. Die Erhöhung dieser Komponente reicht von +0,4 % bei der Sorte Roberto bis +4,3 % bei der Sorte Beatle. Demnach ist erkennbar, dass zwischen den Reifegruppen und den einzelnen Sorten mit zunehmender Reife vor allem eine Verschiebung der Parameter a und b stattfindet. Einzig die spätreife Sorte PR39F58 zeigt eine vernachlässigbar geringere potentielle Abbaubarkeit zum zweiten Erntetermin (-0,3 %). AKBAR et al. (2002) konnten ebenfalls bei manchen Sorten eine Verminderung der potentiellen Abbaubarkeit mit steigender Trockenmasse des Kolbens feststellen. Dies bedeutet, dass die Erhöhung der Trockenmasse nicht zwangsläufig Erhöhungen im ruminalen Abbau mit sich bringen.

4.1.3 Ruminale TM-Abbaukurven in Abhängigkeit der Reifezeitpunkte

KS-Silagen zeichnen sich durch einen hohen Anteil an Stärke bzw. NfE und NFC aus, welcher durch den Kornanteil begründet ist (CERNEAU und MICHALET-DOREAU 1990, MATTHÉ et al. 1999, SCHWARZ und ETTLE 2000, ETTLE et al. 2001, AKBAR et al. 2002). Demnach weisen die Abbaukurven einen steilen Anstieg in den ersten Stunden der Inkubation auf, da der Großteil der fermentierbaren Fraktion rasch abgebaut wird (Abb. 14). Nach 24 Stunden geht diese fast einheitlich bei allen Reifegruppen und Sorten in ein Plateau über. Die *in situ*-Abbaubarkeit von gemahlenen Kolbenprodukten ist stark von der Stärkeabbaubarkeit abhängig (AKBAR et al. 2002). Die Stärkeabbaubarkeit erwies sich in der Arbeit von PHILIPPEAU und MICHALET-DOREAU (1997) im Hartmais als geringer (40,1 %) als jene im Zahnmais (61,3 %). Bezüglich der vorliegenden Ergebnisse weist die mittelspät bis spätreife Gruppe daher keine verminderte potentielle Abbaubarkeit, gegenüber den früher reifenden Gruppen, auf. Zudem wird die hohe Stärkeabbaubarkeit der Zahnmaishybriden durch niedrige pH-Werte im Pansen bestätigt (pH = 5,57 – 5,80). Diese wurden im Zuge des Projektes am LFZ-Raumberg-Gumpenstein, anhand Ganzpflanzensilagen, ermittelt (GASTEINER 2008). Die Reifegruppen I und II zeichnen sich durch höhere ruminale pH-Werte und somit durch eine niedrigere Stärkeabbaubarkeit aus (pH = 5,93 – 6,44).

Vor allem die ersten 12 Stunden der Inkubation sind von Interesse, weil in diesem Zeitraum nach der Fütterung der größte Teil des stärkehaltigen Futtermittels im Pansen fermentiert wird (SCHNEIDER et al. 1994). Aus den vorliegenden Messwerten ist ersichtlich, dass in den ersten 6 Stunden der Inkubation der höchste TM-Abbau der Fraktion b stattfindet (Tab. 11 und 12). Die Werte betragen zwischen 12,5 % bei der Sorte PR39T45 (RZP 1) und 30,2 % bei der Sorte Beatle (RZP 2). Danach kann man bei allen Sorten TM-Abbaubarkeiten von < 10 % zwischen den Inkubationsstufen feststellen (Tab. 14).

Mit zunehmender Reife ist eine Erhöhung der Trockenmasse in allen Sorten erkennbar (Tab. 8). Trotz abnehmender Spindelanteile im Kolben liegt zum zweiten Erntezeitpunkt meist ein zeitlich verzögerter ruminaler Abbau der Fraktion b vor. Dies ist aus den Messwerten der Zeitstufen 0 und 3 ersichtlich (Tab. 11). Nach SCHNEIDER et al. (1994) benötigen die Pansenmikroben mit zunehmender Kornabreife mehr Zeit um die gemahlenen Partikel abzubauen. Der grundsätzliche Zusammenhang zwischen der ruminalen Abbaubarkeit der Körnertrockenmasse bzw. der Stärkeabbaubarkeit von Maiskörnern und dem mit dem Erntezeitpunkt verbundenen Reifegrad der Kolben besteht darin, dass mit zunehmender Reife die TM- und die Stärkeabbaubarkeit im Pansen sinkt. Das Absinken der Stärkeabbaubarkeit mit fortschreitendem Reifegrad ist eng gekoppelt mit einer Zunahme der Gläsrigkeit des Endosperms (PHILIPPEAU und MICHALET-DOREAU 1998).

Zu RZP 2 ist der ruminale Abbau bei längeren Inkubationszeiten erhöht (Tab. 11 und 12). Eine Ausnahme stellt die Sorte PR39F58 dar, deren Abbau bei sechs Stunden zu RZP 2 geringer ist, da der NDF- und XF-Anteil in der Silage mit zunehmender Ausreife ansteigt und die NfE- und NFC-Anteile sinken (Tab. 9 und 12). Die Ursache für den höheren TM-Abbau bei 96 h zu RZP 2 der restlichen Hybriden ist die fortgeschrittene Entwicklung des Maiskolbens. Durch die Erhöhung der TM ist auch die Stärkeeinlagerung weiter fortgeschritten und der Spindelanteil und folgend der Gerüstsubstanzenanteil der KS-Silage nehmen ab. Jedoch dürfte die Maiskornstruktur insofern eine vermehrte Gläsrigkeit aufweisen, als dass sich der maximale Abbau erst nach 6 Stunden einstellt. Im Gegensatz dazu zeigen die Sorten zu RZP 1 die höchsten Abbaubarkeiten bereits nach 3 Stunden (Tab. 12).

Tabelle 11: Gemittelte Messwerte des ruminalen Abbaus (%) der Reifegruppen zu zwei Reifezeitpunkten (RZP 1 und 2) im Inkubationsverlauf

Inkubationszeit (h)	Reifegruppe						Mittel	
	I		II		III			
	RZP1	*RZP2*	*RZP1*	*RZP2*	*RZP1*	*RZP2*	*RZP1*	*RZP2*
0	51,4	49,3	49,5	52,3	59,1	56,2	53,3	52,6
3	60,6	61,0	60,3	57,6	59,3	58,1	60,1	58,9
6	73,0	74,0	70,5	73,2	73,5	74,5	72,3	73,9
10	78,1	79,1	75,6	79,8	80,1	81,9	77,9	80,3
14	81,7	82,5	80,5	83,7	82,4	84,6	81,5	83,6
24	84,1	86,8	83,0	88,2	85,0	87,5	84,1	87,5
48	88,2	90,7	88,4	91,3	89,2	91,3	88,6	91,1
72	90,5	92,2	89,6	92,0	91,3	92,9	90,5	92,4
96	90,2	92,3	89,9	92,2	91,2	92,5	90,4	92,4

Mit steigenden Inkubationszeiten gleichen sich die Werte des Abbaus immer mehr an und der Sorteneinfluss wird geringer (Abb. 13). Diese Beobachtung machte auch ETTLE (2001). Die Variation des TM-Abbaus der Sorten in den Reifegruppen nimmt vor allem zum zweiten Reifezeitpunkt der Kolben ab. Dies bestätigen auch AKBAR et al. (2002). Die Sorten in der ersten Reifegruppe zeigen ab der 24-stündigen Inkubationsstufe zum zweiten Reifezeitpunkt geringere Abweichungen im Abbau, im Vergleich zum ersten Reifezeitpunkt. Die Hybriden der Reifegruppe II weisen sogar schon nach 6-stündiger Inkubationszeit eine geringere Streuung innerhalb der Gruppe auf und die Sorten der dritten Gruppe zeigen nach der 14-stündigen Inkubationsstufe eine geringere Variation im Vergleich zum ersten Reifezeitpunkt. In der Mehrheit erhöht sich die potentielle Abbaubarkeit vom ersten zum zweiten Reifezeitpunkt. Silierte Maiskörner zeigen mit fortschreitender Abreife eine verminderte *in situ*-Abbaubarkeit (SCHWARZ und ETTLE 2000, ETTLE et al. 2001, JENSEN et al. 2005, KURTZ 2006). Da sich bei KS-Silagen die potentielle Abbaubarkeit erhöht ist dies auf die Verminderung des Spindelanteils und somit auch grundsätzlich auf die Verminderung des XF- und NDF-Gehaltes zurückzuführen.

Reifegruppe 1

Betrachtet man die Abbaukurve der ersten Reifegruppe zum ersten Erntetermin (Abb. 14), so zeigt sich die höchste potentielle Abbaubarkeit für die Sorte NK-Falkone. Diese beträgt nach 96-stündiger Inkubationszeit 91,0 %. Hierbei ist zu beachten, dass auch Fraktion b den höchsten Wert aufweist (41,9 %). Den steilsten Kurvenanstieg zeigt die Sorte Beatle zum ersten Reifezeitpunkt mit einer Abbaurate von 0,182 h^{-1}. Die Abbaukurven der Sorten Nuestro und Beatle weisen nach 24 Stunden eine allmähliche Annäherung auf. Zum zweiten Reifezeitpunkt zeigen die Sorten Nuestro und NK-Falkone einen steilen Kurvenanstieg mit erhöhten Abbauraten von 0,178 und 0,119 h^{-1}. Die Abbaurate der Sorte Beatle sinkt mit zunehmender Ausreife von 0,182 auf 0,076 h^{-1}. Die potentielle Abbaubarkeit dieser Sorte zeigt jedoch den höchsten Wert in dieser Reifegruppe (92,4 %).

Reifegruppe 2

Die höchste potentielle Abbaubarkeit ist durch die Sorte Roberto zum ersten Reifezeitpunkt zu verzeichnen, gefolgt von der Sorte PR39T45 und Ronaldinio (92.9 %, 92.2 %, 91.6 %). Auffallend ist dass der Anstieg der Kurven relativ flach verläuft im Gegensatz zum zweiten Reifezeitpunkt. Die Abbauraten steigen bei den Sorten Roberto und Ronaldinio von 0,099 bzw. 0,091 auf 0,199 bzw. 0,143 h^{-1}. Eine Ausnahme stellt PR39T45 dar, deren Abbaurate sich mit fortschreitender Reife nicht wesentlich ändert. Nach 24 Stunden zeigen die Kurven, zum zweiten Reifezeitpunkt nur noch sehr geringe Variationen (Abb. 14).

Reifegruppe 3

Schon nach 3-stündiger Inkubationszeit zeigt die Sorte PR39F58 die höchste Abbaubarkeit zum ersten Reifezeitpunkt. Insgesamt beläuft sich die potentielle Abbaubarkeit dieser Sorte auf 92,2 %. Die Sorten DK315 und Friedrixx zeigen geringere Werte (88,5 bzw. 88,2 %). Die höchste Abbaurate zum ersten Reifezeitpunkt weist Friedrixx auf (0,193 h^{-1}). Auffallend ist der ungleich steilere Kurvenanstieg der Sorte DK315 bei Abbbauraten von 0,110 zum ersten Reifezeitpunkt und 0,228 zum zweiten Reifezeitpunkt. Die potentielle Abbaubarkeit erhöht sich bei DK315 und Friedrixx um +3,40 bzw. +2,02 % (Abb. 14).

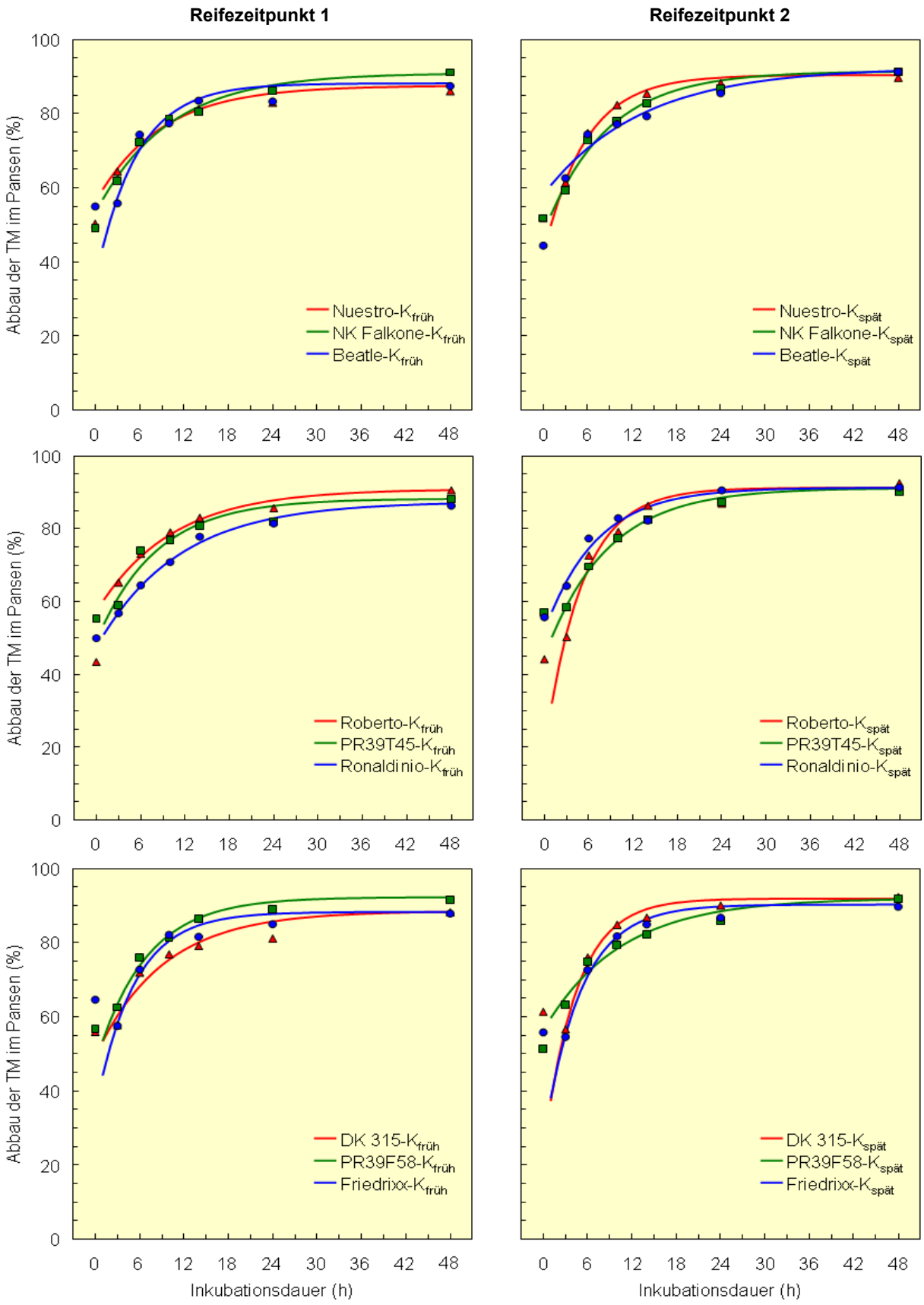

Abbildung 14: Ruminale Abbaukurven der Maishybriden zu zwei Reifezeitpunkten bis zu einer Inkubationszeit von 48 Stunden

Tabelle 12: Messwerte des ruminalen Abbaus (%) der Maissorten zu zwei Reifezeitpunkten (RZP 1 und 2) im Inkubationsverlauf

	Sorte																	
Inkubations-zeit (h)	**Nuestro**		**NK-Falkone**		**Beatle**		**Roberto**		**PR39T45**		**Ronaldinio**		**DK315**		**PR39F58**		**Friedrixx**	
	RZP1	*RZP2*	*RZP1*	*RZP2*	*RZP1*	*RZP2*	*RZP1*	*RZP2*	*RZP1*	*RZP2*	*RZP1*	*RZP2*	*RZP1*	*RZP2*	*RZP1*	*RZP2*	*RZP1*	*RZP2*
0	50,3	51,8	49,01	51,8	54,9	44,4	43,4	44,2	55,2	57,1	49,9	55,7	55,9	61,4	56,7	51,5	64,6	55,7
3	64,4	61,3	61,8	59,2	55,8	62,5	65,2	50,2	58,9	58,3	56,8	64,3	57,8	56,6	62,5	63,3	57,5	54,5
6	72,5	74,8	72,2	72,9	74,3	74,4	73,1	72,7	73,9	69,6	64,4	77,3	71,9	76,0	75,9	74,9	72,7	72,6
10	78,4	82,3	78,6	77,9	77,4	77,1	79,1	79,2	76,8	77,3	70,8	82,9	76,9	84,8	81,3	79,2	82,1	81,7
14	81,3	85,4	80,5	82,8	83,4	79,3	83,0	86,3	80,8	82,5	77,8	82,2	79,1	86,7	86,5	82,1	81,5	84,9
24	82,9	88,2	86,2	86,6	83,3	85,5	85,7	86,9	81,9	87,2	81,4	90,5	81,1	90,0	89,1	85,8	84,9	86,7
48	86,0	89,6	91,1	91,2	87,4	91,3	90,6	92,5	88,2	90,1	86,3	91,3	88,2	92,3	91,6	91,9	87,8	89,7
72	88,7	91,3	91,6	92,0	91,1	93,2	91,4	93,2	89,5	91,2	87,8	91,7	90,3	93,6	94,0	92,9	89,6	92,2
96	89,2	91,9	91,0	92,6	90,4	92,5	91,4	92,2	90,3	92,9	88,1	91,6	89,7	92,8	92,8	92,3	91,0	92,3

4.1.4 Einfluss des Reifezeitpunktes auf die effektive Abbaubarkeit

Aus dem *in situ*-Abbau der Trockenmasse lassen sich nach ØRSKOV und MCDONALD (1979) die effektiven Abbaubarkeiten errechnen. Erwartungsgemäß verringert sich die effektive Abbaubarkeit mit zunehmender Passagerate bei allen Gruppen, Sorten und Reifezeitpunkten. Die graphische Darstellung des effektiven Abbaus ist aus den Abbildungen 15 bis 18 ersichtlich.

Die effektive Abbaubarkeit weist mit fortschreitender Entwicklung des Kolbens eine Erhöhung bei allen Reifegruppen und allen Passageraten auf. Im Mittel beläuft sich die effektive Abbaubarkeit zum ersten Reifezeitpunkt bei einer Passagerate von 2 % h^{-1} (ED2) auf 83,3 %. Mit zunehmender Kolbenentwicklung (RZP 2) ist ein effektiver Abbau (ED2) von 85,3 % nachweisbar. Die effektiven Abbaubarkeiten bei Passageraten von 5 und 8 % h^{-1} (ED5 und ED8) belaufen sich auf 77,1 bzw. 72,9 % zum ersten und 78,8 bzw. 74,2 % zum zweiten Reifezeitpunkt. Stögmüller (2005) ermittelte effektive Abbaubarkeiten für KS-Silagen von 92,6 % (ED2), 87,9 % (ED5) und 84,5 % (ED8). Dabei ist zu beachten, dass sich die niedrigeren Werte der vorliegenden Ergebnisse aus dem niedrigeren Anteil der Fraktion a ergeben.

Alle Reifegruppen weisen zu fast allen Passageraten eine Erhöhung der effektiven Abbaubarkeit zum zweiten Reifezeitpunkt auf. Einzig die erste Reifegruppe zum zweiten Reifezeitpunkt und hohem unterstellten Fütterungsniveau *in vivo* (ED8) stellt hier eine Ausnahme dar. Es ist nur eine sehr geringfügige Veränderung der effektiven Abbaubarkeit erkennbar (-0,3 %). Die Erhöhungen im Abbau lassen auf Stärkeeinlagerungen und abnehmende Spindelanteile schließen. Die Anteile der Gerüstsubstanzen weisen bei allen Reifegruppen Verminderungen auf. Die Anteile an NfE und NFC nehmen mit fortgeschrittener Reife zu (Tab. 9). Mit zunehmender Entwicklung weist die Gruppe II den höchsten Anstieg der effektiven Abbaubarkeit zu allen Passageraten auf (Abb. 15). Dies ergibt sich aus einer Erhöhung der Fraktion a (+2,8 %) und einer leichten Verminderung der Fraktion b (-0,5 %) zum zweiten Reifezeitpunkt. Da der Anstieg der NfE und NFC der Gruppe II im Mittelfeld der Reifegruppen liegt (Tab. 9), spricht dies für eine weiche Endospermstruktur. Die Zunahmen der Fraktion b bei den Gruppen I und III sind wiederum auf Veränderungen der Endospermstruktur, bei gleichzeitiger Stärkeeinlagerung

zurückzuführen, da sich der Anteil der Gerüstsubstanzen vermindert und die Anteile an NfE und NFC erhöhen (Tab. 9).

Die größten Differenzen zwischen den Reifezeitpunkten ergeben sich im Gruppenvergleich bei einer Passagerate von 2 % h^{-1} (Abb. 15). Betrachtet man die rechnerisch ermittelte Verzögerungszeit (lag-Phase) der Reifegruppen, so ist erkennbar, dass mit der Verringerung der Fraktion a auch eine Abnahme der lag-Phase verbunden ist (Tab. 10). Dieser Effekt kann auch im Sortenvergleich beobachtet werden. Nach KURTZ (2006) können hohe lag-Phasen mit der Beschaffenheit des Mahlgutes zusammenhängen, da dies bei stärkereichen Futtermittelproben zu Verklumpungen in den Nylonbeuteln führen kann. Eine besonders lange Verzögerungszeit zeigt die Sorte Friedrixx, sowohl zum ersten als auch zum zweiten physiologischen Reifezeitpunkt (4,23 bzw. 3,07 h). Mit fortgeschrittener Entwicklung ist auch anhand der Sorte DK315 eine hohe lag-Phase erkennbar (3,56 h). Auffallend ist zudem, dass die Gruppe III (= Zahnmais), zu beiden Reifezeitpunkten und allen Passageraten die höchste ruminale Fermentation aufweist. Dies lässt zusammen mit dem hohen Anteil der Fraktion a und den teilweise langen lag-Phasen auf eine geringe Kornverhärtung (Vitreousness) und einen hohen Stärkeanteil im Vergleich zu den anderen Reifegruppen (Korntyp = Hz) schließen (PHILIPPEAU und MICHALET-DOREAU 1998, PHILIPPEAU et al. 1999). Mit der geringeren Vitreousness des Zahnmaises gehen auch, durch die Vermahlung bedingte, geringere Partikelgrößen einher (PHILIPPEAU und MICHALET-DOREAU 1998, PHILIPPEAU et al. 1999). Daraus lässt sich die hohe effektive Abbaubarkeit der mittelspät- bis sehr spätreifenden Sorten erklären.

Bei der Annahme hoher Passageraten konnten in Übereinstimmung mit LEBZIEN et al. (1997) die größten Unterschiede in der effektiven Abbaubarkeit zwischen den Reifezeitpunkten der einzelnen Sorten festgestellt werden (Abb. 18). Dies begründet sich aus den unterschiedlichen Werten der Fraktion a. Prinzipiell sind bei den meisten Hybriden Erhöhungen der effektiven Abbaubarkeit zum zweiten Reifezeitpunkt nachweisbar. Besonders auffallend sind die Zunahmen bei den Sorten Ronaldinio, DK315 und Nuestro. Ronaldinio zeigt bei ED2, ED5 und ED8 eine Steigerung des Abbaus von +6.2, +7.9 und +8.8 % von RZP 1 auf RZP 2 (Abb. 16, 17 und 18). Diese Sorte zeigt auch die höchste Zunahme an NFC (Tab. 9). DK315

weist in derselben Reihenfolge Erhöhungen um +4.9, +5.8 und +6.0 % auf. Obwohl die Fraktionen a und b bei dieser Sorte eine verhältnismäßig geringe Erhöhung bzw. Verminderung aufweisen, erhöht sich die Abbaurrate von 0,110 auf 0,228. Die Zunahme der NFC weist den zweithöchsten Wert auf (Tab. 9). GASTEINER (2008) ermittelte für diese Sorte den niedrigsten pH-Wert im Pansen (5,57). Diese Fakten sprechen für eine hohe ruminale Stärkeabbaubarkeit. Die Erhöhung des effektiven Abbaus bei Nuestro beläuft sich auf +3.6, +3.9 und +3.7 % bei Passageraten von 2, 5 und 8 % h^{-1}. Auffallend ist hierbei, dass sich die Anteile an NfE und NDF erhöhen.

Die Sorten Beatle und PR39F58 zeigen eine Verminderung der effektiven Abbaubarkeit zum zweiten Reifezeitpunkt und zu allen Passageraten (Abb. 16, 17 und 18). Bei Beatle erhöht sich die Fraktion b um +10,8 %. Die Fraktion a vermindert sich um -10,5 %. Die Abbaurrate vermindert sich ebenfalls von 0,182 auf 0,076. Dies hat auch die geringere effektive Abbaubarkeit zur Folge. Da die Anteile an NfE und NFC bei Beatle eine Erhöhung aufweisen und die Gerüstsubstanzen mit zunehmender Reife sinken, weist dies auf einen hohen Ausreifungsgrad des Kolbens hin. Zudem dürfte eine Verhärtung der Kornstruktur vorliegen. Die Sorte PR39F58 zeigt ebenfalls verminderte effektive Abbaubarkeiten zum zweiten Reifezeitpunkt. Jedoch sind die Differenzen zwischen den Reifezeitpunkten geringer. Sie belaufen sich bei Fraktion a auf -5,3 % und bei der Fraktion b auf +5,0 %. Die Abbaurrate verringert sich von 0,149 auf 0,096. Bei PR39F58 ist dies jedoch auf eine Zunahme der Gerüstsubstanzen zurückzuführen (Tab. 9). Friedrixx weist zu ED2 noch einen geringfügig höheren Abbau zu RZP 2 auf (+1,0 %). Mit Erhöhung der Passagerate zeigt die Sorte jedoch einen verminderten Abbau (Abb. 16, 17 und 18). Fraktion a zeigt eine Verminderung um -8,9 %. Fraktion b erhöht sich mit zunehmender Reife um +10,9 %. Im Gegensatz zu den Sorten Beatle und PR39F58 ist die Veränderung der Abbaurate vernachlässigbar. Die Differenz der effektiven Abbaubarkeit zwischen RZP1 und RZP 2 in diesen beiden Sorten unterliegt einem Anstieg mit der Erhöhung des Fütterungsniveaus. Bei Beatle resultiert dies wiederum aus der sich verändernden Endospermstruktur und den zunehmenden Stärkegehalten mit fortschreitender Kolbenausreife, da sich die Gerüstsubstanzen von Reifezeitpunkt 1 auf Reifezeitpunkt 2 verringern und die NfE- und NFC-Anteile steigen (Tab. 9).

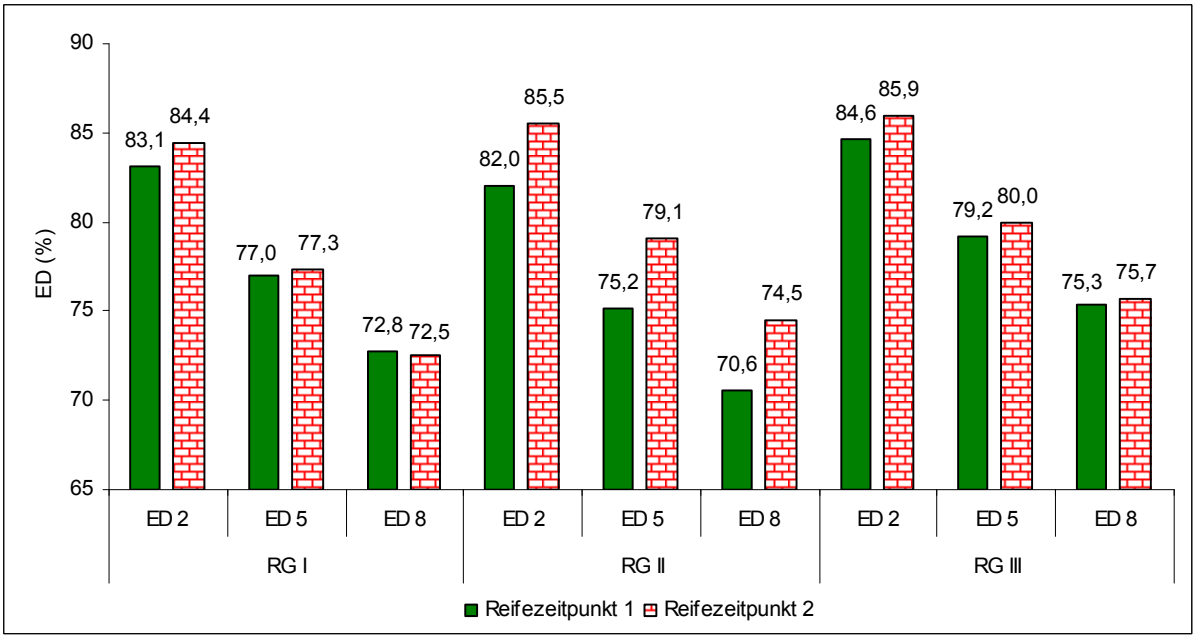

Abbildung 15: Effektive Abbaubarkeit der Reifegruppen bei unterschiedlichen Passageraten

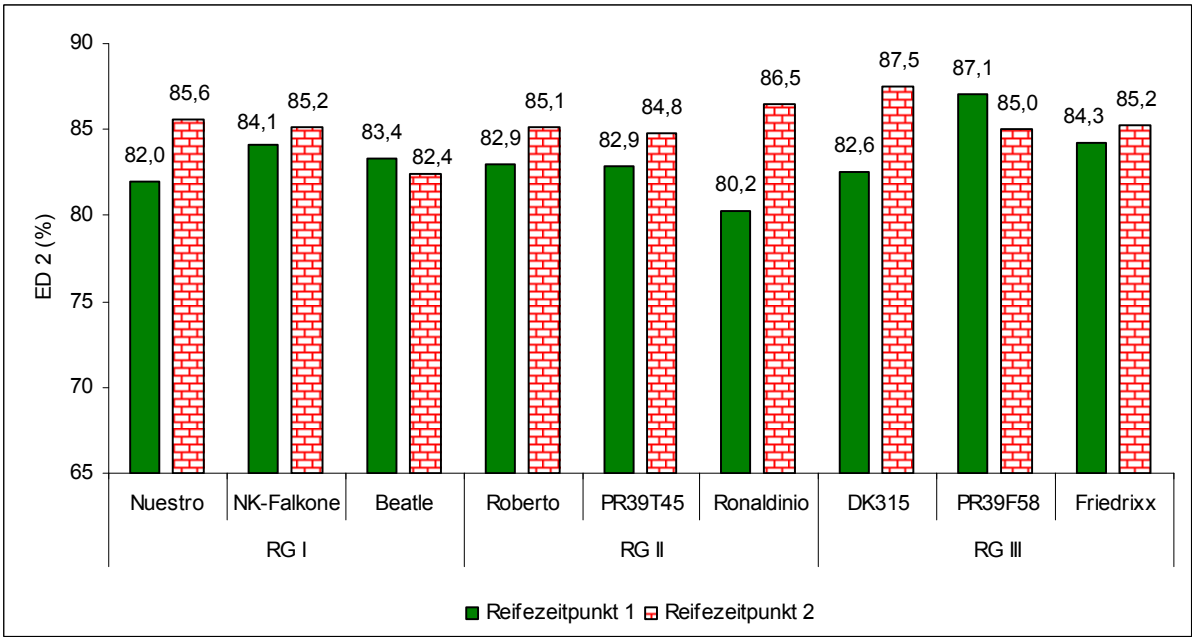

Abbildung 16: Effektive Abbaubarkeit der Sorten bei einer Passagerate von 2 % h^{-1}

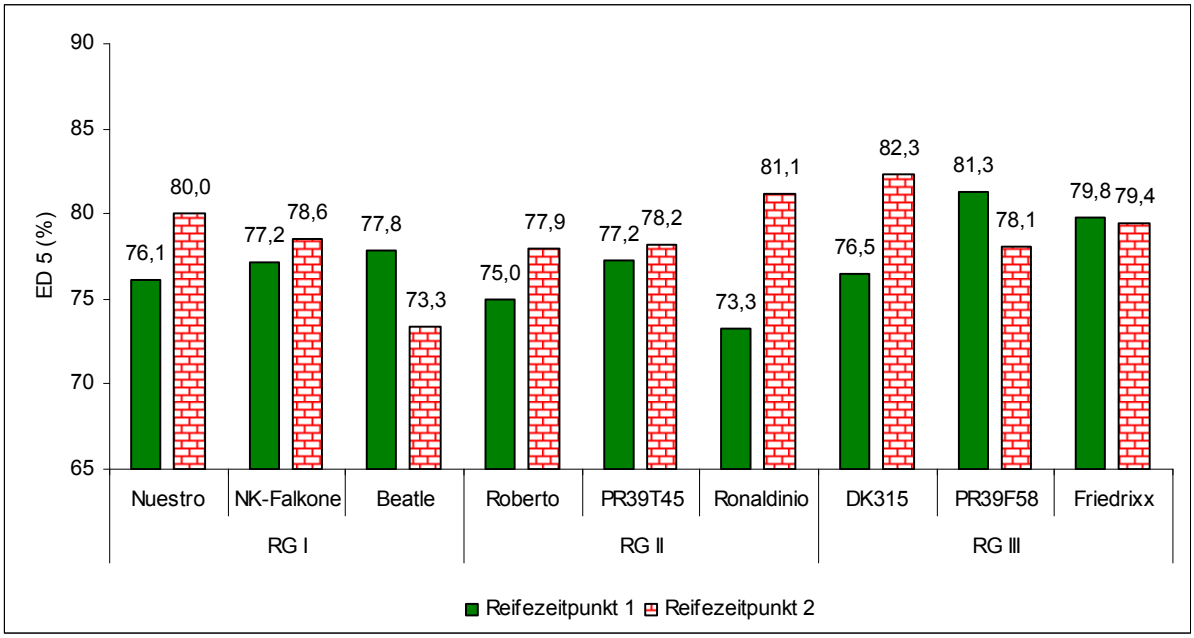

Abbildung 17: Effektive Abbaubarkeit der Sorten bei einer Passagerate von 5 % h^{-1}

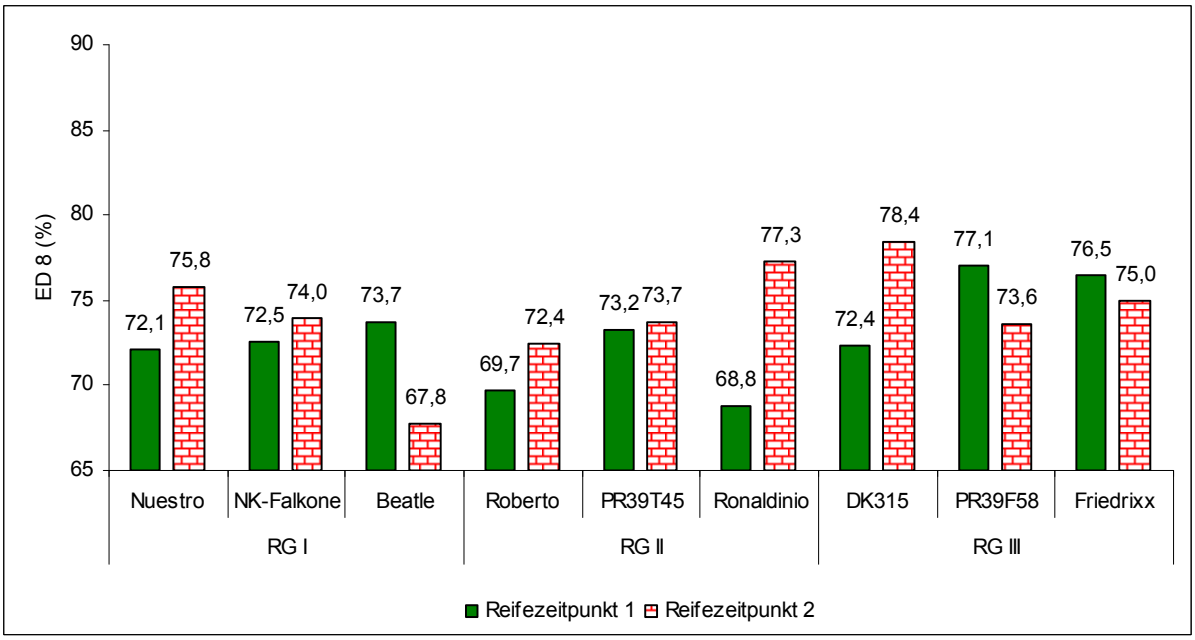

Abbildung 18: Effektive Abbaubarkeit der Sorten bei einer Passagerate von 8 % h^{-1}

4.2 Fütterungsversuch mit Milchkühen

4.2.1 Trockenmassegehalte der Maissorten

In den Tabellen 13 und 14 sind die Erntedaten und TM-Gehalte der Maissorten und Reifegruppen ersichtlich.

Tabelle 13: Erntedaten und TM-Gehalte der neun Maissorten zum Zeitpunkt der Ernte

Reife-gruppe	Sorte	RZ	Erntedatum	Kolben-anteil (%)	Trockenmasse (%)		
					Kolben	Rest-pflanze	Ganz-pflanze
I	Nuestro	230	13.09.2007	57,8	53,8	20,6	31,7
	NK-Falkone	250	13.09.2007	57,1	55,7	20,0	31,5
	Beatle	260	13.09.2007	50,0	48,0	20,2	28,8
II	Roberto	270	13.09.2007	54,0	51,1	19,2	28,9
	PR39T45	280	13.09.2007	56,0	56,4	20,5	31,8
	Ronaldinio	290	13.09.2007	51,7	53,3	20,8	30,4
III	DK315	320	13.09.2007	50,1	45,6	18,9	27,1
	PR39F58	320	13.09.2007	55,8	51,7	19,1	29,4
	Friedrixx	330	13.09.2007	49,8	49,4	19,7	28,1

Die sortenspezifischen TM-Gehalte der silierten Ganzpflanzen fallen nicht wie erwartet einheitlich mit steigenden Reifezahlen. Beim direkten Sortenvergleich ist keine deutliche Tendenz erkennbar (Tab. 13).

Mit zunehmender Reife erhöht sich der TM-Anteil des Korns und somit der Anteil des Kolbens an der Gesamtpflanze. (GROß 1979, GROß und PESCHKE 1980, BÖHM et al. 1983). Daraus kann geschlossen werden, dass die Entwicklung der Gruppe I am weitesten vorangeschritten ist. Die Gruppe II weist nur einen geringen Rückstand auf. Unter optimalen Wachstumsbedingungen und bei voller Ausreife erreichen die getesteten Sorten Kolbenanteile von 53,8 bis 57,9 % und TM-Gehalte der Ganzpflanze von 32,4 bis 37,4 % (AGES 2010). Die empirisch ermittelten Werte der Kolbenanteile liegen im vorgegebenen Bereich (Tab. 13 und 14).

Die TM-Bereiche der Ganzpflanzen bei der Silierung liegen nach JEROCH et al. (1987) im optimalen Bereich von 25 – 35 %. Andere Autoren hingegen geben als untere und kritische Grenze einen TM-Gehalt der Ganzpflanze von 30 % an, da bei einer Unterschreitung dieser Richtzahl die Nährstoffverluste durch Gärsäfte massiv ansteigen (GROß 1979, WERMKE und ROHR 1985, HAARHOFF 1990). Demnach liegen die Sorten Beatle, Roberto, DK315, PR39F58 und Friedrixx unter dieser Maßzahl.

Tabelle 14: Kolbenanteile und TM-Gehalte Reifegruppen zum Zeitpunkt der Ernte

Reifegruppe	Kolbenanteil (%)	Trockenmasse (%)		
		Kolben	Restpflanze	Ganzpflanze
I	55,0	52,5	20,3	30,7
II	53,9	53,6	20,2	30,4
III	51,9	48,9	19,2	28,2
Mittelwert	53,6	51,6	19,8	29,7
SD Sorte	-	3,6	0,7	1,7
SD Gruppe	-	2,4	0,5	1,3

4.2.2 Nährstoffgehalte der Futtermittel

Sowohl die Maissilagen, als auch das Kraftfutter, die Eiweißergänzung in Form von Sojaextraktionsschrot und das Heu wurden chemisch analysiert. Die Energiekonzentrationen der Maissilagen wurden anhand *in vivo* ermittelter Verdaulichkeiten bei Hammeln berechnet (MÜLLER 2011, Tab. 13 und 14).

Der Nährstoffgehalt der reifenden Maispflanze resultiert aus den Veränderungen des Gehaltes in den einzelnen Pflanzenteilen und dem Anteil, den diese an der Gesamtpflanze einnehmen (JEROCH et al.1987).

Die mittleren Kolbenanteile der Maissilagen betragen, den Reifegruppen I, II und III folgend 55.0, 53.9 und 51.9 %. Die frühreifen Sorten weisen hierbei den höchsten Kolbenanteil in der Silage auf, was wiederum die fortgeschrittene physiologische Reife bestätigt (Tab. 14).

Betrachtet man die Fraktion der leicht verdaulichen Kohlenhydrate (NfE) im Gruppenvergleich, so zeigt die dritte Reifegruppe den höchsten Gehalt an NfE, obwohl der Kolbenanteil nur an zweiter Stelle steht. Den höchsten NfE-Gehalt zeigt die Sorte PR39F58 (657 g/kg TM). Der niedrigste Wert wurde bei der Sorte Beatle mit 626 g/kg TM gemessen (Tab. 16). Aus den Untersuchungen von JEROCH et al. (1987) geht hervor, dass der Anteil an NfE bis zum Stadium der Wachsreife (= Teigreife II) ansteigt. Sie konnten einen Höchstwert von 640 g/kg TM bei einem TM-Gehalt von 30 % der Ganzpflanze nachweisen. Danach nimmt diese Fraktion nur noch geringfügig zu. Dies bestätigen auch die Ergebnisse von GRUBER et al. (1983).

Prinzipiell sinkt der Rohfasergehalt der Ganzpflanze mit zunehmender Ausreife. Begründet wird dies durch die steigenden Kolbenanteile. Im Verlauf der Entwicklung steigt der Rohfasergehalt (XF) der Maisrestpflanze an. Durch die zunehmende Umlagerung der Assimilate aus der Blatt- und Stengelmasse in die Körner sinkt im Kolben der Rohfasergehalt stärker ab als dieser in der Restpflanze ansteigt (JEROCH et al. 1987). Die XF-Werte zeigen eine geringfügige, aber erwartungsgemäße Abstufung der Gruppen I, II und III (Tab. 15). Die frühreife Gruppe weist eine schnellere Abreife gegenüber den anderen Gruppen auf. Den höchsten Wert zeigt hierbei die Sorte Beatle mit 228 g/kg TM. Die Sorte PR39F58 beinhaltet den niedrigsten XF-Anteil mit 205 g/kg TM (Tab. 16). Die höchsten NfE- bzw. NFC-Anteile beinhaltet die Reifegruppe III (= Zahnmais) mit 642 bzw. 407 g/kg TM. Die Abstufung der Gehalte an Zellwandbestandteilen zeigt sich in absteigender Reihenfolge mit den höchsten Werten in der Gruppe II, gefolgt von Gruppe I und Gruppe III. Die Abstufung der ADF-Gehalte in den Gruppen entsprechen wiederum dem Abreifeverhalten der Gruppen (I > II > III).

Im direkten Sortenvergleich konnte für PR39F58 mit 657 bzw. 433 g/kg TM der höchste NfE- bzw. NFC-Wert festgestellt werden. Während die Sorte Beatle den niedrigsten Anteil an NfE (626 g/kg TM) aufweist, enthält die Sorte Ronaldinio den geringsten Anteil an NFC mit 387 g/kg TM (Tab 16). Auffallend ist, dass Ronaldinio den höchsten Anteil an NDF aufweist (469 g/kg TM), deren NFC Gehalt verhältnismäßig niedrig ausfällt und gleichzeitig deren Energiegehalt, mit 11,17 MJ ME/kg TM bzw. 6,78 MJ NEL/kg TM am höchsten einzustufen ist. Die niedrigsten

Energiewerte wurden für die Sorte Friedrixx ermittelt (10,60 MJ ME/kg TM bzw. 6,36 MJ NEL/kg TM). Bei Friedrixx wurde aber auch der geringste Kolbenanteil, mit 28 % in der Silage, bestimmt und die TM der Silage befindet sich zusätzlich im unteren Bereich (28 %). Nach HAARHOFF (1990) weisen früher reifende Genotypen während der gesamten generativen Entwicklung einen höheren Energiegehalt der Gesamttrockenmasse auf als später reifende. Der Vorteil nimmt im Zuge der Ausreife jedoch ab.

Die Silage der Sorte Friedrixx weist aber auch den höchsten Anteil an Rohprotein (XP) mit 76 g/kg TM auf und demnach ergibt sich auch die höchste ruminale Stickstoffbilanz (RNB) mit -8,36 g/kg TM. Der im Vergleich hohe XP-Wert ist ein Indiz dafür, dass sich die Sorte noch in der Entwicklung befand (GROß 1970, ZSCHEISCHLER et al. 1974, BÖHM et al. 1983, JEROCH et al. 1987, PEX et al. 1996) Auch der Anteil an unabgebauten Futterprotein (UDP) ist im Sortenvergleich bei Friedrixx am höchsten (19 g/kg TM).

Tabelle 15: Kohlenhydratfraktionen und Energiegehalte nach Reifegruppen

Reifegruppe		**I**	**II**	**III**
Kolbenanteil	%	55,0	53,9	51,9
NfE	g/kg TM	631	633	642
NFC	g/kg TM	401	398	407
XF	g/kg TM	223	222	216
NDF	g/kg TM	453	458	451
ADF	g/kg TM	251	248	238
ME	MJ/kg TM	11,02	10,95	10,82
NEL	MJ/kg TM	6,67	6,62	6,52

Tabelle 16: Nährstoffgehalte der Maissilagen, des Heus und des Kraftfutters

Reifegruppe		**I**			**II**			**III**			**-**		
Sorte		**Nuestro**	**NK-Falkone**	**Beatle**	**Roberto**	**PR39T45**	**Ronaldinio**	**DK 315**	**PR39F58**	**Friedrixx**	**Heu**	**Soja**	**KF**
Kolbenanteil	%	**57,8**	57,1	**50,0**	**54,0**	**56,0**	**51,7**	**50,1**	**55,8**	**49,8**	-	-	-
Nährstoffe													
TM (%)	%	31,6	31,5	28,8	28,9	31,8	30,4	27,1	29,4	28,1	-	-	-
OS	g/kg TM	961	962	961	959	960.92	963	961	964	961	929	929	969
XA	g/kg TM	39	38	39	41	39	37	39	36	39	71	71	31
XP	g/kg TM	75	71	73	71	70	72	73	70	76	116	516	169
XL	g/kg TM	35	34	34	32	36	35	32	33	31	20	19	21
XF	g/kg TM	221	220	228	224	218	225	222	205	220	290	65	57
NfE	g/kg TM	630	637	626	632	638	631	635	657	634	503	329	721
NFC	g/kg TM	397	401	404	397	411	387	398	433	389	250	273	564
Zellwandbestandteile													
NDF	g/kg TM	454	456	450	459	445	469	459	428	465	543	121	214
ADF	g/kg TM	248	250	257	255	240	249	241	229	244	317	79	63
ADL	g/kg TM	27	30	28	26	27	26	25	23	26	33	7	9
Mineralien													
Ca	g/kg TM	2,1	2,1	2,1	2,4	2,2	2,0	2,2	2,0	2,4	6,4	3,5	1,5
P	g/kg TM	2,3	2,4	2,1	2,3	2,2	2,2	2,2	2,1	2,2	2,6	8,1	4,7
Mg	g/kg TM	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,1	1,4	2,7	3,3	1,4
K	g/kg TM	12,3	12,2	12,1	13,2	12,0	12,0	11,7	11,7	11,9	17,0	23,9	10,6
Na	g/kg TM	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6	0,1	0,1
Spurenelemente													
Mn	mg/kg TM	22,0	24,1	22,5	24,7	20,7	19,9	27,3	21,6	26,3	107,6	31,6	19,7
Zn	mg/kg TM	18,7	19,9	17,8	18,6	16,0	16,9	18,8	16,7	18,3	25,7	49,7	27,3
Cu	mg/kg TM	5,0	5,5	5,0	5,1	4,3	4,7	4,5	4,4	4,6	8,5	21,1	6,3
Unverdautes und nutzbares Protein													
UDP	g/kg TM	18,7	17,7	18,3	17,8	17,5	18,0	18,2	17,5	18,9	23,1	154,8	46,2
nXP	g/kg TM	131,6	131,2	131,7	131,5	126,7	132,8	128,8	131,4	127,9	124,0	295,3	179,2
RNB	g/kg TM	-9,1	-9,7	-9,4	-9,6	-9,1	-9,7	-9,0	-9,8	-8,4	-1,4	42,5	-1,6
Energie													
ME	MJ/kg TM	10,98	11,06	11,03	11,06	10,63	11,17	10,77	11,09	10,60	9,49	13,75	13,07
NEL	MJ/kg TM	6,64	6,70	6,68	6,71	6,38	6,78	6,49	6,73	6,36	5,58	8,63	8,24

4.2.3 Einfluss der Reifegruppen auf die Futteraufnahme und tierische Leistung

Die Ergebnisse des Fütterungsversuches sind in Tabelle 17 angeführt. Weder bei der Futteraufnahme noch bei der Milchleistung konnten signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden.

Die Versuchstiere nahmen eine Gesamtration von im Mittel 18,6 kg TM auf. Die Standardabweichung (SD) beträgt 0,8 kg TM. Der Anteil der Maissilage liegt bei durchschnittlich 13,3 kg TM (SD 0,6 kg TM). Die durchschnittlichen TM-Gehalte der Silagen in der vorliegenden Arbeit liegen bei 29,7 % mit einer theoretischen Häcksellänge von 8 mm. Es muss jedoch beachtet werden, dass mit geringeren Häcksellängen der Maissilage die Futteraufnahme und folgend auch die Passagerate steigt (SPIEKERS et al. 2009). Mit steigenden TM-Anteilen der Maissilage bis zu 30 % nimmt die Futteraufnahme ebenfalls zu. Darüber liegende TM-Gehalte bewirken nur noch geringfügige Erhöhungen oder sogar Verminderungen (GROß 1979, GRUBER et al. 1983, PREISSINGER et al. 1997). Im Gruppenvergleich der vorliegenden Ergebnisse kann diese Auswirkung jedoch nicht bestätigt werden, da in der Reihenfolge Gruppe I, Gruppe II und Gruppe III ein, wenn auch nur ein zu vernachlässigender Anstieg der Futteraufnahme, bei abnehmenden TM-Gehalten ersichtlich ist. Die Gehalte an Trockenmasse der Maissilagen in den ersten beiden Reifegruppen liegen jedoch bei über 30 %. Die dritte Reifegruppe weist eine TM von 28,2 % auf (Tab. 14). Auch der negative Einfluss der NDF-Fraktion auf die Futteraufnahme der Maissilagen kann nicht bestätigt werden. Auffallend ist jedoch, dass die aufgenommenen Anteile an XF und ADF mit aufsteigender Reifegruppe erwartungsgemäß abnehmen (Tab. 17). Unterschiede in der Futteraufnahme sind jedoch nicht ersichtlich. MULLIGAN et al. (2002) und ROBINSON und MCQUEEN (1997) berichten über eine höhere TM-Aufnahme bei einem geringen Anteil an Gerüstsubstanzen in der Ration. MAIERHOFER und OBERMAIER (2002) konnten dies beim Futteraufnahmevergleich von früh-, mittelfrüh- und spätabreifenden Sorten nur geringfügig bestätigen.

Die tägliche Milchleistung (kg ECM) betrug durchschnittlich 24,6 kg mit einer Standardabweichung von 1,4 kg. Im Gruppenvergleich zeigt sich bei der Verfütterung

der Gruppe I die höchste Milchleistung mit 24,8 kg ECM. Diese Reifegruppe zeigt, die Gesamtration betreffend, die höchste Energiedichte mit durchschnittlich 6,87 MJ NEL/kg TM. Es wurde eine geringfügig niedrigere Futteraufnahme in dieser Gruppe beobachtet. Diese Fakten sprechen für eine gute Verdaulichkeit der Gerüstsubstanzen der frühreifen Gruppe (ROBINSON und MCQUEEN 1997). Die energetische Versorgung der Tiere weist keine großen Differenzen auf (P = 0,940) und ist somit äquivalent.

Bezüglich der Nährstoffaufnahme über die Gesamtration liegen die Mengen an aufgenommenem nutzbarem Rohprotein (nXP) und unabgebautem Futterprotein (UDP) auf gleichem Niveau. Nach KIRCHGEßNER (2004) kann der Ammoniak, der durch die Synthesekapazität der Mikroorganismen im Pansen anfällt, nicht für die intermediäre Proteinsynthese genutzt werden und wird als Harnstoff ausgeschieden. Demnach erhöht sich bei hohen Proteingehalten in der Ration bzw. stark positiven ruminalen Stickstoffbilanzen der Harnstoffgehalt in der Milch. Der relativ hohe Milchharnstoffgehalt deutet in allen drei Gruppen auf eine XP-Überversorgung, verursacht durch die Verfütterung des Sojaextraktionsschrots, hin.

Der Milcheiweißgehalt unterschied sich nicht zwischen den Reifegruppen. MULLIGAN et al. (2002) konnten erhöhte Proteinanteile in der Milch feststellen bei Verfütterung von Maissilage feststellen. Jedoch ist in diesem Fall der Effekt auf den erhöhten Energiegehalt der Maissilage, im Gegensatz zur Grassilage, zurück-zuführen.

Der Milchfettgehalt der Gruppe III lag mit 4,8 % leicht über jenem der Gruppen I und II (4,6 bzw. 4,7 %). Vergleichbare Ergebnisse erhielten auch PREISSINGER et al. (1998). Sie stellten bei ad libitum Fütterung mit jenen Maissilagen die den geringsten TM-Gehalt zeigten, die höchsten Fettgehalte in der Milch fest. PREISSINGER et al. (1998) führten dies auf hohe XF-Anteile zurück.

Tabelle 17: Ergebnisse des Fütterungsversuches mit Milchkühen

		Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	SD	P
Quantität der täglichen Futteraufnahme						
Maissilage	kg TM	13,2	13,3	13,4	0,6	0,822
Grundfutter gesamt[1)]	kg TM	14,8	14,9	15,0	0,6	0,776
Kraftfutter	kg TM	4,0	3,5	3,7	0,3	0,533
Gesamt[2)]	kg TM	18,5	18,6	18,9	0,8	0,682
Tägliche Nährstoffaufnahme						
XP	g	2842	2856	2867	110	0,889
nXP	g	2938	2934	2956	132	0,934
RNB	g	7	11	9	10	0,746
NEL	MJ	127,50	126,90	127,80	6,57	0,940
Tägliche Nährstoffkonzentation[3)]						
XP	g/kg TM	153	158	153	7	0,389
XL	g/kg TM	30	29	29	1	0,362
XF	g/kg TM	194	192	192	9	0,823
NfE	g/kg TM	566	564	568	10	0,700
NDF	**g/kg TM**	**398**	**399**	**386**	**21**	**0,414**
ADF	g/kg TM	219	216	214	12	0,649
ADL	g/kg TM	23	22	22	2	0,371
nXP	g/kg TM	158	159	157	3	0,279
UDP	% XP	27,6	27,7	27,4	0,3	0,231
RNB	g/kg TM	0,4	1,0	0,5	0,8	0,264
NEL	MJ/kg TM	6,90	6,80	6,80	0,14	0,404
Tierische Leistungen, Harnstoffgehalt und Lebendmasse						
Milchleistung	kg	23,4	22,8	22,8	1,0	0,315
Milchleistung^{0,75}	g/kg^{0,75}	185,4	181,3	180,5	7,3	0,340
Milchfett	kg	1,1	1,1	1,1	0,1	0,645
Fettanteil	%	4,6	4,7	4,8	0,2	0,121
Milcheiweiß	kg	0,8	0,8	0,8	0,0	0,252
Proteinanteil	%	3,5	3,4	3,5	0,1	0,345
Laktoseanteil	%	4,7	4,7	4,6	0,1	0,305
ECM	kg	24,8	24,4	24,7	1,4	0,815
ECM^{0,75}	g/kg^{0,75}	196,7	194,8	196,3	9,6	0,908
Harnstoff	mg/100 ml	33,4	33,7	32,0	2,4	0,306
Lebendmasse	kg	642,8	642,7	640,8	7,7	0,822
Lebendmasse^{0,75}	kg	127,4	127,3	127,1	1,1	0,829

1) Maissilage + Heu
2) inkl. Mineral- und Wirkstoffe
3) der Gesamtration

5 Schlussfolgerung

Der Einfluss des Reifezeitpunktes wird vor allem durch die Erhöhung der Trockenmasse in der gesamten Maispflanze ersichtlich. Zusätzlich verschiebt sich mit zunehmender Entwicklung der Pflanze die chemische Zusammensetzung der Nährstoffe. Generell ist eine Zunahme des Kolbenanteils und folgend auch eine Erhöhung der NfE nachweisbar. Insgesamt nimmt der Anteil an Gerüstsubstanzen in der gesamten Maispflanze mit zunehmender Reife ab.

Die berechnete effektive Trockenmasseabbaubarkeit der KS-Silagen bei einem angenommenen durchschnittlichen Fütterungsniveau (ED5) zeigte, dass nach 20-stündiger Verweildauer im Pansen circa 80 % des Kolbenanteils in einer Ganzpflanzensilage abgebaut ist. Bei einer Erhöhung der ruminalen Passagerate (steigendes Fütterungsniveau, intensivere Fütterung) sinkt der effektive Abbau der KS-Silagen. Die potentielle Abbaubarkeit von silierten Maiskolben beträgt im Durchschnitt 90 %. Die zunehmende Reife der Kolben wirkt sich bezüglich des *in situ*-Abbaus in einer Erhöhung der ruminalen Trockenmasseabbaubarkeit aus. Dies begründet sich in der Zunahme des leicht abbaubaren Korn- und Stärke-anteiles. Der ruminal langsamer abbaubare Spindelanteil nimmt ab.

Es bestehen sorten- und korntypbedingte Unterschiede im ruminalen Abbau der KS-Silagen. Silierte Zahnmaiskolben zeichnen sich gegenüber Hartmaiskolben vor allem bei niedriger Fütterungsintensität durch eine höhere ruminale Abbaubarkeit aus. Differenzen im ruminalen Abbau der KS-Silagen, welche auf die Sorten zurückzuführen sind, können vorwiegend bei früheren Vegetationsstadien beobachtet werden.

Da in dieser Untersuchung nur die Kolben der Maispflanzen betrachtet wurden, können Aussagen über den Trockenmasseabbau und somit eine umfassende Charakterisierung des Futterwerts der geprüften Silomaissorten erst in Zusammenhang mit den Ergebnissen der Untersuchungen zum ruminalen Abbau der Restpflanze getroffen werden.

Die Futteraufnahme und Milchleistung von Kühen wird durch die Reifezahl der Maishybriden nicht signifikant beeinflusst.

6 Zusammenfassung

Diese Diplomarbeit stellt einen Teilbereich eines umfassenden Forschungsprojektes am LFZ-Raumberg-Gumpenstein dar. Dem Projekt liegen neun Maissorten in drei Reifegruppen zugrunde. In dieser Arbeit wurde der *in situ*-Abbau der Kolbenschrot-Silagen (KS-Silagen) zu zwei Reifezeitpunkten (RZP 1 und RZP 2) mittels der Nylon-Bag-Methode ermittelt. Der Abstand zwischen den Erntezeitpunkten betrug im Durchschnitt 17 Tage. In einem Fütterungsversuch mit Milchkühen wurde der Einfluss der Reifegruppen der Silomaishybriden auf die Futteraufnahme und Milchleistung erfasst.

Grundsätzlich nimmt bei KS-Silagen der Spindel- und Gerüstsubstanzenanteil mit zunehmender Ausreife der Kolben ab. Der Korn- und Stärkeanteil nehmen zu. Die Reifegruppen I und II gliedern sich in eine früh- bis mittelfrühreifende bzw. mittelfrüh- bis mittelspätreifende Gruppe und beinhalten Hartmaistypen, deren Genom einen geringen Anteil des Genotyps Zahnmais enthält. Die dritte und mittelspät- und spätreifende Gruppe besteht zur Gänze aus reinen Zahnmaistypen. Bedingt durch die Maissorte und den Korntyp können Unterschiede im ruminalen Abbau der Kolbensilage auftreten.

Die Höhe der Fraktion a der KS-Silagen betrug im Durchschnitt 53,3 % (RZP 1) bzw. 52,6 % (RZP 2). Die Fraktion b erhöhte sich mit fortschreitender Ausreife der Kolben von durchschnittlich 35,8 auf. 38,9 %. Durch die stattfindende Stärkeeinlagerung wurde eine Erhöhung der Abbaurate von 0,129 (RZP 1) auf 0,151 h^{-1} (RZP 2) verzeichnet. Die mittlere potentielle Abbaubarkeit stieg ebenfalls von 89,2 zu RZP 1 auf 91,3 % bei RZP 2. Die effektive Abbaubarkeit bei Passageraten von 2, 5 bzw. 8 % h^{-1} betrug bei RZP 1 durchschnittlich 83.2, 77.2 bzw. 72.9 %. Zu RZP 2 nahmen die effektiven Abbaubarkeiten zu (85.3, 78.8 bzw. 74.2 %).

Reifegruppenbedingte Unterschiede im ruminalen Trockenmasseabbau konnten nicht festgestellt werden. Innerhalb der Sorten konnte zumeist eine Zunahme der Fraktion a sowie eine Erhöhung der Abbaurate c beobachtet werden. Die Fraktion b änderte sich von RZP 1 zu RZP 2 bei den meisten Sorten nur geringfügig. Je eine Sorte aus den Reifegruppen I, II und III zeigte jedoch eine gegenläufige Entwicklung. Dies wirkte sich auch auf die effektive Abbaubarkeit aus, welche im Gegensatz zu

allen anderen Sorten, mit fortgeschrittener Kolbenentwicklung sank. Im Falle von zwei Hybriden könnte dies auf eine Verhärtung der Endospermstruktur zurückzuführen sein. Vor allem zu RZP 1 war ein Sorteneinfluss erkennbar. Mit Erhöhung der Trockenmasse zu RZP 2 nahm dieser Effekt ab.

In einem Fütterungsversuch mit Milchkühen konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Reifegruppen der Maissorten hinsichtlich der Futteraufnahme und Milchleistung beobachtet werden. Diese betrugen in den Reifegruppen I, II bzw. III im Schnitt 18.5, 18.6 bzw. 18.9 kg TM sowie 23.4, 22.8 bzw. 22.8 kg Milch je Tier und Tag.

7 Abstract

This degree thesis is part of a broad project at the LFZ-Raumberg-Gumpenstein. The project is based on nine maize hybrids in three maturity groups. The *in situ*-degradation for ground maize-cob-silage depending on two harvesting dates (RZP 1 and RZP 2) was determined in this dissertation. The interval between harvesting dates was 17 days. Feed intake and milk yield were also detected for the three maturity groups.

The proportion of spindle and structural substance show a decrease with increasing maturity in maize cobs. The proportion of grain and starch show an increase. The maturity group I and II are structured in an early mature and a mid mature group and consist of flint hybrids. The breeds of the third group are late ripening dent hybrids. Owing to the maize breed and the grain type there exist differences in ruminal degradation of cob silage.

The fraction a was realised with 53,3 % (RZP 1) and 52,6 % (RZP 2) on average. The parameter b shows a rise with increasing maturity of the cob (35,8 or 38,9 %). Because of the rising starch amount the rate of degradation is rising from 0,129 (RZP 1) up to 0,151 h^{-1} (RZP 2). Potential degradability increases from 89,2 (RZP 1) up to 91,3 % (RZP 2) on average. At the first harvesting date rates of degradability count 83.3, 77.1 and 72.9 % with supposed passage rates of 2, 5 and 8 % h^{-1}. The second physiological maturity date leads to effective degradabilities of 85.3, 78.8 and 74.2 % respectively.

Differences in ruminal dry matter degradability between maturity groups couldn't be detected. Within maize varieties rises of fraction a and the degradation rate could be observed. Fraction b shows just a slight decrease with increasing maturity. One breed per group (I, II, and III) shows opposing changes. These have effects on effective degradabilities, which are decreasing with a late maturity stage, contrary to all other breeds. Therefore grains of two breeds show a hardening of endosperm. Furthermore, the affection of breed is recognizable at the first maturity stage. With increasing maturity, the values for ruminal degradation are almost equal.

Feed intake and milk yield were determined for the maturity groups of the whole plant silage. For maturity group I, II and III daily feed intake was 18.5, 18.6 and 18.9 kg DM on average. This results in a milk yield of 23.4, 22.8 and 22.8 kg milk per cow and day. There were no significant differences in feed intake, milk yield or milk contents among the maturity groups.

8 Quellenverzeichnis

AKBAR, M.A., P. LEBZIEN and G. FLACHKOWSKY, 2002: Measurement of yield and *in situ* dry matter degradability of maize varieties harvested at two stages of maturity in sheep. Anim. Feed Sci. and Technol. 100, 53-70

AKERS, R.M. and D.M. DENBOW, 2008: Anatomy and physiology of domestic animals. 1st ed. Blackwell publ. Comp., 612 p.

AMLER, R., 2003: Silomaisreife und Sortenwahl nach Maß – Optimale Silierreife von Silomais und Produktionssicherheit in der Tierproduktion durch erntenahe Bestandesführung mittels Messung der Kornabreife. Berichte Landw. 81, 392-404

BATAJOO, K.K. und D. SHAVER, 1998: *In situ* dry matter, crude protein, and starch degradabilities of selected grains and by-product feeds. Anim. Feed Sci. and Technol. 71, 165-176

BAYLEY, C.B., 1962: Rates of digestion of swallowed and unswallowed dried grass in the rumen. Can. J. of Anim. Sci. 42, 49-54

BENNETZEN, J.L. and S.C. HAKE, 2009: Handbook of maize. 1st ed. Springer publ. comp. 600 S.

BÖHM, M., F.J. SCHWARZ und M. KIRCHGEßNER, 1983: Zum Futterwert von Maissilage mit unterschiedlicher Reife bei der Silierung. Bayr. landw. Jahrbuch 60, 892-902

BRÜSEMEISTER, F. 2008: Die Bedeutung der NDF von Maissilage für die Futteraufnahme von Milchkühen. Status Quo und künftige Entwicklungen. Öffentliche Sitzung des DMK-Ausschusses Futterkonservierung und Fütterung. 12/13.03.2008

CAMPELL, N.A., 2000: Biologie. 2. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, Berlin, Oxford. 1440 S.

CERNEAU, P. and B. MICHALET-DOREAU, 1990: *In situ* starch degradation of different feeds in the rumen. Reprod. Nutr. Dev. 31, 65-72

CONE, J.W., 1991: Degradation of starch in feed concentrates by enzymes, rumen fluid and rumen enzymes. J. Sci. Food Agric. 54, 23-34

CONE, J.W., A.H. VAN GELDER, H. BACHMANN and V.A. HINDLE, 2002: Comparison of organic matter degradation in several feedstuffs in the rumen as determined with the nylon bag and gas production techniques. Anim. Feed Sci. and Technol. 96, 55-67

CONE, J.W., A.H. VAN GELDER and W.Z. CHAI, 2006: Fermentation behaviour of the nylon bag washout and degradable fractions determined with the gas production technique. Anim. Feed Sci. and Technol. 127, 319-326

DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft), 1997: DLG Futterwerttabelle für Wiederkäuer. 7. Auflage. DLG-Verlag, Frankfurt, 212 S.

DULPHY, J.-P., C. DEMARQUILLY, R. BAUMONT, M. JAILLER, L. L'HOTELIER and C. DRAGOMIR, 1999: Study of modes of preparation of fresh and conserved forage samples for measurement of their dry matter and nitrogen degradations in the rumen. Ann. Zootech. 48, 275-288

ETTLE, T., 2001: Vergleichende Untersuchungen zur Protein- und Stärkebewertung in der Milchviehfütterung. Diss., Techn. Univ. München

ETTLE, T., P. LEBZIEN, G. FLACHKOWSKY and F.J. SCHWARZ, 2001: Effect of harvest date and variety of ruminal degradability of ensiled maize grains in dairy cows. Arch. Anim. Nutr. 55, 69-84

FIGROID, W., W.H. HALE and B. THEURER, 1972: An evaluation of the nylon bag technique for estimating rumen utilization of grains. J. Anim. Sci. 35, 113-120

FLACHOWSKY, G. und M. SCHNEIDER, 1992: Influence of various straw-to-concentrate ratios on in sacco dry matter degradability, feed intake and apparent digestibility in ruminants. Anim. Feed Sci. and Technol. 38, 199-217

FLACHKOWSKY, G., A. SCHNEIDER, W. PEYKER und K. HENKEL, 1993: Einfluss von Sorte und Vegetationsstadium auf den In-Sacco-Abbau von Maispflanzenfraktionen. 9. Maiskongress, 24. – 25. März 1993 Köln

FORSBERG, C.W. and K. LAM, 1977: Use of adenosine 5-triphosphate as an indicator of the microbiota biomass in rumen contents. Appl. and Environ. Microbiol. 33, 528-537

FRANDSON, R., W.L. WILKE and A.D. FAILS, 2009: Anatomy and physiology of farm animals. 7th ed. Wilkey-Blackwell publ. comp., 488 p.

FRENCH, D., 1973: Chemical and physical properties of starch. J. Anim. Sci. 37, 1048-1061

FUWA, H., D.V. GLOVER, F. SHUZO, Y. SUGIMOTO, N. INOUCHI, M. SUGIHARA, S. YOSHIOKA and K. YAMADA, 1999: Structural and physicochemical properties of endosperm starches processing different alleles at the amylose-extender and waxy locus in maize (*zea mays*). Starch 51, 147-151

GASTEINER, J., L. GRUBER, M. URDL, M. FALLAST, M. ROSENKRANZ, J. HÄUSLER, K. SCHNEIDER und T. GUGGENBERGER, 2008: Zum Verhalten des pH-Wertes im Pansen bei Verfütterung von Silomais. Vortrag Fütterungsreferententagung.

GOSSELINK, J. M. J., J. P. DULPHY, C. PONCET, S. TAMMINGA and J. W. CONE, 2004: A comparison of *in situ* and in vitro methods to estimate *in vivo* fermentable organic matter of forages in ruminants. NJAS 52:1, 29-45

GROSS, F., 1970: Einfluss des Erntezeitpunktes au den Futterwert von Maisgärfutter. Wirtschaftseig. Futter 16, 306-336

GROSS, F., 1979: Nährstoffgehalt und Verdaulichkeit von Silomais. 1. Miteilung: Bewertung von Silomais. Wirtschaftseig. Futter 25:2, 215-225

GROß, F. und W. PESCHKE, 1980: Nährstoffgehalt von Silomais. 3. Mitteilung: Nährstoffgehalt und Verdaulichkeit der Maiskolben. Wirtschaftseig. Futter 26:2, 184-192

GROß, F. und W. PESCHKE, 1980: Nährstoffgehalt und Verdaulichkeit von Silomais. 4. Mitteilung: Einfluss der Kolbenbildung auf Nährstoffgehalt und Verdaulichkeit von Silomais. Wirtschaftseig. Futter 26:3, 193 - 206

GROß, F., 1986: Der Stärkegehalt in Silomais und seine Beziehungen zum Kolbenanteil und Nettoenergiegehalt. Wirtschaftseig. Futter 32:2, 141-152

GRUBER, L., H. KOPAL, F. LETTNER und F. PARRER, 1983: Einfluss des Erntezeitpunktes auf den Nährstoffgehalt und den Ertrag von Silomais. Wirtschaftseig. Futter 29, 87-109

GRUBER, L., T. GUGGENBERGER, A. STEINWIDDER, J. HÄUSLER, A. SCHAUER, R. STEINWENDER und B. STEINER, 2001: Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen auf Basis der Fütterungsversuche der BAL Gumpenstein. Bericht 28. Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL Gumpenstein, 2.-3. Mai 2001, 11-36

GRUBER, L., F.J. SCHWARZ, D. ERDIN, B. FISCHER, H. SPEIKERS, H. STEINGAß, U. MEYER, A. CHASSOT, T. JILG, A. OBERMAIER und T. GUGGENBERGER, 2004: Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen – Datenbasis von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. Forum angewandte Forschung 24, Pub 2647, 1-17

GRÜNER BERICHT, 2009: Herausgeber: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, gemäß § 9 des Landwirtschaftsgesetzes, BGBl. Nr: 375/1992, Wien: 337 S.

HAARHOFF, S.F., 1990: Abhängigkeit der Ertrags-, Reife- und Qualitätsmerkmale vom Entwicklungsstadium und Pflanzentyp bei Silomais. Diss., Universität Hohenheim, 3-77

HÖNER, K., P. LEBZIEN, T. ETTLE, F.J. SCHWARZ und G. FLACHOWSKY, 2002: Einfluss von Silagen aus unterschiedlichen Maishybriden auf die Umsetzungen im Verdauungstrakt von Kühen. Landbauforschung Völkenrode 52, 149-156

HONIG, H. und K. ROHR, 1982: Zur Bedeutung des Zerkleinerungsgrades von Silomais. 1. Mitteilung: Einfluss des Zerkleinerungsgrades auf die Verluste durch unverdaut ausgeschiedene Körner und Körnerbruchstücke. Wirtschaftseig. Futter, 182-192

HUNTINGTON, J.A., 1997: Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. J. Anim. Sci. 75, 852-867

HUNTINGTON, J.A. and D.I. GIVENS, 1995: The in situ technique for studying the rumen degradation of feeds: a review of the procedure. Nutr. Abstr. and Rev. (Series B) 65:2, 63 – 93

HUNTINGTON, J.A. and D.I. GIVENS, 1997: 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. and Technol. 64, 227-241

HUNTINGTON, J.A. and D.I. GIVENS, 1997: Studies on *in situ* degradation of feeds in the rumen: 2. The effect of bag numbers incubated and post-incubation processing of residues. Anim. Feed Sci. and Technol. 68, 115-129

HUNTINGTON, J.A. and D.I. GIVENS, 1997: Studies on *in situ* degradation of feeds in the rumen. 3. The effect of freezing forages before and after rumen incubation. Anim. Feed Sci. and Technol. 68, 131–138

JENSEN, C., M.R. WEISBJERG, P. NØRGAARD and T. HVELPLUND, 2005: Effect of maize silage maturity on site of starch and NDF digestion in lactating dairy cows. Anim. Feed Sci. and Technol. 118, 279-294

JEROCH, H., H. SOUFFRANT, I. MEWES, G.FREYGANG, R. ACKERMANN und W. RÖTSCHKE, 1987: Ertragsleistungen und Futterwert neuer Silomaishybriden. 2. Mitteilung: Futterwert. Tierern. und Fütt. – Erfahrungen, Ergebnisse, Entwicklungen 15, 291-300

JEROCH, H., W. DROCHNER und O. SIMON, 1999: Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 544 S.

KIRCHGEßNER, M., 2004: Tierernährung. 11. Auflage, DLG-Verlag Frankfurt-Main, 608 S.

KOTARSKI, S.F., WANISKA, R.D., and THURN, K.K. (1992): Starch hydrolysis by the ruminal microflora. J. Nutr. 122, 178-190

KURTZ, H., 2006: Vergleichende Untersuchungen zum Einfluss der Pflanzengenetik und der physiologischen reife von Körnern und Restpflanzen verschiedener maishybriden auf die ruminale Abbaubarkeit. Diss., Technische Universität München 264 S.

LINDBERG, J.E., 1981A: The effect of sample size and sample structure on the degradation of dry matter, nitrogen and cell walls in nylon bags. Swedish J. Agric. Res. 11, 159-169

LEBZIEN, P., J. SHOO, V. MANCINI, K. JOCHMANN und G. FLACHOWSKY, 1997: Vergleich der *in situ*-Abbaubarkeit verschiedner Sorten von Körnermais. Proc. Soc. Nutr. Physiol 6, 104

LOOSE, K. (1999): Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Körnermaishybriden auf die Stärke- und Proteinumsetzungen im Verdauungstrakt von Milchkühen. Diss., Tierärztliche Hochschule Hannover.

MAHLKOW-NERGE, K., 2004: Neues zur Maissilage: Teil 1: Einfluss der Konservierung auf den Abbau im Pansen. Teil 2: Auswirkungen unterschiedlicher Häcksellängen auf die Strukturversorgung der Milchkuh. Tagungsbericht, TÄ-Tagung Göttingen, 27-44

MAIERHOFER, R. und A. OBERMAIER, 2002: Vergleichender Einsatz von Maissilage verschiedener Maissorten in der Fütterung von Milchkühen. Gruber Info 2, 42-48

MARINUCCI, M.T., B.A. DEHORITY and 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

MATTHÉ, A., P. LEBZIEN and G. FLACHOWSKY, 1999: Influence of maize grain drying process on *in situ* degradability in dairy cows. J. Anim. and Feed Sci. 8, 379-386

MATTHÉ, A., 2001: Nährstoffumsetzungen im Verdauungstrakt des Rindes nach Einsatz unterschiedlicher Mengen an Mais- und Weizenstärke. Diss., Universität Gießen, 130-133

MCDONALD, I., 1981: Short note. A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. J. agric. Sci. 96, 251-252

MERTENS, D.R., 1993: Rate and extent of digestion. In: Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism, J.M. Forbes & J. France (Eds.), UK, CAB International, 13-51

MEYER, J.H.F. and R.I. MACKIE, 1986: Microbiological evaluation of the intraruminal in sacculus digestion technique. Appl. and Environ. Microbiol. 51:3, 622 - 629

MICHALET-DOREAU, B. and P. CERNEAU, 1991: Influence of foodstuff particle size on *in situ* degradation of nitrogen in the rumen. Anim. Feed Sci. and Technol. 35, 69-81

MICHALET-DOREAU, B. and M. CHAMPION, 1995: Influence of maize genotype on rate of ruminal starch degradation. Ann. zootech. 44, 191

MICHALET-DOREAU, B. and 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. and Technol. 40, 57-86

MÜLLER, K., 2011: Prüfung des Futterwertes von Silomais – *in situ*-Abbau der Trockenmasse und Verdaulichkeit *in vivo* der Rohnährstoffe. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien

MULLIGAN, F.J., J. QUIRKE, M. RATH, P.J. CAFREY and F.P. O'MARA, 2002: Intake, digestibility, milk production and kinetics of digestion and passage for diets based on maize or grass silage fed to late lactation dairy cows. Livestock production sci. 74, 113-124

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. and J.E. ENGLISH, 1986: *in Situ* degradation kinetics: Evaluation of rate determination procedure. J. Dairy Sci. 69, 77-87

NOCEK, J.E., 1987: Characterization of *in situ* dry matter and nitrogen digestion of various corn grain forms. J. Dairy Sci 70, 2291-2301

NOCEK, J.E., 1988: *In situ* and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. J. Dairy Sci. 71, 2051 – 2069

NOZIÈRE, P. and B. MICHALET-DOREAU, 1996: Validation of in sacco method: influence of sampling site, nylon bag or rumen contents on fibrolytic activity of solid-associated microorganisms. Anim. Feed Sci. and Technol. 57, 203-210

ØRSKOV, E.R. and I. MCDONALD, 1979: The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. Agric. Sci. (Camb.) 92; 499-503

ØRSKOV, E.R., F.D. HOVELL and F. MOULD, 1980: The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. Trop. Anim. Prod. 5:3, 195-213

ØRSKOV, E.R. and M. RYLE, 1990: Energy nutrition in ruminants. Elsevier Applied Science. London, 102-105

OWENS, F.N., R.A. ZINN and Y.K. KIM, 1986: Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. J. Anim. Sci. 63, 1634-1648

PEREIRA; N.P., R.G. VON PINHO, R.G. DA SILVA BRUNO and G.A. CALESTINE, 2004: Ruminal degradability of hard or soft texture corn grain at three maturity stages. Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.) 61, 358-363

PEX, E. J., F. J. SCHWARZ und M. KIRCHGEßNER, 1996: Zum Einfluss des Erntezeitpunkts von Silomais auf Verdaulichkeit und Energiegehalt von Maissilage bei Rind und Schaf. Wirtschaftseig. Futter 42, 83-96

PHILIPPEAU, C. and B. MICHALET-DOREAU, 1997: Influence of genotype and stage of maturity of maize on rate of ruminal starch degradation. Anim. Feed Sci. and Technol. 68, 25-35

PHILIPPEAU, C. and B. MICHALET-DOREAU, 1998: Influence of genotype and ensiling of corn grain on *in situ* degradation of starch in the rumen. J. Dairy Sci. 81, 2178-2184

PHILIPPEAU, C., F. LE DESCHAULT DE MONREDON and B. MICHALET-DOREAU, 1999: Relationship between ruminal starch degradation and the physical characteristics of corn grain. J. Anim. Sci. 77, 238-243

PREISSINGER, W., F.J. SCHWARZ und M. KIRCHGEßNER, 1998: Zum Einfluss der Zerkleinerung von Maissilage auf Futteraufnahme, Milchleistung und Milchzusammensetzung von Kühen. Arch. Anim. Nutr. 51, 327-339

RESCH, R., 2009: Aufbau, Struktur und Bedeutung der Futterwerttabellen für das Grundfutter im Alpenraum. 15. Alpenländisches Expertenforum 2009, 15-20

ROBINSON P.H. and R.E. MCQUEEN, 1997: Influence of level of concentrate allocation and fermentability of forage fiber on chewing behaviour and production of dairy cows. J. Dairy. Sci. 80, 681-691

ROHR, K., P. LEBZIEN, H. SCHAFFT und H. HONIG, 1986: Zum Einfluss einer intensiven Nachzerkleinerung von Maissilagen auf die Stoffumsetzungen in den Vormägen der Milchkühe. J. Anim. Physiol. and Anim. Nutr. 55, 121-128

ROONEY, L.W. and R.L. PFLUGFELDER, 1986: Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. J. Anim. Sci. 63, 1607-1623

RUSSEL, J.B., J.D. O'CONNOR, D.G. FOX, P.J. VAN SOEST and C.J. SNIFFEN, 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: 1. Ruminal fermentation. J. Anim. Sci. 70, 3551-3561

SCHNEIDER, A., R. WIRTH, G.H. RICHTER und G. FLACHKOWSKY, 1994: Einfluss unterschiedlicher Erntetermine auf den Abbau zerkleinerter frischer und trockener Maiskörner im Pansen. VDLUFA Schriftreihe 38, 809-812

SCHWARZ, F.J., E.J. PEX und M. KIRCHGEßNER, 1996: Zum Sorteneinfluss von Silomais auf Verdaulichkeit und Energiegehalt von Maissilage bei Rind und Schaf. Wirtschaftseig. Futter 42, 161-172

SCHWARZ, F.J. und T. ETTLE, 2000: Erntezeitpunkt, Sorte und deren Einfluss auf Inhaltsstoffe, Verdaulichkeit und *in situ*-Abbaubarkeit der Stärke von Silomais. Wissenschaftliche Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Sonderheft 217, 102-115

SENGHAS, K. und S. SEYBOLD, 2003: Schmeil. Fitschen. Flora von Deutschland und angrenzender Länder. Ein Buch zum Bestimmen der wildwachsenden und häufig kultivierten Gefäßpflanzen. 92. Auflage. Quelle und Meyer Verlag Wiebelsheim, 864 S.

SNIFFEN, C.J., J.D. O'CONNOR, P.J. VAN SOEST, D.G. FOX and J.B. RUSSEL, 1992: A net carbohydrate and proteinsystem for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. J. Anim. Sci. 70, 3562-3577

SPIEKERS, H., T. ETTLE, W. PREIßINGER und M. PRIES, 2009: Häcksellänge und Strukturwert von Maissilage. Übers. Tierernährg. 37, 91-102

STÖGMÜLLER, G., 2005: Futterbewertung von Kraftfuttermitteln auf Basis des Cornell Net Carbohydrate and Protein Systems (CNCPS) und der *in situ*-Methode. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.

STRITZLER, N.P., T.A. HVELPLUND and J. WOELSTRUP, 1990: The influence of the position in the rumen on dry matter disappearance from nylon bags. Acta Agricult. Scand. 40, 315-319

SÜDEKUM, K.-H., 2005: Möglichkeiten und Grenzen einer Standardisierung der *in situ*-Methodik zur Schätzung des ruminalen Nährstoffabbaus. Übers. Tierernährg. 33, 71-86

TAFERNER, K.C., 2006: Einfluss von Vegetationsstadium, Sorte, Konservierung und Standort von Silomais auf den Gehalt an Protein und Kohlenhydraten nach dem Cornell-System und auf den *in situ*-Abbau. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien

THOMET, P., D. DUBOIS, T. RIHS und J. TROXLER, 1988: Prüfung der Verdaulichkeitsunterschiede von fünf ausgewählten Maissorten. Sonderdruck „Mitteilungen f. d. schweizerische Landwirtschaft", Jahrgang 34, 61-72

UDÉN, P. and 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

VAN HELLEN, R.W. and W.C. ELLIS, 1977: Sample container porosities for rumen *in situ* studies. J. Anim. Sci 44, 141-146

VAN KEUREN, R.N. and 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., 1994: Nutritional Ecology of the ruminant. Cornell University Press, 2nd ed., 476 S.

VAZANT, E.S., R.C. COCHRAN and E.C. TITGEMEYER, 1998: Standardization of *in situ* techniques for ruminant feedstuff evaluation. J. Anim. Sci. 76, 2717-2729

WEAKLEY, D.C., M.D. STERN and L.D. SATTER, 1983: Factors affecting disappearance of feedstuffs from bags suspended in the rumen. J. Anim Sci. 56, 493-507

WERMKE, M., 1985: Trockenmasse-(TM)-Ertrag, Gerüstsubstanzgehalt und Verdaulichkeit von Silomais in Abhängigkeit von Genotyp, Pflanzenalter und Standort. Landwirtsch. Forschung 38, 384 - 294

WERMKE, M. und K. ROHR, 1985: Einfluss der Bestandesdichte auf die Ertragsleistung, Siliereignung und den Futterwert von Silomais. 1. Mitteilung: Trockenmasse- und Energieertrag, stoffliche Zusammensetzung und Silagequalität. Wirtschaftseig. Futter 32, 20 - 30

WOLFSTRUP, J. and K. JENSEN, 1978: Adenosine triphosphate and deoxyribonucleic acid in the alimentary tract of cattle fed different nitrogensources. J. of Appl. Bacteriology 45, 49-56

ZSCHEISCHLER, J., F. GROSS und L. HEPTING, 1974: Einfluss von Schnittzeit, Sorte und Standweite auf Ertrag und Futterwert von Silomais. Bayr. landw. Jahrbuch 51, 611-626

ZSCHEISCHLER, J., M.C. ESTLER, W. STAUDACHER, F. GROß, G. BURGSTALLER, H. STREYL und T. RECHMANN, 1990: Handbuch Mais.

Umweltgerechter Anbau. Wirtschaftliche Verwertung. 4. Auflage, DLG-Verlag Frankfurt, 58; 217, 218

INTERNETQUELLEN

- http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe7100/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm (besucht am 9.11.09)
- http://www.statistik.at/web_de/statistiken/land_und_forstwirtschaft/index.html (besucht am 10.1.10)
- http://www.ages.at/ages/landwirtschaftliche-sachgebiete/sorte/bsl/mais/ (besucht am 30.3.10)

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Rechte Lateralansicht der Wiederkäuermägen (Frandson et al. 2003) 11

Abbildung 2: Aufbau des Pansens (Jeroch et al. 1999) 13

Abbildung 3: Die Maispflanze. a) männliche Rispe. b) weibliche Ähre. 17

Abbildung 4: Schematische Darstellung der Zusammensetzung des Maiskorns (nach HALL 2002, zitiert in KURTZ 2006) 26

Abbildung 5: Beziehung zwischen *in situ*-Stärkeabbaubarkeit von Maiskörnern und der Vitreousness; ▲ = Hartmais, ■ = Zahnmais (nach PHILIPPEAU und MICHALET-DOREAU 1997) 28

Abbildung 6: Regulierung der Futteraufnahme bei Wiederkäuern (nach GRUBER et al. 2001) 32

Abbildung 7: Wichtige Schritte im Ablauf der *in situ*-Methode (nach Südekum 2005) 34

Abbildung 8: Asymptote des ruminalen Abbaus eines Futtermittels (nach Huntington und Givens 1995) 35

Abbildung 9: Beispiel eines Nylonbags 46

Abbildung 10: Statistisches Modell und Parameter 55

Abbildung 11: Anteile der Fraktion a zu zwei Reifezeitpunkten 66

Abbildung 12: Anteile der Fraktion b zu zwei Reifezeitpunkten 66

Abbildung 13: Abbauraten (c) zu zwei Reifezeitpunkten 67

Abbildung 14: Ruminale Abbaukurven der Maishybriden zu zwei Reifezeitpunkten bis zu einer Inkubationszeit von 48 Stunden 72

Abbildung 15: Effektive Abbaubarkeit der Reifegruppen bei unterschiedlichen Passageraten 77

Abbildung 16: Effektive Abbaubarkeit der Sorten bei einer Passagerate von 2 % h^{-1} 77

Abbildung 17: Effektive Abbaubarkeit der Sorten bei einer Passagerate von 5 % h^{-1} 78

Abbildung 18: Effektive Abbaubarkeit der Sorten bei einer Passagerate von 8 % h^{-1} 78

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Nährstoffgehalt von frischem und silierten Futtermais mit mittlerem Kolbenanteil in Abhängigkeit des Reifestadiums (nach DLG 1997, abgeändert) 23

Tabelle 2: Zum Nährstoffbedarf von Milchkühen für verschiedene Milchleistungen (nach KIRCHGEßNER 2004) 30

Tabelle 3: Charakterisierung der Maissorten 44

Tabelle 4: Übersicht der Inkubationsstufen und der Einwaage 47

Tabelle 5: Charakterisierung der Versuchstiere 51

Tabelle 6: Das experimentelle Design 52

Tabelle 7: Kolbenanteil und Kolbentrockenmasse der Reifegruppen zu zwei Reifezeitpunkten 58

Tabelle 8: Erntetermin, Kolbenanteil und Kolbentrockenmasse der untersuchten Maissorten 58

Tabelle 9: Nährstoffgehalte der Maiskolben zu zwei Reifezeitpunkten 60

Tabelle 10: Kennzahlen des *in situ*-Trockenmasseabbaus von KS-Silage 64

Tabelle 11: Gemittelte Messwerte des ruminalen Abbaus (%) der Reifegruppen zu zwei Reifezeitpunkten (RZP 1 und 2) im Inkubationsverlauf 70

Tabelle 12: Messwerte des ruminalen Abbaus (%) der Maissorten zu zwei Reifezeitpunkten (RZP 1 und 2) im Inkubationsverlauf 73

Tabelle 13: Erntedaten und TM-Gehalte der neun Maissorten zum Zeitpunkt der Ernte 79

Tabelle 14: Kolbenanteile und TM-Gehalte Reifegruppen zum Zeitpunkt der Ernte 80

Tabelle 15: Kohlenhydratfraktionen und Energiegehalte nach Reifegruppen 82

Tabelle 16: Nährstoffgehalte der Maissilagen, des Heus und des Kraftfutters 83

Tabelle 17: Ergebnisse des Fütterungsversuches mit Milchkühen 86

11 Abkürzungen

ADF	Acid Detergent Fibre
ADL	Acid Detergent Lignin
ECM	energy corrected milk
FAO	Food and Agriculture Organisation
FFS	Flüchtige Fettsäuren
GTM	Gesamttrockenmasse
HZ	Kreuzung der Genotypen Hartmais und Zahnmais
Hz	Genotyp Hartmais mit geringen Genanteilen aus Zahnmais
KA	Kolbenanteil
KS	Kolbenschrot
KTM	Kolbentrockenmasse
NFC	Non Fiber Carbohydrate
NfE	Stickstofffreie Extraktstoffe
nXP	nutzbares Rohprotein
OS	Organische Substanz
RNB	ruminale Stickstoffbilanz
RZP	Reifezeitpunkt
RZ	Reifezahl
TM	Trockenmasse
UDP	Undegradable Protein
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
Z	Zahnmais