

Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften  
der Naturwissenschaftlichen Fakultät III  
der  
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

# Untersuchungen zur Futteraufnahme und Futterselektion weidender Rinder unter Nutzung von *n*-Alkanen

Dissertation

Zur Erlangung des akademischen Grades  
doctor agriculturarum (Dr. agr.)

vorgelegt von  
Dipl.-Ing. agr.  
Linda Peters

geb. am 21.07.1980  
in Magdeburg

Gutachter: Prof. Dr. M. Rodehutschord  
Prof. Dr. H. H. Swalve  
Prof. Dr. H. Abel

Datum der Verteidigung: 28.01.2008

**urn:nbn:de:gbv:3-000013062**

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=nbn%3Ade%3A3Agbv%3A3-000013062>]



## Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis .....	7
Verzeichnis der Abbildungen .....	10
Verzeichnis der Abkürzungen.....	11
<b>1. Einleitung</b>	<b>15</b>
<b>2. Literaturübersicht</b>	<b>17</b>
2.1 Methoden zur Schätzung der Futteraufnahme.....	17
2.2 Methoden zur Schätzung der botanischen Zusammensetzung des Futters .....	20
2.3 Einsatz von Markersubstanzen.....	21
2.3.1 Allgemeines.....	21
2.3.2 <i>n</i> -Alkane als Marker .....	23
<b>3. Fragestellungen</b>	<b>37</b>
<b>4. Material und Methoden</b>	<b>39</b>
4.1 Allgemeiner Teil.....	39
4.1.1 Weideflächen.....	39
4.1.2 Tiere.....	43
4.1.3 Markerapplikation .....	43
4.2 Untersuchungen zu Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe und der Wiederfindung der Alkane .....	44
4.2.1 Weidesaison 2004.....	44
4.2.2 Weidesaison 2005.....	45
4.2.3 Haltung .....	46
4.2.4 Fütterung und Futtermittel.....	46
4.2.5 Probengewinnung und -aufbereitung .....	47
4.3 Untersuchungen zur Futteraufnahme auf der Weide.....	48
4.3.1 Weidesaison 2004.....	49
4.3.2 Weidesaison 2005.....	49
4.3.3 Probengewinnung.....	50
4.3.4 Probenaufbereitung.....	52
4.4 Vergleich verschiedener Trocknungsmethoden .....	52
4.5 Ermittlung der Alkankonzentrationen in einzelnen Pflanzenarten.....	52
4.6 Ermittlung der Abgabe des externen Markers aus den Pansenkapseln .....	53

4.7	Analytik.....	53
4.7.1	Weender Rohnährstoffe und Detergentienfasern .....	53
4.7.2	Aufschluss zur Analyse der Alkane .....	54
4.7.3	Gaschromatographische Analyse der Alkane .....	56
4.8	Berechnungen und statistische Methoden.....	57
4.8.1	Berechnung der Alkankonzentrationen.....	57
4.8.2	Berechnung der Wiederfindung .....	58
4.8.3	Schätzung der Futteraufnahme mittels Markermethode .....	59
4.8.4	Schätzung der Futterselektion .....	60
4.8.5	Verdaulichkeitsbestimmung mittels Bilanzierung .....	60
4.8.6	Verdaulichkeitsbestimmung mittels Markermethode .....	61
4.8.7	Berechnung der Energiekonzentrationen .....	61
4.8.8	Statistische Methoden .....	62
<b>5.</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>63</b>
5.1	Alkankonzentrationen in einzelnen Pflanzenarten.....	63
5.2	Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe und Wiederfindungen der Marker .....	67
5.2.1	Alkankonzentrationen in Futter und Kot.....	67
5.2.2	Wiederfindung der Alkane .....	69
5.2.3	Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe und Energiekonzentrationen .....	70
5.2.4	Validierung der mittels Markermethode geschätzten Verdaulichkeiten ...	71
5.2.5	Validierung der mittels Markermethode geschätzten Futteraufnahmen ...	72
5.3	Ermittlung der Abgabe des externen Markers aus den Pansenkapseln.....	74
5.4	Untersuchungen auf der Weide .....	76
5.4.1	Alkankonzentrationen in Futter und Kot.....	76
5.4.2	Schätzung der Futteraufnahme.....	78
5.4.3	Schätzung der Futterselektion .....	80
5.4.4	Schätzung der Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe.....	81
5.5	Vergleich verschiedener Trocknungsmethoden .....	82
<b>6.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>87</b>
6.1	Methodische Aspekte bei der Verwendung von Alkanen als Marker.....	88
6.2	Alkankonzentrationen in Futterpflanzen.....	93
6.3	Anwendungsbereiche für Alkane als Marker.....	96
6.3.1	Bedeutung der Wiederfindung .....	96
6.3.2	Schätzung der Futteraufnahme und Selektion.....	98

6.3.3 Schätzung der Verdaulichkeit.....	104
<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>107</b>
<b>7. Zusammenfassung</b>	<b>109</b>
<b>Summery</b>	<b>113</b>
<b>Referenzen</b>	<b>115</b>
<b>Tabellenanhang</b>	<b>131</b>



## Tabellenverzeichnis

	Seite
1	Konzentrationen ausgesuchter Alkane (mg/kg T) in verschiedenen Pflanzenarten .....25
2	Übersicht des Versuchsdesigns in den Verdaulichkeitsuntersuchungen.....45
3	Mittlere, analysierte Parameter der eingesetzten Futtermittel in den Verdaulichkeitsuntersuchungen der Jahre 2004 und 2005 .....47
4	Übersicht des Versuchsdesigns in den Experimenten zur Futteraufnahme auf der Weide.....49
5	Mittlere, analysierte Gehalte der eingesetzten Futtermittel in den Versuchen zur Futteraufnahme im Jahr 2005 .....50
6	Konzentrationen der Alkane (mg/kg T, Mittelwerte und s) im Futter der Verdaulichkeitsuntersuchungen der Jahre 2004 und 2005 .....67
7	Konzentrationen der Alkane (mg/kg T, Mittelwerte und s) im Kot der Tiere in den Verdaulichkeitsuntersuchungen der Jahre 2004 und 2005 .....69
8	Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe (%) und berechnete Energiekonzentrationen (MJ/kg T, Mittelwerte und s).....71
9	Gegenüberstellung der über Bilanzierung gemessenen Trockensubstanzverdaulichkeiten (Mittelwerte und s, %) und der mittels der Alkane C27, C29, C31 und C33 geschätzten Verdaulichkeiten der Trockensubstanz.....72
10	Gegenüberstellung der gemessenen Futteraufnahme (FA <sub>M</sub> ) und mittels Markermethode geschätzten Futteraufnahme (FA <sub>S</sub> ) (Mittelwerte und s, kg T/ Tag und Tier).....73
11	Konzentrationen der Alkane (mg/kg T) im Weidegras und in der Grassilage der Untersuchungen zur Futteraufnahme auf der Weide .....77
12	Konzentrationen der Alkane (Mittelwerte und s, mg/kg T, n = 6) im Kot der Tiere in den Untersuchungen zur Futteraufnahme .....78
13	Geschätzte Höhe der Futteraufnahme unter Verwendung der Verhältnisse von C27, C29, C31 und C33 jeweils zu C32 (Mittelwerte und s, g/kg T, n = 6).....79
14	Anteile ausgewählter Pflanzen am Gesamtertrag der Weide und deren geschätzte Anteile an der aufgenommenen Futtermenge (%) .....81

15	Geschätzte Verdaulichkeiten der organischen Masse auf Basis der Konzentrationen einzelner Alkane im Futter und Kot (Mittelwerte und s, %, n = 6) .....	82
16	Gemessene Alkankonzentrationen (Mittelwerte und s, mg/kg T) im Futter bei der Trocknung mittels Gefriertrocknung (GF) und im Umluftofen bei 65 und 105 °C.....	83
17	Gemessene Alkankonzentrationen (Mittelwerte und s, mg/kg T) im Kot bei der Trocknung mittels Gefriertrocknung (GF) und im Umluftofen bei 65 und 105 °C.....	84
18	Kalkulierte Wiederfindungen (Mittelwerte und s, %) der Alkane aus den Trocknungsmethoden Gefriertrocknung (GF) und Ofentrocknung bei 65 und 105°C.....	85
A-1	Artenzusammensetzung der genutzten Weideflächen im Frühjahr 2004.....	131
A-2	Artenzusammensetzung der genutzten Weideflächen im Frühjahr 2005.....	132
A-3	Einzelheiten zu den Versuchstieren der Jahre 2004 und 2005.....	133
A-4	Deklarierte Zusammensetzung der Mineral-Lecksteine.....	135
A-5	Mengen sowie analysierte Gehalte an Trockensubstanz, Rohnährstoffen und Detergentienfasern von Futter, Futterresten und Koten der Tiere aus den Verdaulichkeitsuntersuchungen .....	136
A-6	Analysierte Gehalte an Trockensubstanz (aus lufttrockener, bei 65°C über 24 h getrockneter Substanz), Rohnährstoffen und Detergentienfasern in Futter und Kot der Tiere aus den Untersuchungen zur Futteraufnahme im Jahr 2005 .....	139
A-7	Mengen und absolute Trockensubstanzgehalte von Futter und Kot nach Gefriertrocknung (GF) bzw. Ofentrocknung bei 65 und 105 °C .....	141
A-8	Analysierte Alkankonzentrationen (mg/kg T) in Einzelpflanzen .....	142
A-9	Verdaulichkeitsuntersuchung B04/I; Konzentrationen der Alkane (mg/kg T) in Futter (Gras) und Futterresten nach Gefriertrocknung (GF) sowie im Kot nach Gefriertrocknung und Trocknung im Ofen bei 65 und 105°C.....	144
A-10	Verdaulichkeitsuntersuchung B04/II; Konzentrationen der Alkane (mg/kg T) in Futter (Grassilage) und Kot nach Gefriertrocknung (GF) und Trocknung im Ofen bei 65 und 105°C, sowie in Futterresten nach Gefriertrocknung.....	147

A-11	Verdaulichkeitsuntersuchung B05/I; Konzentrationen der Alkane (mg/kg T) in Futter (Gras) und Kot nach Gefriertrocknung (GF) und Trocknung im Ofen bei 65 und 105°C, sowie in Futterresten nach Gefriertrocknung .....	149
A-12	Verdaulichkeitsuntersuchung B05/II; Konzentrationen der Alkane (mg/kg T) in Futter (Grassilage) und Kot nach Gefriertrocknung (GF) und Trocknung im Ofen bei 65 und 105°C, sowie in Futterresten nach Gefriertrocknung .....	151
A-13	Kalkulierte Wiederfindungen aus den Alkankonzentrationen nach Gefriertrocknung.....	153
A-14	Mittels Bilanzierung ermittelte Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe (%) und berechnete Energiekonzentrationen (MJ/kg T) .....	154
A-15	Gegenüberstellung von mittels Bilanzierung und Alkanen ermittelter Verdaulichkeiten der Trockensubstanz (%).....	155
A-16	Geschätzte Futteraufnahmen (kg T/Tier und Tag) auf Basis der Verhältnisse einzelner Alkane zueinander.....	156
A-17	Konzentrationen der Bolusalkane C32 und C36 im Kot vom 17. bis 24. Tag nach Eingabe der Boli.....	158
A-18	Untersuchung zur Futteraufnahme FA04/I; Konzentrationen der Alkane (mg/kg T) in Gras, Grassilage und Kot .....	161
A-19	Untersuchung zur Futteraufnahme FA05/I; Konzentrationen der Alkane (mg/kg T) in Gras und Kot .....	166
A-20	Untersuchung zur Futteraufnahme FA05/II; Konzentrationen der Alkane (mg/kg T) in Gras und Kot .....	174
A-21	Untersuchung zur Futteraufnahme FA05/III; Konzentrationen der Alkane (mg/kg T) in Gras und Kot .....	175
A-22	Geschätzte Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe auf der Basis von Alkanen (%) .....	176
A-23	Kalkulierte Wiederfindungen aus den Alkankonzentrationen nach Ofentrocknung bei 65 und 105 °C (%).....	179

## Verzeichnis der Abbildungen

	Seite
1 Übersicht zu Untersuchungen mit Alkanen an Nutz- und Wildtieren.....	27
2 Übersicht der für die Untersuchungen zur Verfügung stehenden Weideflächen unterschiedlichen Extensivierungsgrades.....	41
3 Bolus mit Schlundsonde .....	44
4 Alkankonzentrationen (mg/kg T) in einzelnen Pflanzenarten über mehrere Aufwüchse.....	64
5 Wiederfindungen (%) einzelner ungeradzahligter Alkane aus Gras und Grassilage und der geradzahligen Bolusalkane C32 und C36 .....	70
6 In den Untersuchungen zu den Verdaulichkeiten der Roh Nährstoffe geschätzte tägliche Abgaben der Bolusalkane (Mittelwerte und s, mg/Tag).....	74
7 Konzentrationen der Bolusalkane im Kot (Mittelwerte und s, mg/kg T, n = 6) vom 17. bis 24. Tag nach Bolusgabe bei täglich zweimaliger Probenahme (x.1 bzw. x.2).....	75
8 Konzentrationen der Bolusalkane im Kot (Mittelwerte und s, mg/kg T, n = 5) vom 17. bis 24. Tag nach Bolusgabe bei täglich zweimaliger Probenahme (x.1 bzw. x.2).....	76

## Verzeichnis der Abkürzungen

Neben den Abkürzungen des Internationalen Einheitensystems, der Deutschen Rechtschreibung laut Duden und den Symbolen chemischer Elemente des Periodensystems wurden folgende Abkürzungen verwendet:

a	Bezeichnung der ungedüngten Fläche bzw. der Herde dieser Fläche
ADF	Saure-Detergentien-Faser (acid detergent fibre)
b	Bezeichnung der gedüngten Fläche bzw. der Herde dieser Fläche
B <sub>j</sub>	mittlere tägliche Abgabe der Markeralkane
B04/I	Verdaulichkeitsuntersuchung mit Grasfütterung im Jahr 2004
B04/II	Verdaulichkeitsuntersuchung mit Grassilagefütterung im Jahr 2004
B05/I	Verdaulichkeitsuntersuchung mit Grasfütterung im Jahr 2005
B05/II	Verdaulichkeitsuntersuchung mit Grassilagefütterung im Jahr 2004
CRD	Pansenkapseln, intra-ruminal controlled-release device
C22	Dokosan
C25	Pentakosan
C26	Hexakosan
C27	Heptakosan
C28	Octakosan
C29	Nonakosan
C30	Triakontan
C31	Hentriakontan
C32	Dotriakontan
C33	Tritriakontan
C34	Tetratriakontan
C35	Pentatriakontan
C36	Hexatriakontan
C27 <sub>korrigiert</sub>	Korrektur der Fläche von C27 (C27 stellvertretend für alle Alkane)
C27 <sub>Peak</sub>	Fläche des zu C27 gehörenden Peaks
C27 <sub>relativ</sub>	relativen Wert
DOS	verdauliche organische Substanz
DXF	verdauliche Rohfaser
DXL	verdauliches Rohfett
F	mittlerer Gehalt des Alkans im Futter

FA	Futteraufnahme
FA <sub>M</sub>	gemessene Futteraufnahme
FA <sub>G</sub>	geschätzte Futteraufnahme
FID	Flammenionisationsdetektor
FA04/I	Untersuchung zur Futteraufnahme im Jahr 2004
FA05/I	1. Untersuchung zur Futteraufnahme im Jahr 2005
FA05/II	2. Untersuchung zur Futteraufnahme im Jahr 2005
FA05/III	3. Untersuchung zur Futteraufnahme im Jahr 2005
GC	Gaschromatograph
GF	Gefriertrocknung
K	mittlerer Gehalt des Alkans im Kot
KF	Korrekturfaktor
Konz.	Konzentration
K1-8	Koppeln laut Nummer
LLFG	Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau
LM	Lebendmasse
LT	Bodenart: lehmiger Ton
ME	umsetzbare Energie
MK <sub>F</sub>	Konzentration des Alkans im Futter
MK <sub>K</sub>	Konzentration des Alkans im Kot
MW	Mittelwert
n	Stichprobenumfang
NDF	Neutral-Detergentien-Faser (neutral detergent fibre)
n.e.	nicht ermittelt
NEL	Nettoenergie-Laktation
NIRS	Nahinfrarotspektroskopie
OS	organische Substanz
q	Umsetzbarkeit
re	rechts
s	Standardabweichung
sL	Bodenart: sandiger Lehm
T	Trockensubstanz
T	Bodenart Ton
Tabelle A-	Anhangstabelle laut Nummer

u.M.	unterhalb der definierten Messgrenze von 500 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
VQ	Verdaulichkeit
WF	Wiederfindung
XK <sub>F</sub>	Konzentration des Nährstoffs im Futter
XK <sub>K</sub>	Konzentration des Nährstoffs im Kot
XP	Rohprotein
XL	Rohfett
XF	Rohfaser
ZTT	Zentrum für Tierhaltung und Technik



## 1. Einleitung

Die Weidehaltung von Rindern ist ein weit verbreitetes, effektives Verfahren zur Produktion von Qualitätsfleisch. Vor allem in Ländern mit Flächen, die nicht ackerbaulich genutzt werden können, wie beispielsweise in Argentinien oder Schottland, ist diese Art der Tierhaltung und -fütterung eine ökonomische Form der Futterveredelung.

In Deutschland werden überwiegend Mutterkühe sowie deren Nachzucht auf der Weide gehalten, während für Milchvieh eine Weidehaltung einzig auf Intensivweiden mit entsprechender Düngung und Pflege wirtschaftlich wäre. Über die extensive Nutzung mit Mutterkühen können jedoch sowohl die Weideintensität als auch die Höhe der Düngung herabgesetzt werden bei gleichzeitigem landschaftspflegerischen Effekt.

Als Hauptprodukt der Mutterkuhhaltung wird die verlustfreie Aufzucht von Kälbern mit hohen Absetzgewichten angesehen. Um dieses Ziel zu erreichen, ist eine dem Bedarf entsprechende Versorgung der Tiere unabdingbar. Die Höhe der Futteraufnahme und damit verbunden die Energieversorgung der Tiere haben demnach eine zentrale Bedeutung bei der Beurteilung des Leistungsvermögens der Tiere.

Unter Weidebedingungen kann die Futteraufnahme sehr variabel sein. Sie wird im Wesentlichen durch die angebotene Menge und die Qualität des Weidefutters bestimmt. Bezüglich der Qualität sind die Zusammensetzung des Pflanzenbestandes, der Gehalt an Nährstoffen und damit verbunden die Verdaulichkeit Faktoren, welche Einfluss auf die Höhe der Futteraufnahme haben.

Als eine Folge der Extensivierung von Grünlandflächen ist eine Zunahme des Artenreichtums im Pflanzenbestand zu beobachten, der im Jahresverlauf durchaus variabel sein kann. Je nach Artenzusammensetzung und Vegetationsstand muss daher von schwankenden Energiegehalten im Weidefutter ausgegangen werden. Diese Variabilität erschwert zusätzlich die Abschätzung der aufgenommenen Energiemenge durch die Tiere auf der Weide.

Der methodische Ansatz, sowohl die Höhe als auch die Differenzierung der Futteraufnahme hinsichtlich einzelner Arten des Pflanzenbestandes zu beschreiben, war daher Mittelpunkt zahlreicher Untersuchungen. Ohne invasive Eingriffe am Tier vorzunehmen und unter natürlichen Weidebedingungen sind für derartige Untersuchungen unverdauliche Markierungssubstanzen erforderlich. Idealerweise sind diese Stoffe bereits im Weidefutter enthalten und werden so vom Tier aufgenommen. In diese Kategorie können *n*-Alkane, langkettige Kohlenwasserstoffe und Bestandteile der pflanzlichen Wachsschicht, eingeordnet werden.



## 2. Literaturübersicht

### 2.1 Möglichkeiten zur Schätzung der Futteraufnahme

Neben Methoden, die ausschließlich bei Stallhaltung nutzbar sind, werden zur Bestimmung der Futteraufnahme auf der Weide drei grundsätzlich Ansätze beschrieben (Hodgson, 2004):

- Schätzung der Futteraufnahme am Weideaufwuchs
- Schätzung der Futteraufnahme am Tier
- Schätzung der Futteraufnahme anhand tierischer Leistung

#### **Schätzung der Futteraufnahme am Weideaufwuchs (sward methods)**

Die Methoden zur Schätzung der Futteraufnahme am Weideaufwuchs beruhen auf dem Prinzip der Differenzbildung aus dem Futterangebot und dem Futterrest (Lantinga et al., 2004). Dies bedeutet, dass die Pflanzenmasse (totale Masse der Pflanzen auf einer definierten Flächeneinheit) vor und nach dem Beweiden ermittelt wird. Aus der Differenz kann anschließend die Masse geschätzt werden, die pro Flächeneinheit von den Tieren konsumiert wurde. Entsprechend der Dauer der Weideperiode ist dabei jedoch eine Korrektur des Nachwuchses der pflanzlichen Masse vorzunehmen.

Es kann eine Klassifizierung dieser Methoden in direkt und indirekt vorgenommen werden (Frame, 1993). Die direkten Methoden beruhen auf dem Schnitt des Weideaufwuchses mit unterschiedlichen Geräten (Mäher, Motorsense etc.) bei verschiedenen Schnitthöhen sowie der anschließenden Gewichtung der Trockenmasse. Es wird eine definierte Fläche (whole-plot sampling) oder ein Teil dieser definierten Fläche (plot sub-sampling) für die Mahd und somit zur Gewinnung der Proben genutzt. Indirekte Methoden beinhalten sowohl die Beobachtung des Bestandes als auch Messungen am Bestand vor und nach der Beweidung, die mittels mathematisch-statistischer Auswertungen eine Prognose über die pflanzliche Masse liefern. Einen umfassenden Überblick zur Messung des Weideaufwuchses anhand von Schnitttechniken oder visueller Beurteilung gibt Brown (1954).

Bei der Nutzung der Methoden ist weniger die Schätzung der pflanzlichen Masse zu Beginn und zum Ende der Weideperiode als die Abschätzung des Nachwuchses bei längerer Beweidung mit Fehlern behaftet (Lantinga et al., 2004). So bedingt allein die Heterogenität einer Weide eine hohe Variation in der Pflanzenmasse und in der Höhe der geschätzten Futteraufnahme. So können beispielsweise durch eine hohe Artenvielfalt große Unterschiede im Nachwuchs einzelner Pflanzenspezies innerhalb des Bestandes entstehen.

Darüber hinaus ist zwischen Flächengrenzen und intensiv bewachsenen Stellen, oftmals auch in Verbindung mit der Wasserverteilung im Boden, mit unterschiedlicher Pflanzenmasse innerhalb einer Weide zu rechnen.

### **Schätzung der Futterraufnahme am Tier (animal-based measurements)**

Die Bestimmung der Futterraufnahme am weidenden Tier ist sehr zeitaufwendig und arbeitsintensiv. Da direkte Möglichkeiten, wie zum Beispiel eine Bilanzierung von Aufnahme und Ausscheidung, nur unter Stallbedingungen realisierbar sind, muss zu indirekte Methoden der Futterraufnahmeschätzung am Tier gegriffen werden. Eine dieser Möglichkeiten wäre die Schätzung der Futterraufnahme anhand der bekannten Verdaulichkeit der Trockensubstanz. Demnach ergibt sich die Futterraufnahme aus den Ausscheidungen geteilt durch die Differenz der Verdaulichkeit zu 1. Die Ausscheidung kann auf der einen Seite mittels Totalsammlung (Einsatz von Kotgeschirren und Urinseparatoren) und auf der anderen Seite durch den Einsatz von Markersubstanzen (externer Marker) ermittelt werden. Unter Weidebedingungen ist die Totalsammlung nur bedingt anwendbar, da die Tiere an die Kotgeschirre gewöhnt werden müssen und ein Einfluss auf das Verhalten nicht ausgeschlossen werden kann (Penning, 2004). Die Bestimmung der Verdaulichkeit am weidenden Tier ist mittels Indikator-Methode, bei der die Konzentrationen eines unverdaulichen, im Weidefutter enthaltenen Stoffes (interner Marker) in Aufnahme und Ausscheidungen zueinander ins Verhältnis gesetzt werden, möglich. Kotb und Luckey (1972) sowie Owens und Hanson (1992) beschreiben in Überblicksarbeiten ausführlich den Einsatz von Markern, der auch in dieser Arbeit in einem späteren Kapitel genauer betrachtet werden soll.

Bei dieser Form der Schätzung der Futterraufnahme ist die Genauigkeit der Schätzung direkt von den Ausscheidungs- und Verdaulichkeitsbestimmungen abhängig. Vor allem eine Fehleinschätzung der Verdaulichkeit führt zu äquivalenten Fehlern in der geschätzten Futterraufnahme (Penning, 2004). An dieser Stelle setzt eine Markermethode an, bei der die Höhe der Ausscheidung und die Verdaulichkeiten nicht bekannt sein müssen. Allerdings ist es notwendig, zwei äquivalente Marker (intern und extern) zur Verfügung zu haben, die sich im Verdauungstrakt des Tieres gleich oder ähnlich verhalten. Mit Hilfe dieser Doppelmarkermethode kann über das Verhältnis der gemessenen Konzentrationen beider Marker in Futter und Kot und die täglich supplementierte Menge des externen Markers die Futterraufnahme berechnet werden (Dove und Mayes, 1991). Als häufig beschriebenes Beispiel seien hier *n*-Alkane, Kohlenwasserstoffverbindungen in der pflanzlichen Kutikula,

genannt (Mayes et al., 1986). So können *n*-Alkane, welche in den Pflanzen nicht oder nur in geringen Konzentrationen vorkommen, als externe Marker supplementiert werden.

Über die genannten Möglichkeiten hinaus, findet eine Technik Anwendung bei der die Tiere über relativ kurze Perioden wiederholt gewogen werden. Dabei wird über die Differenz in der Lebendmasse zu Beginn und Ende der Weideperiode, korrigiert um unvermeidbare Verluste, Kot, Harn und Wasseraufnahme, die aufgenommene Masse an Futter geschätzt (Erizian, 1932).

### **Schätzung der Futteraufnahme anhand tierischer Leistung**

Die experimentellen Arbeiten im Rahmen der Untersuchungen zur Futteraufnahme anhand tierischer Leistungen beschränken sich auf das Wiegen der Tiere und der tierischen Produkte. Diese Methoden finden demnach überwiegend Anwendung, wenn die Personal- und Laborkapazitäten begrenzt sind. Die Futteraufnahme wird dabei aus dem Gesamtbedarf der Tiere (Erhaltungsbedarf + Bedarf für die entsprechende Leistung) und dem Energiegehalt des Futters kalkuliert. Die Genauigkeit der Schätzung ist demnach direkt abhängig von der Eignung der zur Verfügung stehenden Energiegehalte des Weidefutters und der Erfassung der tierischen Leistungen (Baker, 2004). Hier liegen auch die Probleme dieser Methoden begründet, da die Energiegehalte des Weidefutters von der Pflanzenzusammensetzung und dem Beweidungszeitpunkt abhängen. Zudem kann eine Futterselektion durch die Tiere nicht ausgeschlossen werden. Demnach ist das Wissen über die Zusammensetzung des von den Tieren bevorzugten Futters eine wichtige Voraussetzung für dessen Einordnung in Futterwerttabellen und die Abschätzung der aufgenommenen Energiemenge.

Smit et al. (2005) stellten in einer Untersuchung drei Methoden aus den genannten Kategorien gegenüber. Dabei fanden in 2002 und 2003 eine Weide-Methode mit Mahd (vier aufeinander folgenden Tage), die Doppelmarker-Methode mit *n*-Alkanen sowie die Kalkulation der Futteraufnahme ausgehend vom NEL-Bedarf der Tiere und dem NEL-Gehalt des Futters Anwendung. Die Ergebnisse zeigten in beiden Jahren trotz ähnlicher Bedingungen (Lebendmassen, Milchleistung, Weidefläche etc.) deutliche Unterschiede in der geschätzten Futteraufnahme sowohl zwischen den Methoden als auch innerhalb einer Methode. Es konnte keine generelle Empfehlung zur Anwendung nur einer Methode gegeben werden. Die Ergebnisse weisen jedoch darauf hin, dass die Schätzungen mittels *n*-Alkanen eine vergleichsweise geringe Variabilität aufweisen.

## 2.2 Möglichkeiten zur Schätzung der botanischen Zusammensetzung des Futters

Da auf Weiden eine Diskrepanz zwischen der Qualität des zur Verfügung stehenden Weideaufwuchses und des tatsächlich aufgenommenen Futters besteht, stellt sich neben der Frage nach der Höhe der Futterraufnahme auch die Frage nach der botanischen Zusammensetzung des konsumierten Futters. Zur Beantwortung zeigen Holechek et al. (1982) sowie McInnis et al. (1983) einige Möglichkeiten auf, die im Folgenden kurz erläutert werden sollen.

Die Zusammensetzung des aufgenommenen Futters kann zum einen durch rein beobachtende Maßnahmen eingeschätzt werden. Die Präzision ist dabei stark von dem Prozess an sich und dem Durchführenden abhängig. Zum anderen kann die Untersuchung des Mageninhaltes zur Beurteilung der Futterzusammensetzung genutzt werden. Allerdings ist diese Technik unmittelbar an das Töten der Tiere geknüpft. Neben diesem bedeutendem Nachteil ist auch die Identifikation der Futterbestandteile nicht in jedem Fall möglich. Bei der Analyse des Kotes sind ebenfalls nicht immer klare Rückschlüsse auf die aufgenommenen Pflanzenarten möglich. Als Vorteile wären hier die nahezu unbegrenzte Probensammlung und die nur geringe Beeinträchtigung der Tiere zu nennen.

Weiterhin ist es möglich das Pflanzenmaterial, welches die Tiere aufnehmen, direkt zu untersuchen. Zur Gewinnung des Futters wird zwischen dem manuellen Pflücken und dem Einsatz von fistulierten Tieren unterschieden. Beim Anwenden der „Hand-Pflück-Methode“ werden parallel zum Tier per Hand Pflanzen gepflückt, die während des Grasens vom Tier präferiert werden (Berry et al., 2002). Bei Speiseröhrenfisteln wird das Probenmaterial mittels eines am Tier angebrachten Sammelbeutels und bei Pansenfisteln mittels Sonde gewonnen. Der Einsatz sowie die Vor- und Nachteile von mit Speiseröhren- oder Pansenfisteln ausgestatteten Tieren wurde von Van Dyne und Torell (1964) eingehend beschrieben.

Die Analyse der gewonnenen Proben und die Bestimmung der botanischen Zusammensetzung können auf mehreren Wegen erfolgen (Holechek et al., 1982; McInnis et al., 1983). Eine Möglichkeit ist das Sortieren der einzelnen Arten per Hand. Die Methode ist allerdings sehr zeitaufwändig, und die Genauigkeit ist vor allem bei einer Probengewinnung mittels Fisteln durch eine möglicherweise nicht eindeutige Identifikation der Pflanzenspezies beeinträchtigt. Darüber hinaus finden mikroskopische und chemische Analysemethoden, aber auch Methoden der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) Anwendung (Sparks und Malechek, 1968; Voleski und Coleman, 1996; Walker et al.,

2007). Sowohl die mikroskopische Analyse als auch NIRS sind sehr langwierig und arbeitsintensiv. Interne Markersubstanzen können diesen Aufwand reduzieren. So kann beispielsweise das Verhältnis von  $^{13}\text{C}$  zu  $^{12}\text{C}$  als Instrument zur Schätzung der Aufnahme von C3 und C4-Pflanzen genutzt werden (Tieszen et al., 1979), sofern beide Pflanzengruppen auf der Weide vorhanden sind. Inhaltsstoffe, die ebenfalls der Schätzung der botanischen Zusammensetzung dienlich sein können, sind die bereits genannten *n*-Alkane innerhalb der pflanzlichen Kutikula. Bei bekannten Konzentrationen der *n*-Alkane in Futter und Kot der Tiere scheint das Abschätzen der Zusammensetzung des aufgenommenen Futters möglich zu sein (Dove und Mayes, 1991; Dove und Moore, 1995). Im folgenden Kapitel soll genauer auf diese Methode eingegangen werden.

In der Literatur wurden immer wieder Vergleiche zwischen den verschiedenen Methoden angeführt (Mayes und Dove, 2000; Lee, 2004; Lee und MacGregor, 2004; Roumet et al., 2006). So stellten Roumet et al. (2006) die Schätzungen mittels NIRS und *n*-Alkanen gegenüber. Die bekannte Zusammensetzung der Proben konnte mit beiden Methoden geschätzt werden. Allerdings wurden die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf unbekannte Proben, von beispielsweise artenreichen Weiden, hinterfragt und weitere Untersuchungen zu diesem Thema angemahnt.

## **2.3 Einsatz von Markersubstanzen**

### **2.3.1 Allgemeines**

Interne und externe Markersubstanzen sowie deren Verwendung wurden bereits vielfach beschrieben (Kotb und Luckey, 1972; Faichney, 1975; Owens und Hanson, 1992; Marais, 2000). Es besteht Einigkeit darüber, dass die Markersubstanzen, extern oder intern, einige wesentliche Eigenschaften aufweisen müssen. Demnach sollte ein „Idealer Marker“ (1) nicht absorbierbar sein, (2) den Verdauungstrakt und die darin befindlichen Mikroorganismen nicht beeinflussen und auch von ihnen unbeeinflusst bleiben, (3) dem zu markierenden Substrat physikalisch ähnlich oder eng gebunden sein sowie sich analog dazu verhalten und (4) mittels präziser Methodik leicht nachweisbar sein (Faichney, 1975). Das heißt auch, dass der Marker vollständig und unverändert im Kot der Tiere wieder findbar sein muss (Kotb und Luckey, 1972). All diese Kriterien kann ein einzelner Marker nicht erfüllen. Bis zu einem gewissen Grad sind Abweichung davon aber tolerabel (Owens und Hanson, 1992).

Als interner Marker wird eine Substanz bezeichnet, die Teil des vom Tier aufgenommenen Futters ist (Marais, 2000). Diese Stoffe haben den Vorteil, dass sie bereits im zu

markierenden Substrat vorhanden sind und daher auch in Untersuchungen, in denen eine Dosierung externer Marker kompliziert ist (Wildtiere), genutzt werden können. Lignin, HCl-unlösliche Asche, Kot-Stickstoff oder *n*-Alkane gehören zu dieser Gruppe von Markern. Ohajuruka und Palmquist (1991) sowie Momont et al. (1994) nutzten Lignin und HCl-unlösliche Asche als interne Marker, die im Vergleich zur Bilanzierung korrekte Schätzungen der Verdaulichkeit der Trockensubstanz ermöglichten. Auch Bergero et al. (2001) schlussfolgerten, dass eine Ableitung der Verdaulichkeiten von Trockensubstanz sowie organischer Substanz auf der Basis der Gehalte an unlöslicher Asche möglich ist. Im Gegensatz dazu zeigten Sunvold und Cochran (1991) variable, nicht vollständige Wiederfindungen für Lignin und unlösliche Asche, die eine Nutzung als Marker zur Bestimmung der Verdaulichkeit entgegen stehen. Über Schwankungen in der Wiederfindung hinaus limitieren auch unterschiedliche chemische Eigenschaften des Markers (Lignin) in Futter und Kot den Einsatz als Verdaulichkeitsmarker (Kotb und Luckey, 1972). Bisher hat sich kein interner Marker zur Schätzung der Verdaulichkeit gänzlich bewährt (Penning, 2004).

Externe Marker sind unverdauliche Substanzen, welche den Tieren von außen auf unterschiedlichen Wegen zugeführt werden (Marais, 2000). Zu dieser Gruppe gehört beispielsweise Chromoxid ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), das häufig dem Futter beigemischt wird. Laut Kotb und Luckey (1972) ist  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  nur in sehr geringen Konzentrationen in Pflanzen enthalten und nahezu unverdaulich, was für eine Anwendung als externer Marker spricht. Allerdings kann sich dieser Marker bei mehrmaliger experimenteller Nutzung identischer Weideflächen in den Pflanzen anreichern und so zu Kontaminationen führen (Sprinkle et al., 1995).

Aufgrund des Umfangs und der Komplexität der Thematik würde die vollständige Auflistung und Erläuterung aller verfügbaren Markersubstanzen den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Zudem sind dies methodische Aspekte, die nicht im Vordergrund der vorliegenden Untersuchungen standen. Für Details zu diesem Teilaspekt soll daher auf die einschlägige Literatur verwiesen werden (Kotb und Luckey, 1972; Faichney, 1975; Sunvold und Cochran, 1991; Owens und Hanson, 1992; Marais, 2000).

Vergleiche zur Beurteilung der Güte der Futteraufnahmeschätzung über die Verdaulichkeit (*in vitro*, Lignin, HCl-unlösliche Asche) und die Ausscheidungen ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) sowie mittels Doppelmarker-Methode auf der Basis von *n*-Alkanen wurden in der Literatur vielfach vorgenommen (Dove, 1990; Piasentier et al., 1995; Malossini et al., 1996; Reeves et al., 1996; Dove, 2000; Ferreira et al., 2004). In den Untersuchungen von Piasentier et al.

(1995) und Malossini et al. (1996) mit Milchkühen und Mutterschafen war eine höhere Futteraufnahme mittels der  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ /*in vitro*-Methode (Ausscheidung mit  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  und Verdaulichkeit über *in vitro*-Untersuchungen bestimmt) im Vergleich zur Methode mit *n*-Alkanen geschätzt worden. Für den Einsatz der *n*-Alkane sprach jedoch der geringere analytische Aufwand. Darüber hinaus scheint diese Methode (*n*-Alkane) von weiteren Faktoren, welche einen Effekt auf die Verdaulichkeit haben können (beispielsweise Konzentratzufütterung), unbeeinflusst zu sein (Piasentier et al., 1995). Zudem wird der *n*-Alkan-Methode ein höheres Maß an Genauigkeit im Vergleich mit der Bestimmung der Futteraufnahme mittels Chromoxid und *in vitro*-Verdaulichkeit zugesprochen (Dove, 2000). Außerdem haben diese Markersubstanzen den Vorteil, sowohl intern in der pflanzlichen Kutikula vorhanden zu sein als auch extern dem Tier zugeführt werden zu können. Aufgrund dessen soll im Blickpunkt der weiteren Ausführungen dieses Kapitels die Verwendung von *n*-Alkanen als Marker stehen.

### 2.3.2 *n*-Alkane als Marker

Als *n*-Alkane werden innerhalb der Alkane unverzweigte, gesättigte Kohlenwasserstoffe bezeichnet. Darüber hinaus gehören verzweigte (*iso*-) und ringförmige (*cyclo*-) Alkane zu dieser Stoffgruppe. Im Folgenden werden *n*-Alkane als Alkane bezeichnet. Weiterhin erfolgt zur Vereinfachung der Nomenklatur eine Abkürzung der Alkane. Somit werden sie mit „C“ gefolgt von der Anzahl der Kohlenstoffatome im Molekül benannt (beispielsweise Dokosan = C22).

Vor mehr als 70 Jahren wiesen Chibnall et al. (1934) Alkane in der Kutikula von Pflanzen nach. Sie sind neben Ketonen, Estern, aliphatischen Alkoholen, Fettsäuren und anderen Teil einer komplexen Reihe von Inhaltsstoffen der kutikulären Wachsschicht höherer Pflanzen (Tulloch, 1976). Im allgemeinen Terminus wird pflanzliches oder kutikuläres Wachs als Komponente beschrieben, welche die äußere Oberfläche von Landpflanzen bildet (Kunst und Samuels, 2003) und vor allem Schutz vor biotischen und abiotischen Stressfaktoren bietet (Jeffree, 1986; Jenks und Ashworth, 1999).

Tulloch (1976) zeigt in einer Überblicksarbeit zu pflanzlichen Wachsen, dass Alkane, Monoester und primäre Alkohole in den meisten Pflanzen in verschiedenen Konzentrationen vorkommen, wohingegen die Stoffgruppen der verzweigten oder ungesättigten Kohlenwasserstoffe nur in bestimmten Pflanzen in sehr geringen Mengen analysiert wurden.

Die Konzentrationen der Alkane variieren zwischen Pflanzenarten und Sorten sowie einzelnen Pflanzenteilen (Baker und Klein, 1994; Dove et al., 1996; Dawson et al., 2000; Smith et al., 2001; Ferreira et al., 2007). Darüber hinaus wurden auch im Jahresverlauf sowohl innerhalb als auch zwischen verschiedenen Aufwüchsen variable Alkanmuster gefunden (Dove et al., 1999; Nielsen et al., 2003; Zhang et al., 2004; Ferreira et al., 2005; Cortes et al., 2006; Lin et al., 2006). Tabelle 1 gibt einen Überblick zur Variabilität der Alkankonzentrationen zwischen und innerhalb einiger, in Mitteleuropa häufig auf Weiden anzutreffender Gräser- und Leguminosenarten. Dabei wurden vor allem Alkane mit Kettenlängen zwischen 25 und 35 Kohlenstoffatomen erfasst. Deutlich wird, dass die Alkanmuster der aufgeführten Spezies von einer Dominanz der ungeradzahligen Alkane geprägt sind, wobei C29 und C31 in den höchsten Konzentrationen gemessen wurden.

Über die aufgeführten Spezies hinaus wurden im Laufe der Jahre Weidepflanzen aus allen Teilen der Erde untersucht (Laredo et al., 1991; Reeves et al., 1996; Smith et al., 2001; Boadi et al., 2002; Fushai, 2006; Lin et al., 2006). Dabei waren neben den Alkangehalten von Gräsern und Leguminosen auch Konzentrationen in verschiedenen Getreidearten, Gemüse sowie Laubbäumen von Interesse (Hameleers und Mayes, 1998; Duncan et al., 1999; Piasentier et al., 2000; Elwert et al., 2004). Von Futterkonservaten, wie Grassilage und Heu, wurden ebenso Alkanmuster ermittelt, die im direkten oder indirekten Vergleich nicht in jedem Fall mit dem von frischen Pflanzenmaterial übereinstimmten (Hameleers und Mayes, 1998; Hendricksen et al., 2002; Moshtaghi Nia und Wittenberg, 2002; Ferreira et al., 2004; Peiretti et al., 2006). So ermittelten beispielsweise Hameleers und Mayes (1998) verschiedene Alkanmuster in frischem Gras und in Grassilage. Allerdings waren lediglich einige, wenige Alkane in unterschiedlichen Konzentrationen vorhanden, womit sich innerhalb des Musters ein anderes Verhältnis der Alkane zueinander ergab.

**Tabelle 1:** Konzentrationen ausgesuchter Alkane (mg/kg T) in verschiedenen Pflanzenarten

Pflanzenart	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36	Quelle
Gräser											
Lolium perenne	6	20		109		215		141			6
	10	33		77		103		84	11		2
	10	22		80		142		147	24		1
		33		173		216		67			15
	21	35	6	96	11	184	9	140	15		7
		36	6	142	12	220	7	99	9		16
		26	7	163	14	261	8	110	7		13 <sup>A</sup>
		19	5	73	9	137	9	116	18		17
	20	19		53		88		68	12		12 <sup>A</sup>
		25	6	74	8	117	7	88	12		9
		21	5	91	9	144	7	105	11		10
		57		144		248	7	50			11
		34		143		250		179	15		18
Lolium multiflorum		105	8	260	11	250	4	43			16
Festuca arundinacea	5	12	5	76	10	240	7	77		5	3
	24	42	8	129	12	216	7	59	2		4
		13	5	74	12	304	5	67	2		19
Phalaris arundinacea	11	18	4	21	2	11	2	4		5	3
Dactylis glomerata	12	16	3	23	2	23	3	9		5	3
		20	2	38	2	58	2	21			16
Festuca rubra	8	16	9	185	16	393	6	41		6	3
Festuca pratensis	4	21	17	159	19	298	10	102		5	3
Phleum pratense	19	48	5	34	2	16	2	5		5	3
Leguminosen											
Trifolium repens	9	35	9	108	12	124	9	15	4		4
	5	34		100	3	97		1			14
		38	7	109	5	67	1	7			16
	11	23		89		94		8			5
		30	6	72	4	50	3	9	1		10
		56		183		150		11			18
Medicago sativa	5	25	8	128	15	356	12	19		5	3
		33		129		265		17			15
		36	9	202	12	324	7	21			16
	8	37	7	211	16	447		34			8
Andere											
Lotus corniculatus	18	36	11	72	5	38	5	23		5	3
	15	44	6	39	4	40	7	42	2		4

<sup>A</sup> Mittelwert aus Sommer und Winter

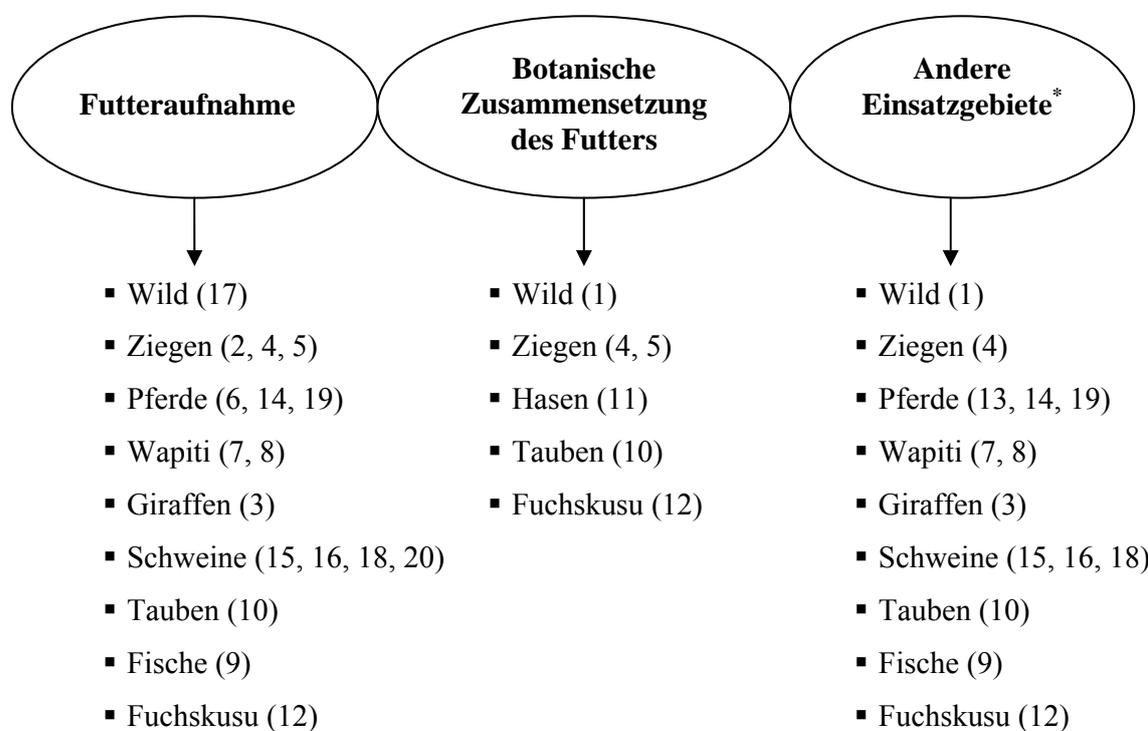
**Referenzen:** 1, Ali et al. (2004). 2, Ali et al. (2005). 3, Boadi et al. (2002). 4, Bugalho (2004). 5, Chen et al. (1999). 6, Dove (1992). 7, Dove et al. (2002). 8, Elwert et al. (2004). 9, Hamelers und Mayes (1998). 10, Hamelers und Mayes (1998). 11, Herd et al. (1998). 12, Hulbert et al. (2001). 13, Laredo et al. (1991). 14, Lee und Nolan (2003). 15, Lewis et al. (2003). 16, Malossini (1990). 17, Mayes et al. (1986). 18, Newman et al. (1995). 19, Piasentier et al. (1995)

Aufgrund ihres weit verbreiteten Vorkommens im Wachs der Kutikula vieler Pflanzen und der leichten Nachweisbarkeit richtete sich der Augenmerk der Untersuchungen mit pflanzeigenen Markersubstanzen zu Beginn der 90-iger Jahre auf diese Stoffgruppe (Dove und Mayes, 1991). So wurden Alkane vor allem zur Schätzung der Futteraufnahme und der botanischen Zusammensetzung des aufgenommenen Futters eingesetzt. Darüber hinaus fanden Alkane auch in Verdaulichkeitsstudien und Untersuchungen zur Passagerate Anwendung.

Bereits sehr viel früher berichteten Oró et al. (1965), dass trotz der großen mikrobiellen Aktivität im Verdauungstrakt von Rindern die Muster der Alkane in Futter und Kot ähnlich waren. Die ersten Autoren, die diese Beobachtung wieder aufgriffen und Alkane als Marker einsetzten, waren Mayes und Lamb (1984). Sie zogen Alkane den langkettigen Fettsäuren (Grace und Body, 1981) vor, da Alkane höher chemisch inert und leichter zu analysieren waren. Allerdings waren die Mengen der aufgenommenen und ausgeschiedenen einzelnen Alkane nicht identisch, so dass von einer gewissen Verdaulichkeit dieser chemischen Substanzen ausgegangen werden musste. Die Ermittlung der Wiederfindungen verschiedener Alkane im Kot von Schafen zeigte, dass C33 und C35 nahe 100 % ausgeschieden wurden. Darüber hinaus schien ein Zusammenhang zwischen der Länge der Kohlenstoffkette und der Höhe der Wiederfindung zu bestehen, da die Wiederfindungen der Alkane von C25 bis C35 von 20 % auf 98 % anstieg (Mayes und Lamb, 1984). Als mögliche Einflussfaktoren wurden das Alter, der physiologische Status und die Tierart diskutiert (Mayes et al., 1986). In den folgenden Jahren führte die Arbeitsgruppe um Mayes mehrere Untersuchungen zur Entwicklung der Doppelmarker-Methode durch (Mayes et al., 1986, 1986; Mayes et al., 1986), deren Möglichkeiten und Grenzen in einer Überblicksarbeit von Dove und Mayes (1991) erläutert wurden. So bestehen offensichtlich Ähnlichkeiten in der Höhe der Wiederfindungen der Alkane zwischen Schafen und Rindern. Darüber hinaus konnten mittels der Konzentrationen interner, ungeradzahlig und supplementierter (externer), geradzahlig Alkane (C28, C32 oder C36) die Futteraufnahme geschätzt und später an Lämmern (Mayes et al., 1986) und Rindern (Mayes et al., 1986) validiert werden. Die Ergebnisse zeigten, dass die Kombination der Alkane C32 und C33 realistische Schätzungen der Futteraufnahme lieferte.

Aufbauend auf diesen grundsätzlichen Erfahrungen wurde die Methode rasch entwickelt und ein wichtiges Instrument in der Futteraufnahmeschätzung und weiteren Bereichen. Vor allem in Untersuchungen mit Schafen (Vulich et al., 1991; Dove, 1993; Kelman et al.,

2003; Valiente et al., 2003; Dove und Mayes, 2005; Lin et al., 2006; Ferreira et al., 2007) und Rindern (Dillon und Stakelum, 1988; Unal und Garnsworthy, 1999; Berry et al., 2000; Sandberg et al., 2000; Brosh et al., 2003; Molina et al., 2004; Scaglia et al., 2005; Oliván et al., 2007) wurden die Alkane als Marker genutzt. Allerdings kamen diese pflanzeigenen Stoffe in den letzten 20 Jahren auch in Untersuchungen mit anderen Nutztieren und mit Wildtieren zum Einsatz. Abbildung 1 gibt dazu einen Überblick. Die Erkenntnisse zu Alkanen als Marker und ihre Entwicklung wurden in Übersichtsarbeiten vielfach zusammengefasst und dokumentiert (Dove, 1993; Dove und Mayes, 1996, 1999; Mayes, 1999; Mayes und Duncan, 1999; McLennan, 1999; Oliván et al., 1999; Mayes und Dove, 2000; Lippke, 2002; Dove und Mayes, 2005).



\* Untersuchungen zur Verdaulichkeit oder Passagerate

**Referenzen:** 1, Bugalho et al. (2002). 2, Bento et al. (1999). 3, Clauss et al. (2001). 4, Dove und Mayes (2005). 5, Ferreira et al. (2005). 6, Friend et al. (2004). 7, Gedir und Hudson (2000). 8, Gedir und Hudson (2000). 9, Gudmundsson und Halldorsdottir (1995). 10, Hatt et al. (2001). 11, Hulbert et al. (2001). 12, Monks et al. (2005). 13, Ordankowski et al. (2001). 14, Peiretti et al. (2006). 15, Rivera Ferre et al. (1999). 16, Rivera Ferre et al. (2001). 17, Ru et al. (2002). 18, Sehested et al. (1999). 19, Stevens et al. (2002). 20, Wilson et al. (1999)

**Abbildung 1:** Übersicht zu Untersuchungen mit Alkanen an Nutztieren und Wildtieren

### **Schätzung der Futteraufnahme**

Die Höhe der Futteraufnahme kann auf der Basis von Alkanen und der so genannten Doppelmarker-Methode nach der Formel von Dove und Mayes (1991) berechnet werden. Dabei werden die Konzentrationen eines ungeradzahligen (internen) Alkans und eines geradzahligen (externen) Alkans in Futter und Kot zueinander ins Verhältnis gesetzt. Darüber hinaus muss die tägliche Dosis des externen Markers bekannt sein. Bei nicht vollständiger Wiederfindung der Alkane im Kot ist es zudem notwendig, die Konzentrationen sowohl des geradzahligen als auch des ungeradzahligen Alkans um die Wiederfindung zu korrigieren. Eine Verwendung von Alkanen mit gleicher Wiederfindung (oft benachbarte Alkane wie beispielsweise C32 und C33) würde diese Korrektur aufheben (Dove und Mayes, 1991).

Im Fall einer Zufütterung von Konzentraten sind die Höhe der Konzentrataufnahme und die Konzentrationen des internen und externen Markers im Konzentrat bei der Berechnung zu berücksichtigen (Mayes et al., 1986). Die Möglichkeit, nach dieser Methode die Futteraufnahme zu bestimmen, wurde auch bei Zufütterung von Supplementen vielfach genutzt (Hameleers und Mayes, 1998; Dove, 2002; Clark et al., 2004; Charmley et al., 2005). Dabei gab die Idee, Konzentrate, welche kaum oder nur sehr niedrige Alkangehalte besaßen, mit Alkanen zu markieren (beispielsweise mit Bienenwachs), der Bestimmung der Futteraufnahme bei Zufütterung von Konzentratfuttermitteln neue Impulse (Dove und Oliván, 1998; McLennan, 1999; Scharch und Dove, 2002; Dove, 2003; Elwert et al., 2004; Elwert und Rodehutschord, 2004; Elwert und Dove, 2005).

Die Genauigkeit der mittels Alkanenkonzentrationen in Futter und Kot geschätzten Futteraufnahme hängt von folgenden Faktoren ab, die näher betrachtet werden sollen:

- Applikation der externen Markeralkane
- Gewinnung von repräsentativen Futter- und Kotproben
- Wiederfindungen der Alkane, welche zur Schätzung verwendet werden

Die Art und die Form der Applikation des Markers bildet die Grundlage bei der Bestimmung der Futteraufnahme. Bei der Methodenentwicklung standen vor allem eine Reduzierung der Laborarbeiten zur Präparation und eine möglichst korrekte Vorhersage der Abgabe des Markers im Mittelpunkt. So nutzen Mayes et al. (1986) sowie Mayes et al. (1986) Filterpapier als Träger der Alkane C28 und C32 oder C36. Das Papier saugte die in Heptan gelösten Alkane auf, wurde getrocknet, zerkleinert und als Pellets an die Tiere

verfüttert. Dove et al. (1988) nutzten Cellulosepulver als Träger für die gewünschte Menge an Alkanen (in Heptan gelöst) und verabreichten sie in Form von Gelatinekapseln. Zwischen diesen beiden Applikationsformen (Gelatinekapseln vs. Papierpellets) scheint es keine Unterschiede hinsichtlich der Genauigkeit der Futteraufnahmeschätzung (Vulich et al., 1991) oder der Wiederfindungen (Dove et al., 1989) zu geben. Die Herstellung der Gelatinekapseln ist jedoch weniger aufwendig (Dove et al., 1989). Weitere Untersuchungen zur Applikation von externen Alkanen wurden von Marais et al. (1996), Hendricksen et al. (2003) und Giráldez et al. (2004) durchgeführt.

Die genannten Methoden setzen eine regelmäßige Dosierung der Marker voraus. Auf der Weide ist eine ein- bis zweimal tägliche Gabe nicht in jedem Fall zu realisieren (z.B. bei Wildtieren) und kann unter Umständen das Verhalten der Tiere beeinträchtigen. Molina et al. (2004) ermittelten niedrigere Futteraufnahmen bei Tieren, welche zweimal täglich Gelatinekapseln erhielten, verglichen mit einer Gruppe, die zu Anfang des Experimentes Pansenkapseln (CRD = intra-ruminal controlled-release device) bekamen. Die Genauigkeit der Schätzung blieb jedoch unbeeinflusst. Die Pansenkapseln wurden so konzipiert, dass sie, einmal in den Pansen eines Tieres verbracht, über eine gewisse Dauer stetig eine bestimmte Menge von bestimmten Alkanen abgeben. Einige Autoren (Dicker et al., 1996; Herd et al., 1996; Berry et al., 2002; Dove et al., 2002; Ferreira et al., 2004) führten Untersuchungen zur Abgabehöhe und -dauer der Alkane aus den Kapseln sowie eventuellen Einflussgrößen, wie Fütterungsintensität oder -frequenz durch und kamen dabei zu verschiedenen Ergebnissen. So wurden beispielsweise korrekte (Dove et al., 2002) aber auch geringere, als vom Hersteller deklarierte Abgabemengen (Ferreira et al., 2004) ermittelt.

Pansenkapseln mit den Alkanen C32 und C36 sind kommerziell für Schafe und Rinder erhältlich und werden derzeit vielfach zur Schätzung der Futteraufnahme eingesetzt (Dicker, 1998; Gedir und Hudson, 2000; Estermann et al., 2001; Chen, 2002; Ferreira et al., 2004; Giráldez et al., 2004).

Wie bereits unter 1.2 erläutert, bestehen für die Gewinnung von repräsentativen Pflanzenproben zwei Möglichkeiten. Auf der einen Seite der Einsatz von mit Fisteln ausgestatteten Tieren und auf der anderen Seite das Begleiten der Tiere während des Grasen und die Gewinnung der Proben durch Pflücken mit der Hand (Berry et al., 2002). Untersuchungen von Vulich et al. (1993) ergaben keine Unterschiede zwischen den so gewonnenen Pflanzenproben. Forbes und Beattie (1987) fanden keine Unterschiede im

Weideverhalten und in der Futterselektion von Tieren mit und ohne Fistel. Dove (2000) allerdings schloss eine von Kontrolltieren differierende Selektion der Fisteltiere nicht aus. Darüber hinaus ist der Einsatz von fistulierten Tieren aus tierschutzrechtlicher Sicht umstritten. Aufgrund dessen wurde das Pflücken mit der Hand bevorzugt angewandt (Malossini et al., 1995; Malossini et al., 1996; Reeves et al., 1996; Hameleers und Mayes, 1998; Smit et al., 2005).

Zur Gewinnung der Kotproben kommen die rektale Probenahme und das Sammeln nach dem Absetzen (spot-sampling) in Frage (Vulich und Hanrahan, 1995; Berry et al., 2000; Estermann et al., 2001; Berry et al., 2002). Die rektale Probennahme ist zeitaufwändig und verursacht in der Herde oft Unruhe. Demgegenüber besteht beim spot-sampling die Gefahr der Verunreinigung durch Schmutz oder Pflanzenteile, wie beispielsweise Pollen. Eine dritte Möglichkeit ist die Sammlung der gesamten Kotmenge (Totalsammlung), die aber unter Weidebedingungen schwer zu realisieren ist. Zu hinterfragen ist auch, ob eine mögliche Variation der Markerkonzentration im Tagesverlauf ein Problem für eine Schätzung der Futteraufnahme oder der botanischen Zusammensetzung darstellt. Dillon (1993), Hameleers und Mayes (1998), Sibbald et al. (2000) sowie Estermann et al. (2001) dokumentierten in ihren Untersuchungen unterschiedliche Markerkonzentrationen im Kot über den Tag hinweg. Die spot-sampling-Methode (einmal oder zweimal täglich) scheint jedoch ausreichend zu sein, um repräsentative Kotproben zu erhalten (Dillon, 1993; Hameleers und Mayes, 1998; Berry et al., 2000). Malossini et al. (1994) schlussfolgern, dass ein oder vorzugsweise zwei Proben pro Tier und Tag die gleiche Information wie drei oder vier Proben geben.

Wie zuvor schon erwähnt, ist die Wiederfindung der Alkane im Kot der Tiere unvollständig. In einer Übersichtsarbeit geben Dove und Mayes (1991) an, dass die Wiederfindung mit der Anzahl der Kohlenstoffatome im Molekül ansteigt und untermauern diese Aussage mit Daten aus Untersuchungen von Mayes und Lamb (1984), Mayes et al. (1986), Mayes (1988) und Dove et al. (1989) an Schafen sowie Mayes et al. (1986) und Dillon und Stakelum (1988) an Rindern. Auch Lin et al. (2006) konnten mit Schafen diese Entwicklung verzeichnen. Vulich et al. (1991) sowie Piasentier et al. (1995) stellten dagegen keinen eindeutigen Trend der Wiederfindung fest. Spätere Untersuchungen mit Rinder zeigten ebenso widersprüchliche Ergebnisse und variable Wiederfindungen (Hendricksen et al., 2002; Moshtaghi Nia und Wittenberg, 2002; Brosh et al., 2003).

Im Allgemeinen werden geringfügig niedrigere Wiederfindungen für Rinder im Vergleich zu Schafen beschrieben (Dove und Mayes, 1991). Neben großen und kleinen Wiederkäuern wurden auch für andere Tierarten (Hatt et al., 2001; Monks et al., 2005) wie zum Beispiel Pferde (O'Keefe und McMeniman, 1998; Ordankowski et al., 2001; Stevens et al., 2002; Peiretti et al., 2006) oder Schweine (Sehested et al., 1999; Wilson et al., 1999) Wiederfindungen der Markeralkane bestimmt. Diese Untersuchungen zeigten, wie für Wiederkäuer, ähnlich differierende Ergebnisse mit variierenden Wiederfindungen.

Auf die Höhe der im Kot wieder gefundenen Alkanmenge können verschiedene Faktoren einen Einfluss haben. Variationen in der Wiederfindung können zunächst ursächlich in der Höhe der Konzentration des jeweiligen Alkans im Futter begründet sein. Weiterhin bestehen offensichtlich tierindividuelle Unterschiede (Hendricksen et al., 2002; Valiente et al., 2003) sowie tierartspezifische (Kälber, Ziegen und Rinder) und altersabhängige Differenzen (Brosh et al., 2003). Die Tatsache, dass jeweils verschiedene Futtermittel eingesetzt wurden, relativiert jedoch diese Feststellung, da ein Einfluss des Futters nicht ausgeschlossen werden kann (Ohajuruka und Palmquist, 1991; Unal und Garnsworthy, 1999; Moshtaghi Nia und Wittenberg, 2002). Heu von verschiedenen Aufwüchsen und verschiedene Pflanzenspezies können unterschiedliche Wiederfindungen der Alkane aufweisen (Hendricksen et al., 2002; Lin et al., 2006; Ferreira et al., 2007). Über die genannten Faktoren hinaus wurden auch potenziellen Einflüsse wie zum Beispiel Laktationsstatus oder Gewicht der Tiere diskutiert (Dillon, 1993; Ferreira et al., 2007).

Bei der Auswahl der Markeralkane für die Schätzung der Futteraufnahme sollten Alkane mit gleichen oder ähnlichen Wiederfindungen gewählt werden (Dove und Mayes, 1991). In diesem Zusammenhang wurde vielfach diskutiert, welche Kombination von internen und externen Markeralkanen zu bevorzugen sei. Vor allem die Kombinationen der länger kettigen Alkane C31 und C33 mit C32 wurden für Schätzungen genutzt, da diese Alkane ausreichend hohe Konzentrationen und ähnliche Wiederfindungen aufwiesen (Dicker et al., 1996; Hameleers und Mayes, 1998; Bento et al., 1999; Nielsen et al., 2003; Ferreira et al., 2004; Smit et al., 2005). Dove und Mayes (1991) berichteten, dass bedingt durch geringe Markerkonzentrationen sowie größere Unterschiede in der Wiederfindung die Paarung kürzer kettiger Alkane die Diskrepanz zwischen tatsächlicher und geschätzter Futteraufnahme erhöhe. In einigen Untersuchungen wurden Schätzungen mittels verschiedener Paarungen mit aktuell gemessenen Futteraufnahmen verglichen. Die Ergebnisse sprachen sowohl für die Kombination von C31 mit C32 (Estermann et al.,

2001) als auch für C33 und C32 (Dillon und Stakelum, 1988; Béchet und Tulliez, 1992; Berry et al., 2000). Mit Ausnahme der Arbeit von Estermann et al. (2001), zeigten das supplementierte Alkan C32 und das interne Alkan C33 größere Ähnlichkeiten in den Wiederfindungen auf als C31 und C32. Laredo et al. (1991) empfehlen aufgrund ähnlicher Beobachtung nur bei sehr geringen Gehalten von C33 in den Proben, das Alkan C31 als interner Marker zu nutzen. Weisen die Wiederfindungen von C31, C33 und dem externen Alkan C32 jedoch große Differenzen zwischen den Wiederfindungen auf, sollte eine Korrektur der Gehalte im Kot vorgenommen werden (Moshtaghi Nia und Wittenberg, 2002).

Über den Einsatz von C32 hinaus, wurden auch die Alkane C28 und C36 als externe Marker verwendet und auf ihre Eignung in unterschiedlichen Paarungen mit internen Alkanen hin untersucht (Mayes et al., 1986, 1986; Dove et al., 1988; Unal und Garnsworthy, 1999). Unal und Garnsworthy (1999) verglichen die Schätzungen der Futteraufnahme mittels der Alkane C32 und C33 sowie C36 und C33 miteinander und kamen zu dem Ergebnis, dass die Schätzungen nicht voneinander abwichen. Das Alkan C28 ist als externer Marker zu empfehlen, wenn das benachbarte Alkan C29 im Futter in dominierenden Konzentrationen nachgewiesen wurde und somit als interner Marker Verwendung findet (Mayes et al., 1986).

### **Schätzung der botanischen Zusammensetzung des aufgenommenen Futters**

Wie in einem der vorherigen Abschnitte beschrieben, weisen unterschiedliche Pflanzenspezies verschiedene Konzentrationen einzelner Alkane auf (Tabelle 1). Neben anderen Autoren beschreiben Laredo et al. (1991) zusätzlich Differenzen in den Alkangehalten zwischen einzelnen Pflanzenteilen, Aufwüchsen und dem Alter der Pflanzen. Dies ist insbesondere bei einer unterstellten Futterselektion der weidenden Tiere zu berücksichtigen.

Die Unterschiede im Alkanmuster einzelner Pflanzenarten können genutzt werden, um Informationen über die botanische Zusammensetzung des aufgenommenen Futters (Mischung) zu erlangen (Dove und Mayes, 1991). Da der Kot der Tiere die Alkane aus den aufgenommenen Pflanzen enthält, ist durch eine Gegenüberstellung der Alkanmuster von Kot (korrigiert um die Wiederfindung) und Weidepflanzen ein Rückschluss auf die vom Tier konsumierten Pflanzenspezies möglich. Dabei wirken sich verschieden Aspekte auf die Güte der Schätzung aus:

- Große Unterschiede im Alkanmuster einzelner Pflanzenarten wirken sich positiv auf die Sensibilität der Schätzung aus. In diesem Zusammenhang ist es weiterhin positiv zu bewerten, wenn zum einen die Muster der Alkane der betrachteten Pflanzenarten unterschiedlich, und zum anderen die Konzentrationen dieser Alkane insgesamt in den betreffenden Pflanzenarten ähnlich sind.
- Die Anzahl der Arten, die separiert werden können, ist von der Anzahl der zur Verfügung stehenden Alkane resp. Marker abhängig.
- In Abhängigkeit von ihrer Verbreitung sind einige Alkane bedeutender als andere. Daher sollte auf Alkane, die am meisten zwischen den Arten differieren, besonders Wert gelegt werden.

Für die Schätzung der Futterzusammensetzung wurden verschiedene mathematische Ansätze beschrieben. Für Mischungen aus zwei Komponenten wurden zwei Alkane ausgewählt, um den Anteil einzelner Spezies an einer Mischung mittels Simultansystem zu bestimmen (Dove, 1992). Je nach Wahl der Alkane können jedoch größere Fehler in der Schätzung der Anteile auftreten (Newman et al., 1995). Zudem ist auf der Weide meist mit einer höheren Artenvielfalt zu rechnen. Die Verwendung einer „least square procedure“ setzt an dieser Stelle an und ermöglicht eine Schätzung komplexer Mischungen. Die maximale Anzahl der zu unterscheidenden Arten ist dabei durch die zur Verfügung stehende Anzahl der Alkane begrenzt. Diese Methode wurde von Mayes et al. (1994), Salt et al. (1994), Dove und Moore (1995), Newman et al. (1995) und Barcia et al. (2006) verschiedentlich angewendet. Davon ausgehend wurde in den vergangenen Jahren in Untersuchungen zur botanischen Zusammensetzung überwiegend die Software „EatWhat?“ (non-negative least square algorithm) von Dove und Moore (1995) zur rechen-technischen Umsetzung verwendet.

Über die reine Anwendung hinaus wurden auch Untersuchungen angestellt, welche die Methodik zur Schätzung der botanischen Zusammensetzung validieren. Hameleers und Mayes (1998) verglichen die mathematischen Ansätze von Salt et al. (1994), Newman et al. (1995) und Dove und Moore (1995) mit Milchkühen an einer Weidelgras/Klee-Mischung und fanden nur geringe Unterschiede zwischen den drei Schätzungen. Die Genauigkeit der Schätzungen wurde weiterhin anhand bekannter Mischungsverhältnisse überprüft (Dove, 1992; Dove und Oliván, 1998; Hoebee et al., 1998; Valiente et al., 2003; Ferreira et al., 2005; Lin et al., 2006). Darüber hinaus wurde die Schätzung mittels Alkanen mit anderen Methoden verglichen (Lee, 2004; Lee und MacGregor, 2004; Roumet et al., 2006) oder eine Kombination von Alkanen mit anderen pflanzlichen Inhaltsstoffen

untersucht (Kelman et al., 2003; Ali et al., 2004; Bugalho, 2004; Ali et al., 2005). Roumet et al. (2006) zeigten beispielsweise leichte Differenzen in den Schätzungen (Mischungverhältnisse bekannt) mittels Alkanen, einer Kombination von Alkanen und Alkoholen und NIRS, zugunsten der letztgenannten Methode. Sie wiesen darauf hin, dass diese Ergebnisse unter Feldbedingungen zu prüfen sind. Weiterhin sind bei der Wahl der Methode die Kapazitäten des Versuchsanstellers zu berücksichtigen.

Bezüglich näherer Informationen zur Methodik wird auf die genannte Literatur sowie einige Überblicksarbeiten verwiesen (Dove und Mayes, 1991, 1996, 1999; Oliván et al., 1999; Dove und Mayes, 2005).

### **Schätzung der Verdaulichkeit**

Der Einsatz von Markersubstanzen ermöglicht auch bei unbekannter Höhe der Futteraufnahme eine Schätzung der Verdaulichkeit einzelner Rohnährstoffe. Voraussetzung dafür ist das Wissen über die Konzentrationen des Markers sowie des jeweiligen Nährstoffs in Futter und Kot. Es ist ausreichend, stichprobenartig repräsentative Proben zu sammeln, was ein Arbeiten auf der Weide oder mit Wildtieren vereinfacht. Wenn die eingesetzte Markersubstanz nicht gänzlich unverdaulich ist, wie im Fall der Alkane, ist eine Korrektur um die Wiederfindung notwendig (Dove und Mayes, 1991). Das Alkan C35 wurde aufgrund einer konstant hohen Wiederfindung (95 bis 97 %), als potentieller interner Marker zur Schätzung der Verdaulichkeit beschrieben. Ein entscheidender Nachteil ist jedoch, dass C35 in den Pflanzen häufig in nur sehr geringen Konzentrationen vorkommt (Dove et al., 1996). Das wiederum beeinflusst die Genauigkeit der Schätzung (Dove und Mayes, 1991). Ein Einsatz kürzer kettiger Alkane (C29, C31, C33), welche in höheren Konzentrationen vorhanden sind, wird durch eine im Vergleich zu C35 größeren Unsicherheit in den Wiederfindungen limitiert.

Die Genauigkeit der Schätzung mit unterschiedlichen Alkanen als interne Marker wurde von einigen Autoren durch einen Vergleich mit Bilanzierungen untersucht (Ohajuruka und Palmquist, 1991; Unal und Garnsworthy, 1999; Sandberg et al., 2000; Ordankowski et al., 2001; Hendricksen et al., 2002; Stevens et al., 2002; Valiente et al., 2003; Peiretti et al., 2006). So stimmen die Schätzungen unter Verwendung der Alkane C31, C33 oder C35 bei Korrektur der Wiederfindungen mit den gemessenen Verdaulichkeiten der Trockensubstanz für *Lolium perenne* überein (Stevens et al., 2002). Ohne diese Korrektur ergaben sich numerische (C33 und C35) und signifikante (C31) Differenzen. Auch Unal und Garnsworthy (1999) bestimmten mit C33 unter Berücksichtigung der Wiederfindung

korrekte Verdaulichkeiten. Es bleibt demnach festzuhalten, dass bei einem Einsatz von Alkanen als Verdaulichkeitsmarker das Wissen über die Höhe der Wiederfindung unerlässlich ist.

### **Alkananalytik**

Eine potenzielle Fehlerquelle beim Arbeiten mit Alkanen als Marker stellt die Verarbeitung der Proben und die verwendete Analysemethode dar. Daher soll nachfolgend auf die Aufbereitung der Futter- und Kotproben, den Alkanaufschluss und die Messung der Konzentrationen am Gaschromatographen eingegangen werden.

Die gewonnen Proben durchlaufen vor der Analyse zwei wesentliche Prozesse: die Trocknung und die Vermahlung.

Die Gefriertrocknung ist, da als schonend beschrieben, in den häufigsten Fällen die Methode der Wahl. Sie ist jedoch mit einem höheren zeitlichen sowie finanziellen Aufwand verbunden. Eine Trocknung im Ofen würde diesen Prozess beschleunigen und vereinfachen (Dove und Mayes, 1991). In früheren Arbeiten wurden sowohl die Gefriertrocknung (Hameleers und Mayes, 1998, 1998; Duncan et al., 1999; Unal und Garnsworthy, 1999; García et al., 2000; Sandberg et al., 2000; Ali et al., 2005; Oliván et al., 2007) als auch die Ofentrocknung (Dicker et al., 1996; Herd et al., 1996; Berry et al., 2000; Moshtaghi Nia und Wittenberg, 2002; Brosh et al., 2003; Molina et al., 2004; Lin et al., 2006) bei unterschiedlichen Temperaturen (60 bis 70 °C) beschrieben. Dove und Mayes (1991) resümieren, dass ein Einfluss der Trocknungsmethode auf die gemessenen Alkankonzentrationen nicht ausgeschlossen werden kann. Trotz dieser Tatsache wurden nur wenig vergleichende Untersuchungen zur Methode der Trocknung durchgeführt (Dillon, 1993; Oliván und Osoro, 1995; Sandberg et al., 2000; Scharch et al., 2002). Dabei wurden sowohl identische Alkankonzentrationen bei der Trocknung mittels Gefriertrocknung im Vergleich zur Ofentrocknung bei 60 °C bzw. 70 °C (Dillon, 1993; Scharch et al., 2002) als auch größere Differenzen in Kotproben nach Verfütterung verschiedener Heue beschrieben (Sandberg et al., 2000). Insbesondere kürzer kettige Alkane scheinen von der Trocknungsmethode beeinflusst zu werden (Oliván und Osoro, 1995).

Die Vermahlung der Proben erfolgt in der Regel in Hammermühlen auf einen Siebdurchgang von 1 mm. In einigen Untersuchungen wurden die Proben ohne Angabe von Gründen auf 0,75 mm Siebdurchgang vermahlen (Estermann et al., 2001; Berry et al.,

2002). Ein Vergleich dieser beiden Vermahlungsgrade zeigte z.T. höhere, analysierte Alkankonzentrationen bei den feiner vermahlenden Proben (Valiente et al., 2003).

Die grundlegenden Ansätze des Aufschlussverfahrens zur Extraktion der Alkane sind Mayes et al. (1986) zu entnehmen. Dabei werden die Kohlenwasserstoffe über mehrere Schritte aus der jeweiligen Probensubstanz extrahiert und anschließend mittels gaschromatographischer Auftrennung quantitativ analysiert. Sowohl die Methodik des Aufschlusses als auch die Einstellungen am Gaschromatographen unterlagen in den letzten zwei Jahrzehnten einigen Modifikationen. Auf weitere Einzelheiten soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden. Für Details wird auf die einschlägige Literatur verwiesen (Dove und Mayes, 1991; Laredo et al., 1991; Ohajuruka und Palmquist, 1991; Vulich et al., 1991; Dove, 1992; Vulich et al., 1995; Dove et al., 1996; Oliván und Osoro, 1999; Berry et al., 2000; Ordankowski et al., 2001; Brosh et al., 2003; Elwert et al., 2004).

### 3. Fragestellungen

Die effektive Nutzung von vorhandenen Grünlandflächen steht insbesondere auf dafür prädestinierten Standorten mit mittlerer und niedriger Bodengüte und in Veredelungsbetrieben zur Diskussion. Das genetisch bedingt zunehmende Leistungsvermögen und die damit verbundenen hohen Ansprüche an die Energieversorgung erschweren die Nutzung des Grünlandes als Weide für Milchkühe. Im Bereich der Aufzucht von Jungrindern für die Reproduktion oder die Haltung von Mutterkühen und deren Nachzucht ist die Nutzung des Grünlandes als Weide jedoch nicht wegzudenken.

In entsprechenden Programmen wird unter den Richtlinien der Extensivierung der Grünlandwirtschaft und der Förderung des Naturschutzes eine Reduzierung der Nutzungsintensität angestrebt. Das heißt, sowohl die Besatzdichte als auch die Höhe der Düngung nehmen ab. In deren Folge ist eine Zunahme des Artenreichtums im Pflanzenbestand zu beobachten, die jedoch im Jahresverlauf durchaus variabel sein kann.

Je nach Artenzusammensetzung und Vegetationsstand muss von unterschiedlichen Energiegehalten im Weidefutter ausgegangen werden. Dies erschwert die Beurteilung der aufgenommenen Energiemenge durch die Tiere auf der Weide und damit die Abschätzung der möglichen Milch- bzw. Mastleistung. Voraussetzungen für ein, dem Bedarf der Tiere angepasstes Weidemanagement sind demnach die Kenntnis der Menge des aufgenommenen Weidefutters und deren Energie- bzw. Roh Nährstoffkonzentrationen.

Wie vorab gezeigt wurde, ist die Praktikabilität bestehender Untersuchungsmethoden zur Bestimmung der Qualität und Quantität des aufgenommenen Futters nur bedingt gegeben, so dass alternative Ansätze zu hinterfragen sind. In Anbetracht dieser Überlegungen sollte die vorliegende Arbeit einen Beitrag zur Beantwortung folgender Fragen und Probleme leisten:

1. Welche Futtermengen werden von wachsenden Rindern auf der Weide aufgenommen?
2. Erfolgt eine Futterselektion durch die Tiere?
3. Ist in diesem Zusammenhang eine Fehleinschätzung der tatsächlich aufgenommenen im Vergleich zur geschätzten Energiemenge wahrscheinlich?

4. Sind *n*-Alkane als natürliche Bestandteile der pflanzlichen Wachsschicht praktikable Marker, um diese Fragen zur Höhe der Futteraufnahme und zur Selektion einzelner Pflanzenarten zu beantworten?

Im Einzelnen ist hierbei zu klären:

- Ist die Höhe der Alkankonzentrationen im Weidefutter und im Kot der Tiere ausreichend, um diese sicher in den Berechnungen nutzen zu können?
- Welche Bedeutung hat die Wiederfindungen der Alkane im Kot der Tiere auf die Genauigkeit der Schätzungen?
- Wie hoch ist das Fehlerpotenzial einer Schätzung der Futteraufnahme auf der Grundlage einer Markierungsmethode mit Alkanen?
- Sind die Alkane geeignet, eine mögliche Futterselektion und die Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe des Weidefutters abzuschätzen?
- Welche Bedingungen müssen gegeben sein, damit diese Methode in der Praxis Anwendung finden kann?

## **4. Material und Methoden**

Zur Klärung der Fragen zur Quantifizierung und Qualifizierung der Futteraufnahme von Rindern auf der Weide wurden in zwei Versuchsdurchgängen, die in den Jahren 2004 und 2005 stattfanden, insgesamt acht Versuche durchgeführt. Der Einsatz von Alkanen als Marker zur Schätzung der Futteraufnahme und Selektion erfuhr dabei besondere Beachtung. Ausgehend von zwei verschiedenen Versuchsansätzen wurden vier Untersuchungen zur Bestimmung der Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe und vier Weideexperimente mit wachsenden Rindern zur Schätzung der Futteraufnahme realisiert. Die Verdaulichkeitsuntersuchungen wurden mit B04/I, B04/II, B05/I und B05/II benannt, wobei das B für Bilanzierung in den Jahren 2004 (04) und 2005 (05) steht und römisch eins bzw. römisch zwei die zeitliche Reihenfolge kennzeichnet. Analog dazu wurden die Untersuchungen auf der Weide zur Bestimmung der Futteraufnahme (FA) mit FA04/I, FA05/I, FA05/II und FA05/III benannt. In den Verdaulichkeitsuntersuchungen diente außerdem die Bilanzierung der Alkane im aufgenommenen Futter und im Kot der Bestimmung der Wiederfindung dieser Marker.

In den Untersuchungen auf der Weide wurden stichprobenartig Futter- und Kotproben gewonnen, deren Verhältnis der gemessenen Markerkonzentrationen eine Schätzung der Futteraufnahme und Futterselektion ermöglichte. Die im jeweiligen Jahr mit gleichem Tiermaterial und weitestgehend identischer Futtergrundlage ermittelten Wiederfindungen gingen direkt in diese Schätzung ein.

Darüber hinaus wurden die Alkangehalte einzelner Pflanzenspezies ermittelt und methodische Ansätze, wie die Validierung der zur Markerapplikation verwendeten Pansenkapseln und die Methode der Probenaufbereitung für den Alkanaufschluss, untersucht.

### **4.1 Allgemeiner Teil**

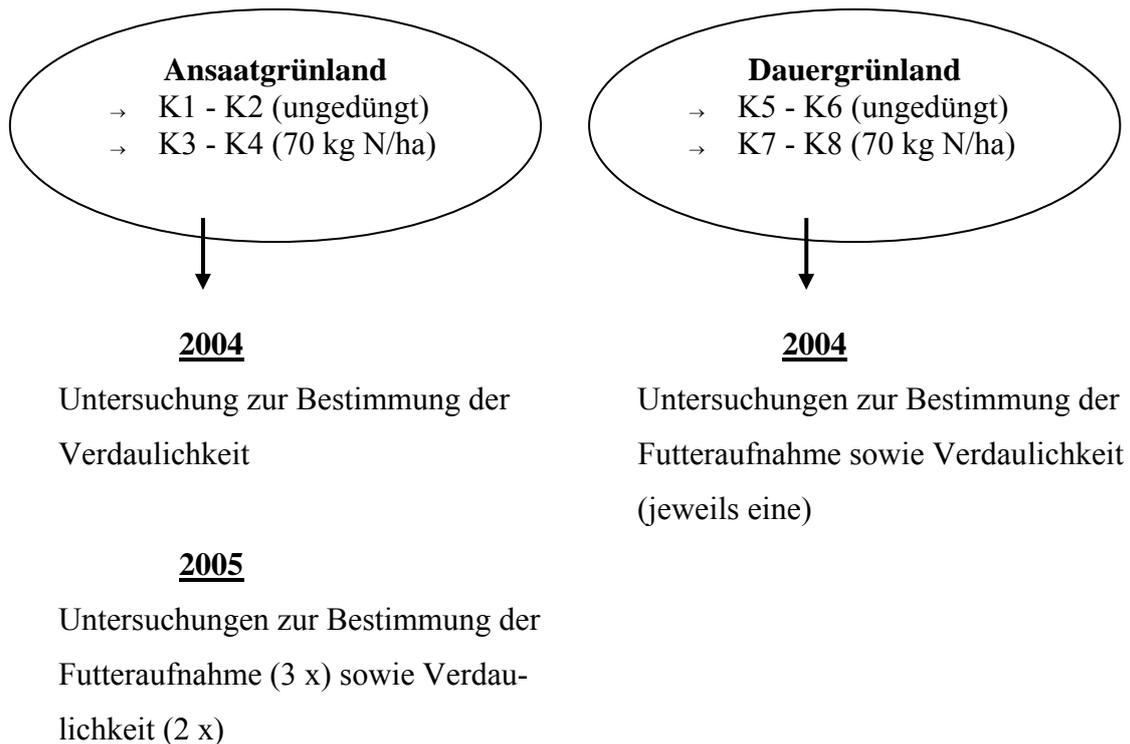
#### **4.1.1 Weideflächen**

Die Weideflächen wurden vom Zentrum für Tierhaltung und Technik (ZTT) der Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau des Landes Sachsen-Anhalt am Standort Iden bereitgestellt. Die 26 ha umfassende Grünlandfläche unterschied sich in Bodenart, Feuchtigkeit und Pflanzenbestand und wurde hinsichtlich zweier Extensivierungsgrade unterschieden. Die gesamte Weide wurde differenziert in die Teilflächen der Variante a (ungedüngt) und die Teilflächen der Variante b, welche mit betriebseigenen, organischen Düngemitteln (70 kg N/ha und Jahr in Form von Gülle)

versorgt wurden. Die Flächen der Düngungsvarianten wurden in jeweils vier 2,7 bis 3,5 ha große Koppeln (K1 - K8) aufgeteilt. In den beiden Versuchsjahren 2004 und 2005 wurden die zur Verfügung gestellten Tiere in zwei Herden getrennt und den Koppeln einer Variante zugeteilt. Im Folgenden sind sowohl die Düngungsvarianten als auch die dazu gehörenden Herden mit a (ungedüngt) oder b (gedüngt) bezeichnet. Die vollständige Datenerhebung in Abhängigkeit vom Extensivierungsgrad der Flächen war ursprünglich für alle Untersuchungen vorgesehen, konnte aber nur in sechs Versuchen realisiert werden. Die Tiere wurden im Verfahren der Umtriebsweide gehalten. Je nach Futteraufwuchs wurde alle 3 bis 7 Tage eine neue Fläche zur Beweidung freigegeben.

Über die Extensivierungsformen hinaus umfassten die Versuchsflächen unterschiedliche Bewirtschaftungsformen. Bei den Koppeln K1 bis K4 handelte es sich um ein etabliertes Ansaatgrünland mit 42 bis 58 Bodenpunkten laut Reichsbodenschätzung. Die Koppeln K5 bis K8 waren ein etabliertes und sehr artenreiches Dauergrünland. Auf diesen Flächen war der Boden wechselfeucht, teilweise anmoorig mit 36 bis 53 Bodenpunkten. Bedingt durch die Bodenart und die Bodenfeuchte, den Extensivierungsgrad und die Witterung der jeweiligen Jahre differierte der Pflanzenbestand sowohl zwischen einzelnen Koppeln als auch zwischen den Versuchsjahren deutlich. In Abbildung 2 ist die Zugehörigkeit der einzelnen Koppeln zu den Bewirtschaftungsformen sowie Extensivierungsgraden einschließlich ihrer Nutzung in den Versuchsjahren dargestellt.

Im Folgenden wird einzig auf die in den Untersuchungen genutzten Flächen genauer eingegangen. Die ausführliche Darstellung der Ertragsanteile einzelner Arten auf den Flächen findet sich im Anhang (Tabellen A-1 und A-2). Die zugrunde liegende Bonitur der Flächen wurde im Jahr 2004 zu Beginn der Weideperiode durchgeführt. Sie ist nur eine „Momentaufnahme“ des im Jahresverlauf durchaus variablen Pflanzenbestandes und liefert daher nur begrenzt Informationen über den Pflanzenbestand im 2. und in allen weiteren Aufwüchsen. Um die Unterschiede in den Ertragsanteilen der Pflanzenarten zwischen den Aufwüchsen zu verdeutlichen, wurden die Weideflächen K1/K2 und K3/K4 im Jahr 2005 zu zwei Zeitpunkten bonitiert. Aus der Bonitur des 1. im Vergleich zum 2. Aufwuchs geht hervor, dass deutliche Unterschiede in den Anteilen einzelner Pflanzenarten am Gesamtertrag bestanden (Tabelle A-2).



**Abbildung 2:** Übersicht der für die Untersuchungen zur Verfügung stehenden Weideflächen unterschiedlichen Extensivierungsgrades

Das Ansaatgrünland setzte sich aus wenigen Hauptbestandbildnern zusammen und war zwischen den Koppeln K1 bis K4 vergleichbar. Zwischen den Versuchsjahren gab es jedoch Unterschiede. Aufgrund einer extremen Trockenheit im Sommer 2003 verschwand *Trifolium repens* (Weißklee) von diesen Flächen fast vollständig, was sich in der Flächenbonitur zu Beginn der Weidesaison 2004 deutlich zeigte. Diese Trockenheit bedingte 2004 zusätzlich einen geringen Nachwuchs auf dem Ansaatgrünland, weshalb nur die Fläche K4 zur Gewinnung von Konservaten (Grassilage) herangezogen werden konnte. Diese Fläche war dominiert von *Phleum pratense* (Wiesenlieschgras) mit 38 % und *Lolium perenne* (Deutsches Weidelgras) mit 30 % des gesamten Pflanzenbestandes.

In der Weidesaison 2005 erreichte der Weißklee wieder höhere Ertragsanteile auf den Flächen K1/K2 und K3/K4. Diese Koppeln wurden wegen ihrer Homogenität im Pflanzenbestand, der sich im 1. Aufwuchs näherungsweise aus 59 und 57 % Gräsern, dominiert von *Lolium perenne*, 16 und 17 % Kräutern (überwiegend *Taraxacum officinale*) und 24 und 26 % Leguminosen (überwiegend *Trifolium repens*) für die Varianten a und b zusammensetzte, für dieses Versuchsjahr ausgewählt und in allen Untersuchungen genutzt. Im 2. Aufwuchs waren *Lolium perenne* und *Trifolium repens* in deutlich höheren Anteilen

vertreten, während *Taraxacum officinale* (K1/K2 = 6 %, K3/K4 = 5 %) geringere Ertragsanteile aufwies.

Bei den Koppeln K5 bis K8 handelte es sich um Dauergrünland geprägt von einem typischen Artenreichtum. Im Gegensatz zum beschriebenen Ansaatgrünland war hier eine Vielzahl von Gräsern vertreten, die mit diversen Kräutern und einzelnen Leguminosen einen flächenspezifischen, sehr inhomogenen Bestand bildeten. Aufgrund dieser Tatsache wurden diese Koppeln nur im Jahr 2004 in zwei Untersuchungen einbezogen.

Auf der Fläche K5 (Variante a) waren die typischen Futtergräsern *Lolium perenne*, *Poa pratensis* (Wiesenrispe), *Dactylis glomerata* (Knaulgras), *Phleum pratense* und *Festuca pratensis* (Wiesenschwingel) mit einem Anteil von insgesamt ca. 78 % und Leguminosen mit etwa 11 % vertreten. Diese Koppel wurde im Versuchsjahr 2004 für einen Weideversuch genutzt.

Weiterhin wurde K8 (Variante b) von Tieren begrast. Der Pflanzenbestand der Koppel K8 war zu 80 bis 95 % von mehreren Gräserarten dominiert, wobei *Alopecurus pratense* (Wiesenfuchsschwanz), *Agrostis stolonifera* (Weißes Straußgras) und *Poa trivialis* (Gemeine Rispe) mit 30, 23 und 15 % die größten Anteile hatten.

Von K6 (Variante a) wurde Gras für einen Versuch im Stall geschnitten. Als Gras wird hier und im Folgenden das frische Weidefutter, also ein Gemisch aus Gräsern, Kräutern und Leguminosen, bezeichnet. Auf der Fläche K6 war *Agrostis stolonifera* mit 38 % neben *Deschampsia cespitosa* (Rasenschmiele) mit 11 % die am häufigsten vertretene Spezies. Einen großen Anteil am Pflanzenbestand (30 – 35 %) teilten sich dort verschiedene Gräserarten (*Lolium perenne*, *Alopecurus pratensis*, *Festuca pratensis*, *Poa trivialis* u.a.).

Aufgrund der erläuterten Unterschiede der einzelnen Flächen bezüglich des Artenreichtums im Pflanzenbestand und dessen Veränderung im Jahresverlauf musste davon ausgegangen werden, dass sich Schwankungen der Roh Nährstoff- und daraus resultierend der Energiegehalte im Futter ergaben. Wie bereits erläutert, bilden die Alkane in den pflanzlichen Wachsschichten als externer Marker eine tragende Säule in der angewandten Methode. In Anlehnung an die von zahlreichen Autoren beschriebene Variabilität der Markerkonzentrationen einzelner Pflanzenarten (Tabelle 1) und des gesamten Grünlandbestandes im Vegetationsverlauf und über die Weideperiode hinweg wurden im Versuchsjahr 2005 mehrere Aufwüchse des Ansaatgrünlandes zur Alkanalanalyse herangezogen.

#### **4.1.2 Tiere**

Für die Untersuchungen wurden vom ZTT im Jahr 2004 tragende Färsen zur Reproduktion der Milchviehherde (Holstein-Frisian) und im Jahr 2005 etwa einjährige Jungrinder (Ochsen und Färsen) aus der Mutterkuhherde (überwiegend Charolaiskreuzungen) zur Verfügung gestellt. Die Tiere wurden, wie unter 3.1.1 beschrieben, auf Basis der Lebendmasse gleichmäßig in zwei Herden geteilt und verblieben die gesamte Weidesaison auf den zur jeweiligen Variante gehörenden Flächen. Am 5. Mai 2004 wurden in Variante a 20 und in Variante b 31 tragende Färsen aufgestellt. Etwa zwei Monate vor dem errechneten Abkalbetermin wurden die jeweiligen Tiere aus der Herde genommen und in den Milchviehstall zurück gebracht.

Im Jahr 2005 erfolgte am 26. April der Auftrieb von 11 bzw. 10 (a) sowie 14 bzw. 11 (b) weiblichen bzw. männlichen Fleischrindern. Damit ergaben sich Herdenstärken von 21 und 25 Tieren, die bis zum Erreichen der Schlachtreife auf der Weide verblieben. Die Lebendmasse der Tiere wurden zu Beginn jeder Untersuchung ermittelt. Zusätzlich erfolgte eine Wägung der Tiere, die in den Verdaulichkeitsuntersuchungen verwendet wurden, zum Ende des jeweiligen Versuches. Die Lebendmassen der Tiere beider Jahre können der Anhangstabelle A-3 entnommen werden.

#### **4.1.3 Markerapplikation**

In allen Versuchen wurden so genannte Pansenkapseln oder Boli (MCM Alkane, Nufarm Health & Sciences) für Rinder mit 300 bis 650 kg Lebendmasse eingesetzt (Abbildung 3). Diese Boli sind 16 cm lange Plastikkapseln mit einem Durchmesser von 3,5 cm. Durch „Flügel“, die während der Eingabe in den Pansen mit wasserlöslichem Klebeband fixiert wurden, wird verhindert, dass die Tiere den Bolus wiederkäuen, oder dass sie in den hinteren Verdauungstrakt gelangen. Abbildung 3 zeigt einen Bolus mit unfixierten und fixierten „Flügeln“ sowie die zur Eingabe verwendete Schlundsonde. Im Inneren der Kapsel befinden sich lösliche Tabletten, welche die Markeralkane Dotriakontan (C32) und Hexatriakontan (C36) enthalten. Sie kommen durch eine Öffnung in der Vorderseite der Kapsel mit dem Pansensaft in Berührung und werden kontinuierlich aufgelöst. Eine Feder im Kapselinneren bewirkt, dass die Tabletten nachgeschoben und im Zeitverlauf komplett aufgelöst werden.

Die enthaltenen Markeralkane werden über einen Zeitraum von näherungsweise 20 Tagen in geschätzten Konzentrationen von 400 mg am Tag in den Pansen abgegeben. Nach der Eingabe werden etwa 7 Tage benötigt, um eine gleichmäßige Verteilung der Bolusalkane

im Verdauungstrakt und im Kot der Tiere zu erreichen. Da der Hersteller angibt, dass vom 17. bis 23. Tag nach Applikation die Konzentrationen der freigesetzten Alkane stetig sinken, wird empfohlen, die Zeitspanne von 8. bis 16. Tag als Versuchszeitraum zu nutzen. Gemäß diesen Empfehlungen wurden die Boli stets 7 Tage vor der ersten Kotprobenahme verabreicht. In allen nachfolgenden Berechnungen wurde die vom Hersteller angegebene tägliche Abgabemenge (400 mg) der Alkane C32 und C36 aus dem Bolus verwendet.



**Abbildung 3:** Bolus mit Schlundsonde

## **4.2 Untersuchungen zu den Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe und der Wiederfindung der Alkane**

In beiden Untersuchungsjahren wurden Versuche zur Ermittlung der Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe und der Wiederfindungen von Alkanen aus Gras und Grassilage durchgeführt (Tabelle 2). Dazu wurden Färsen aus den jeweiligen Herden genutzt und einzeln aufgestellt. In allen vier Versuchen wurden die beschriebenen Pansenkapseln verwendet.

### **4.2.1 Weidesaison 2004**

In der Weidesaison des Jahres 2004 wurden zwei Versuche durchgeführt (Tabelle 2). Für die Untersuchung mit Gras (B04/I) wurden im August sechs Färsen der Rasse Holstein Frisian mit annähernd gleichem Trächtigkeitsstatus und einer mittleren Lebendmasse von 532 kg ( $s = 30$  kg) einzeln aufgestellt. Wie unter 3.1.1 erläutert, wurde zur Ernte des Grases im Versuchszeitraum die ungedüngte Fläche K6 (Abbildung 2) genutzt.

Zur Bestimmung der Wiederfindungen von Alkanen aus Grassilage wurde im Oktober der Versuch B04/II durchgeführt. Für die Versuchsphase wurden fünf Färsen aus der Herde der gedüngten Variante b genommen. Die Tiere hatten im Mittel eine Lebendmasse von 557 kg ( $s = 37$  kg). Als einzige Futterkomponente diente Grassilage des 1. Schnittes der Fläche K4 (Abbildung 2). Es wurde demnach in 2004 keine Trennung nach Extensivierungsgraden vorgenommen und jeweils nur eine Variante für Gras und Grassilage geprüft. Die Gründe für die unvollständige Datenerfassung sind die durch Trockenheit bedingte Futterknappheit und eine nicht ausreichende Verfügbarkeit der Grassilage.

**Tabelle 2:** Übersicht des Versuchsdesigns in den Verdaulichkeitsuntersuchungen

Versuch	Versuchs- zeitraum	Tierzahl	Lebendmasse (MW und s in kg)		Futter	Fläche*	Düngung (kg N/ha)
<b>2004</b>							
B04/I	18.08. - 25.08.	6	532	30	Gras	K6	0
B04/II	02.10. - 09.10.	5	557	37	Grassilage	K4	70
<b>2005</b>							
B05/I	29.06. - 06.07.	3	529	23	Gras	K2	0
		3	518	19		K4	70
B05/II	19.09 - 26.09.	3	579	23	Grassilage	K2	0
		3	551	26		K4	70

\*Kennzeichnung der Flächen laut Abbildung 2

#### 4.2.2 Weidesaison 2005

Im Jahr 2005 konnte innerhalb der Versuche mit Gras und Grassilage die Trennung der Weideflächen in die beiden Extensivierungsgrade berücksichtigt werden (Tabelle 2). In beiden Untersuchungen wurden die Flächen K2 (a) und K4 (b) (Abbildung 2) genutzt. Während der Versuche wurde den Tieren aus der jeweiligen Herde das Futter behandlungsgetreu vorgelegt. Im Juli wurden für den Versuch B05/I aus jeder Herde drei Färsen mit einem mittleren Lebendgewicht von 529 kg ( $s = 23$  kg, Variante a) und 518 ( $s = 19$  kg, Variante b) aufgestellt. Als Futter wurde das Gras des 2. Aufwuchs täglich geerntet. Der Versuch mit Grassilage (B05/II) wurde im September analog zum Versuch B05/I mit 3 Färsen aus jeder Herde durchgeführt. Mit Ausnahme eines Tieres waren dies die gleichen Färsen wie im Versuch mit Gras (B05/I). Die Tiere wogen zu Versuchsbeginn im Mittel 579 kg ( $s = 23$  kg, Variante a) und 551 kg ( $s = 26$  kg, Variante b). Als Futter diente eine Grassilage des 1. Schnittes von den oben genannten Flächen.

### 4.2.3 Haltung

Für den Zeitraum der Verdaulichkeitsuntersuchungen wurden die Tiere einzeln in einem Offenfrontstall aufgestellt. Die Größe der Abteile betrug ca. 3 x 3 m. Um ein Vermischen der Kote benachbarter Tiere zu verhindern, wurde ein Mindestabstand der Abteile zueinander von 2 m realisiert. Nach einer Anpassungsphase (Abschnitt 3.2.4) wurden an sechs aufeinander folgenden Tagen die aufgenommenen Futtermengen und die ausgeschiedenen Kotmengen täglich tierindividuell und vollständig erfasst. Um eine Verfälschung der Kotzusammensetzung durch Harn zu verhindern, wurde der Kot sofort nach dem Absetzen aufgenommen und gesammelt. Dies bedingte eine durchgängige Beobachtung der Tiere, die täglich von 04:00 bis 22:00 gewährleistet wurde. Da die Tiere in der Zeit nach Sonnenuntergang und vor Sonnenaufgang in der Regel ruhten und keinen Kot absetzten, fand während der Nacht keine Beobachtung statt. Die verbliebenen Futterreste wurden täglich gewogen, tierindividuell gesammelt und bei der Auswertung der Daten berücksichtigt.

### 4.2.4 Fütterung und Futtermittel

In den Versuchen mit Gras wurde den Tieren eine zweitägige Gewöhnung an die Versuchsbedingungen zugestanden. Da die Tiere vor Versuchsbeginn auf der Weide standen, war eine Anpassung an das Futter auf Grund identischer Futtergrundlage nicht notwendig. Das Gras wurde täglich von den jeweiligen, oben genannten Flächen mit einem Parzellenmäher (Schnittbreite ca. 2 m) geerntet. Dazu wurden für jedes einzelne Tier vom Rand der Koppel ausgehend, nebeneinander liegende Streifen gemäht. Der Mäher erfasste während des Erntens das Gewicht des geschnittenen Futters. Dadurch war die Größe der gemähten Fläche in Abhängigkeit zur benötigten Futtermenge für jedes Tier verschieden. In den Versuchen mit Grassilage wurden die Tiere in einer vierzehntägigen Vorperiode auf das Futter eingestellt.

Als Futtermenge wurde täglich und tierindividuell 115 % der am Vortag verzehrten Menge des Grases bzw. der Grassilage vorgelegt. Die tägliche Vorlage des Futters erfolgte um 9:00 Uhr in getrennten Futtertrögen als Einmalgabe. Somit konnte eine tierindividuelle, quantitative Erfassung der Futtermengen gewährleistet werden. Die verbliebenen Futterreste wurden täglich gewogen und bei der Auswertung auf Basis der Trockenmasse berücksichtigt.

Wasser und Mineralstoffe in Form von Lecksteinen (Tabelle A-4) standen *ad libitum* zur Verfügung.

Die mittleren, analysierten Parameter Trockensubstanz (T) und Rohnährstoffe der eingesetzten Futtermittel sind in Tabelle 3 aufgeführt. Einzeldaten können der Tabelle A-5 im Anhang entnommen werden. Das Gras beider Jahre wies Gehalte zwischen 893 und 918 g/kg T für die Organische Substanz (OS), 117 und 160 g/kg T für das Rohprotein (XP), 27 und 31 g/kg T für das Rohfett (XL) und 249 und 288 g/kg T für die Rohfaser (XF) auf. Die analysierten Gehalte für die Neutral-Detergentien-Faser (NDF) bzw. die Saure-Detergentien-Faser (ADF) lagen in einem Bereich von 461 bis 484 g/kg T und 281 bis 307 g/kg T. Bei den Grassilagen gab es zwischen den Jahren nur geringe Unterschiede in den Gehalten an OS und XL, die zwischen 887 und 895 g/kg T bzw. 27 und 28 g/kg T lagen. Die analysierten Werte für XP schwankten zwischen 112 und 129 g/kg T und für XF von 280 bis 305 g/kg T.

Die Rohnährstoffgehalte des Futters sind aufgrund der verschiedenen Flächen und der Aufwüchse zwischen den Jahren kaum vergleichbar. Einzig zwischen den Extensivierungsgraden für das Jahr 2005 kann sowohl für Gras als auch für die Grassilage ein Vergleich gezogen werden. Dort gab es unter anderem im XP-Gehalt des Futters deutliche Unterschiede zwischen der gedüngten und ungedüngten Variante.

**Tabelle 3:** Mittlere, analysierte Parameter der eingesetzten Futtermittel in den Verdaulichkeitsuntersuchungen der Jahre 2004 und 2005

Versuch	Herde	T	OS	XP	XL	XF	NDF	ADF
		g/kg			g/kg T			
Gras								
B04/I	a	211	893	160	31	249	470	281
B05/I	a	343	918	117	27	288	484	307
	b	301	917	143	31	264	461	282
Grassilage								
B04/II	b	456	887	112	27	280	484	294
B05/II	a	412	893	116	27	286	474	346
	b	334	895	129	28	305	511	354

#### 4.2.5 Probengewinnung und -aufbereitung

Die Futter- und Kotproben wurden an jeweils sechs aufeinander folgenden Tagen gewonnen. Dabei erfolgte die Probennahme, begründet durch die Annahme einer 48-stündigen Passagerate der Bolusalkane durch den Verdauungstrakt der Tiere, um eine zeitliche Versetzung von zwei Tagen. Dies bedeutet, dass für einen Zeitraum von insgesamt 8 Tagen an den beiden ersten Tagen ausschließlich Futterproben und an den

beiden letzten Tagen ausschließlich Kotproben gewonnen wurden. Die Gewinnung der Grasproben erfolgte tierindividuell während der morgendlichen Futterernte direkt aus dem Futterstrom. In den Versuchen mit Grassilage wurde ausgehend davon, dass die Tiere einer Variante die gleiche Grassilage bekamen, auf eine tierindividuelle Probennahme verzichtet. Proben für die Düngungsvarianten bzw. Herden wurden während des morgendlichen Einwiegens der Futtermengen genommen. Die vom Vortag verbliebenen Futterreste wurden vor der neuerlichen Fütterung für jedes Tier zurück gewogen und beprobt. Von den täglichen Gesamtkotmengen jeder Färse wurden nach der Erfassung der Menge mittels Wiegen sowie einer Homogenisierung ein Aliquot von 5 % für die Sammelprobe entnommen. Die Lagerung der Futter- und Futterrestproben erfolgte bei -18 °C in eindeutig gekennzeichneten Gefrierbeuteln aus Plastik und die der Kotproben in Kunststoffeimern bis zur Analyse.

In beiden Versuchsjahren wurden die Proben von Futter, Futterresten und Kot mittels Gefriertrocknung aufbereitet. Anschließend wurden sie auf 1 mm Siebdurchgang in einer Hammermühle vermahlen.

### **4.3 Untersuchungen zur Futterraufnahme auf der Weide**

In den Jahren 2004 und 2005 wurden insgesamt vier Untersuchungen zur Futterraufnahme (Tabelle 4) durchgeführt. Ziel war die Schätzung der Futterraufnahme und der Futterselektion der Tiere auf der Weide. Dazu wurden einige, gekennzeichnete Tiere der Herden während der Versuchsphase zweimal täglich über einen Zeitraum von drei Stunden auf der Weide begleitet. Um das Verhalten und den Rhythmus der Tiere nicht zu beeinträchtigen, wurden die Herden zu Beginn der Weideperiode über mehrere Wochen an die Anwesenheit von Menschen gewöhnt. Somit konnten sich die betreuenden Personen während der Versuche in den Herden bewegen, ohne die Tiere mit ihrer Gegenwart zu stören oder gar aufzuschrecken. In allen Versuchen zur Futterraufnahme konnte die Trennung der Extensivierungsgrade der Weideflächen bei der Versuchsdurchführung berücksichtigt werden. Aus jeder Herde wurden sechs Tiere ausgewählt. Wie in den Bilanzen wurden Pansenkapseln zur Applikation der externen Marker verwendet. Sie wurden 7 Tage vor Beginn der Kotprobennahme verabreicht. In der Versuchsphase von 9 Tagen erfolgte an jeweils 7 aufeinander folgenden Tagen eine stichprobenartige Sammlung der Futter- und Kotproben, wobei die Zuordnung und Gewinnung der Proben, wie bereits unter 3.2.5 erläutert, um eine zeitliche Versetzung von 48 h erfolgte.

### 4.3.1 Weidesaison 2004

In der Weidesaison 2004 konnte aufgrund der sehr trockenen Witterung und daraus resultierender Futterknappheit nur ein Experiment (FA04/I) im September realisiert werden. Jeweils 6 Holstein Frisian Färsen mit mittleren Lebendmassen von 493 und 524 kg wurden aus den Herden der Düngungsvariante a und b ausgewählt. Für die Versuchsphase standen die Flächen K5 (Tag 1 bis 6) sowie K2 (Tag 7 bis 9) für die ungedüngte Variante a und die Fläche K8 an allen Tagen für die gedüngte Variante b zur Verfügung (Abbildung 2). Bedingt durch einen sehr geringen Nachwuchs der gedüngten Grünlandfläche war es notwendig, dass Grassilage vom 1. Schnitt zugefüttert werden musste.

**Tabelle 4:** Übersicht des Versuchsdesigns in den Experimenten zur Futteraufnahme auf der Weide

Versuch	Versuchszeitraum	Tierzahl		Lebendmasse		Fläche*	Düngung (kg N/ha)
		Färsen	Ochsen	(MW und s in kg)			
<b>2004</b>							
FA04/I	18.09. - 26.09.	6	0	493	18	K5/2	0
		6	0	524	49	K8	70
<b>2005</b>							
FA05/I	15.05. - 23.05.	3	3	506	52	K1/2	0
		3	3	514	56	K3/4	70
FA05/II	30.05. - 07.06.	2	4	522	28	K2	0
		2	4	508	51	K4	70
FA05/III	17.08. - 25.08.	0	6	569	30	K1	0
		0	6	545	34	K3	70

\*Kennzeichnung der Flächen laut Abbildung 2

### 4.3.2 Weidesaison 2005

In der Weidesaison 2005 konnten aufgrund günstiger Witterungsverhältnisse drei Versuche zur Futteraufnahme und Futterselektion durchgeführt werden. Für die Untersuchungen wurden drei Aufwüchse der im Pflanzenbestand homogen zusammengesetzten Flächen K1 bis K4 (Abbildung 2) genutzt. Auch hier erfolgte eine strikte Trennung der Düngungsvarianten. In Anbetracht der Tatsache, dass sich die Herden zu etwa gleichen Teilen aus Färsen und Ochsen zusammensetzten, wurden in den Versuchen sowohl weibliche als auch männliche Tiere verwendet.

Der 1. Aufwuchs der Flächen wurde Mitte Mai beweidet. Aus jeder Herde wurden drei Färsen und drei Ochsen für den Versuch FA05/I ausgewählt (Tabelle 4) und eindeutig gekennzeichnet. Die Tiere weideten von Tag 1 bis 5 auf den Flächen K2 (a) und K4 (b) und von Tag 6 bis 9 auf K1 (a) und K3 (b) (Abbildung 2). Für eine weitere Untersuchung

zur Futterraufnahme (FA05/II) stand Anfang Juni der 2. Aufwuchs der ungedüngten Koppel K2 und der gedüngten Koppel K4 zur Verfügung. Zur Gewinnung der Proben im Versuchszeitraum dienten jeweils vier Ochsen und zwei Färsen. Das 3. Experiment (FA05/III) wurde mit dem Gras des 3. Aufwuchses im August mit jeweils sechs Ochsen realisiert. Die Herde der ungedüngten Variante weidete auf K1 und die der gedüngten Variante auf K3 (Abbildung 2).

Wie in Tabelle 5 dargestellt, wies das Gras über die 3 Aufwüchse Gehalte zwischen 913 und 967 g/kg T für die OS, 141 und 161 g/kg T für XP, 23 und 28 g/kg T für XL und 208 und 234 g/kg T für XF auf. NDF und ADF lagen in einem Bereich von 352 bis 437 g/kg T und 227 bis 281 g/kg T. Die Daten aus den Analysen der einzelnen Futterproben sind im Anhang, Tabelle A-6 niedergelegt. Unterschiede in den Rohnährstoffgehalten zwischen den Düngungsvarianten waren im Futter der Untersuchungen auf der Weide nur bedingt zu erkennen. Beispielhaft dafür wurden in FA05/I für XP, XL und XF zwischen den Herden Differenzen in einem Bereich von 2 bis 5 g/kg T gefunden.

**Tabelle 5:** Mittlere, analysierte Gehalte der eingesetzten Futtermittel in den Versuchen zur Futterraufnahme im Jahr 2005

Versuch	Herde	T <sub>trocken</sub> *	OS	XP	XL	XF	NDF	ADF
		g/kg						
FA05/I	a	920	888	145	26	208	352	227
	b	913	901	141	28	213	359	233
FA05/II	a	938	888	151	26	218	432	246
	b	931	879	152	24	233	425	255
FA05/III	a	967	885	161	24	234	437	277
	b	940	872	160	23	220	384	281

\*Die hier dargestellten Trockensubstanzgehalte basieren auf Proben, die bereits bei 65°C über einen Zeitraum von 24 h getrocknet worden waren. Diese Form der Darstellung erfolgt nur der Vollständigkeit halber. Für die weiteren Kalkulationen war die Kenntnis der absoluten Trockensubstanz nicht erforderlich.

### 4.3.3 Probengewinnung

Die Gewinnung der Futterproben wurde morgens und abends mit einem zeitlichen Abstand von näherungsweise zwölf Stunden vorgenommen. Unter Berücksichtigung der tierindividuellen Selektion erfolgte die Erfassung einer repräsentativen Futterprobe durch Pflücken von Pflanzen der Bereiche auf den Flächen, die von den Tieren der jeweiligen Herde zur gleichen Zeit begrast wurden. Die Futterproben wurden nicht tierindividuell, sondern als Gesamtprobe pro Herde und Zeitpunkt gewonnen. Beim Versuch, das selektive Fressen zu simulieren, wurde unter Anwendung der so genannten „Hand-Pflück-Methode“ (Berry et al., 2002) mit abnehmender Wichtung Folgendes beachtet:

- (1) Die Pflanzenspezies und Pflanzenteile sind unmittelbar neben dem Tier zu nehmen.
- (2) Welche Anteile haben bestimmte Pflanzen an der gesamten aufgenommenen Futtermenge? Festgestellt wurde dies durch Beobachtung der Dauer, in welcher die Tiere bestimmte Areale begrasten.
- (3) Wenn sich die Tiere eindeutig und direkt auf bestimmte Pflanzen zu bewegen, sind diese im gleichen Maße zu beproben.
- (4) Es ist regelmäßig zwischen den Tieren der Untersuchungsgruppe zu wechseln, um den tierindividuellen Einfluss zu minimieren.
- (5) Die Menge der mit einmal aufgenommenen Pflanzen („Bissgröße“) ist bei der Probengewinnung zu berücksichtigen.

Im Versuch FA04/I wurden zusätzlich zweimal täglich Proben von der verfütterten Grassilage genommen. Die Kotproben wurden parallel zu den Futterproben morgens und abends von jedem einzelnen Tier der Herden als Stichproben aus frisch abgesetztem Kot gewonnen. Einzig im Versuch FA04/I konnten aufgrund personeller Engpässe nur zu einem der beiden Zeitpunkte Kotproben genommen werden. Bis zur Analyse wurden alle Proben in eindeutig gekennzeichneten Gefrierbeuteln aus Plastik bei -18 °C gelagert.

#### **4.3.4 Probenaufbereitung**

Für die Aufbereitung der in den Versuchen FA04/I und FA05/I gewonnenen Proben wurde die Gefriertrocknung gewählt. Die in den Versuchen FA05/II und III gewonnenen Proben wurden über 24 h bei 65°C im Umluftofen getrocknet. Dies fußt auf der Tatsache, dass diese beiden Trocknungsvarianten sich bezüglich der analysierten Alkankonzentrationen nicht unterscheiden (Abschnitt 4.5), das Trocknen im Ofen jedoch wesentlich einfacher und effektiver durchzuführen ist. Nach der Trocknung wurden alle Proben auf 1 mm Siebdurchgang mit einer Hammermühle vermahlen.

#### **4.4 Vergleich verschiedener Trocknungsmethoden**

Bei der Aufbereitung der gewonnenen Proben gilt die Gefriertrocknung in der Regel als die Methode der Wahl. Eine Trocknung im Ofen ist jedoch schneller und einfacher. Ausgehend von Untersuchungen von Oliván und Osoro (1995) sowie Scharch et al. (2002) kann ein Einfluss der Trocknungsmethode auf die gemessenen Konzentrationen natürlicher Alkane nicht ausgeschlossen werden. Um diesen Effekt zu prüfen, wurden Futter- und Kotproben aus den Verdaulichkeitsuntersuchungen in einem Vergleich auf verschiedene

Arten aufbereitet. Die Kotproben aus dem Versuch B04/I sowie die Futter- und Kotproben der Versuche B04/II, B05/I und B05/II wurden in der Gefriertrocknung und im Umlufttrockenschrank (M-700, Memmert GmbH) bei 65 °C und 105°C über jeweils 24 h getrocknet. Nach anschließendem Vermahlen der Proben (1 mm Siebdurchgang, Hammermühle) wurden die Alkankonzentrationen bestimmt.

Neben der Darstellung der gemessenen Konzentrationen in Futter und Kot wurden für die Versuche B05/I und B05/II über eine Bilanzierung der Aufnahme und Ausscheidung einzelner Alkane die Wiederfindungen berechnet (Abschnitt 3.8.2). Die Kalkulation der Wiederfindungen innerhalb der drei Trocknungsvarianten erfolgte nur dann, wenn sowohl Futter als auch Kot mittels der jeweiligen Methode getrocknet worden waren (Futterreste in jedem Fall nur gefriergetrocknet). Bedingt durch die verschiedenen Methoden der Trocknung ergaben sich auch Unterschiede in den berechneten, absoluten Trockensubstanzgehalten von Futter und Kot (Tabelle A-7). Daraus resultierten sowohl in der Trockensubstanzaufnahme als auch Trockensubstanzausscheidung geringe Unterschiede zwischen den Varianten.

#### **4.5 Ermittlung der Alkankonzentrationen in einzelnen Pflanzenarten**

Verschiedene Gräser, Kräuter und Leguminosen werden im Gräsergarten der LLFG des Landes Sachsen-Anhalt in Iden jährlich zu Anschauungszwecken in einzelnen Parzellen ausgesät. Zur Ermittlung der Alkangehalte in einzelnen Pflanzenspezies wurden hier im Jahr 2005 über mehrere Aufwüchse hinweg Pflanzenproben gewonnen. In Anlehnung an die unter 3.1.1 beschriebenen Flächenbonitur zu Beginn der Weideperiode 2005 wurden die Gräserarten *Lolium perenne*, *Festuca pratensis*, *Poa pratensis*, *Phleum pratense* und *Dactylis glomerata* für diese Untersuchung ausgewählt. Zusätzlich wurden Proben von *Taraxacum officinale* (Kräuter) und *Trifolium repens* (Leguminosen) gewonnen. Es wurden vier Aufwüchse der genannten Gräserarten und drei Aufwüchse von Weißklee und Löwenzahn genutzt. Zur Probengewinnung wurde in jeder Parzelle ein Streifen von 0,5 m Breite und 1 m Länge mit einer elektrischen Rasenkantenschere geschnitten. Anfang Mai (1. Aufwuchs) wurden die Gräser zu Beginn des Rispschiebens, der Klee vor dem Knospen und der Löwenzahn in der Vollblüte geschnitten. Im 2. Aufwuchs wurden die Gräser, mit Ausnahme der Wiesenrispe, in zwei verschiedenen Wachstumsstadien beprobt. Von einem Teilstück jeder Parzelle wurden die Pflanzen Mitte Mai (Zeitpunkt 2.1) zu Beginn des Schossens und von einem anderen Anfang Juni (Zeitpunkt 2.2) im Rispschieben geerntet. Der Weißklee stand im 2. und 3. Aufwuchs (Anfang Juni und

Juli) in voller Blüte, während vom Löwenzahn im späten Blattstadium geschnitten wurde. Der 3. und 4. Schnitt der Gräser erfolgte Anfang Juli und Ende August im Stadium des Schossens.

Die Proben wurden in gekennzeichneten Gefrierbeuteln aus Plastik bis zur Analyse bei -18 °C gelagert. Die Aufbereitung der Pflanzenproben erfolgte durch Trocknung im Umluftofen bei 65 °C über 24 h mit anschließender Vermahlung auf 1 mm Siebdurchgang in einer Hammermühle.

#### **4.6 Ermittlung der Abgabe des externen Markers aus den Pansenkapseln**

Wie unter 3.1.3 beschrieben, sind die verwendeten Pansenkapseln in Bezug auf Zusammensetzung und Verwendung ausschließlich vom Hersteller definiert. Diese Aussagen zur täglichen Abgabehöhe der Alkane C32 und C36 (400 mg/Tag) und zur Dauer der Freisetzung aus dem Bolus (hier als Laufzeit bezeichnet, näherungsweise 20 Tage) sollten geprüft werden. Aufgrund der Bilanzierung von Futteraufnahme und Kotausscheidung in allen vier Untersuchungen zu den Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe können quantitative Aussagen zur täglichen Abgabe der Boli getroffen werden. Zur Untersuchung der Laufzeit wurden im Anschluss an die Versuche B04/II und FA04/I von 5 bzw. 6 Tieren weitere Kotproben genommen. Da die Konzentrationen der abgegebenen Alkane vom 17. bis zum 23. Tag nach Gabe des Bolus stetig sinken soll, wurde in diesem Zeitraum zweimal täglich (morgens und abends) stichprobenartig frisch abgesetzter Kot beprobt. Am 24. Tag wurden nur noch morgens Kotproben genommen.

Bis zur Analyse wurden alle Proben in eindeutig gekennzeichneten Gefrierbeuteln aus Plastik bei -18 °C gelagert. Die Aufbereitung der Proben erfolgte durch Trocknung im Umluftofen bei 65 °C über 24 h mit anschließender Vermahlung auf 1 mm Siebdurchgang in einer Hammermühle.

#### **4.7 Analytik**

Die Futter- und Kotproben wurden vor der jeweiligen Analyse unterschiedlich vorbereitet und gepoolt. Daher soll im jeweiligen Abschnitt darauf verwiesen werden wie beim Poolen der Proben vor der Weender Rohnährstoff- bzw. der Alkanalanalyse verfahren wurde.

##### **4.7.1 Weender Rohnährstoffe und Detergenzienfasern**

Die Futter- und Kotproben der Verdaulichkeitsuntersuchungen mit Gras (B04/I, B05/I) wurden vor der Analyse der Weender Rohnährstoffe und Detergenzienfasern für jedes Tier

über die Sammelperiode von 6 Tagen gepoolt. Die tierindividuellen Sammelproben des Futters wurden aus den getrockneten und vermahlenden Einzelproben gepoolt. Die Vereinigung der Kotproben von den 6 Tagen für ein Tier erfolgte dagegen, wie unter 3.2.5 beschrieben, aus dem Frischkot. Bei den Futterproben der Verdaulichkeitsuntersuchungen mit Silage (B04/II, B05/II) wurden die Futterproben nicht tierindividuell, sondern für jede Düngungsvariante, die Kotproben dagegen für jedes Tier über die 6 Tage gepoolt. Mit den Proben der Untersuchungen zur Futteraufnahme des Jahres 2005 wurde ähnlich verfahren. Es wurde eine Sammelprobe für jede Düngungsvariante bzw. Herde gewonnen, die Kotproben jedoch für jedes Tier über die Sammelperiode gepoolt. Auf eine Rohnährstoffanalyse der Proben aus dem Versuch FA04/I wurde verzichtet.

Die Analyse der Weender Rohnährstoffe erfolgte im Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, in den Laboren der Professur für Tierernährung der Martin-Luther-Universität Halle-Witterberg.

Von allen Proben der Verdaulichkeitsuntersuchungen wurde der Gehalt an Trockensubstanz (105 °C, 4 h, Methode 3.1, Naumann und Bassler, 1976) bestimmt. Die Proben aus den Versuchen zur Futteraufnahme (FA05/I-III) wurden für die weitere Analytik nur einer Trocknung bei 65°C über 24 h bzw. einer Gefriertrocknung unterzogen, ohne den Trockensubstanzgehalt zu dokumentieren. Für die weiteren Berechnungen wurden diese Werte nicht benötigt. Weiterhin wurden die Rohasche (XA, 550 °C, über Nacht, Methode 3.1, Naumann und Bassler, 1976), das Rohprotein (Methode 4.1.1, Naumann und Bassler, 1993), das Rohfett (Methode 5.1.1, Naumann und Bassler, 1988) und die Rohfaser (Methode 6.1.1, Naumann und Bassler, 1993) nach den Vorgaben der VDLUFA ermittelt. Es erfolgte außerdem die Bestimmung der NDF und der ADF (in Anlehnung an van Soest, 1963; Methode 6.5.1 und 6.5.2, Naumann und Bassler, 1988).

#### **4.7.2 Aufschluss zur Analyse der Alkane**

Die Alkananalyse der Kote aus den Untersuchungen zur Verdaulichkeit erfolgte aus den getrockneten, tierindividuellen Kotsammelproben. Die Futterproben wurden für jedes Tier (B04/I) bzw. die Herde (B04/II) aufgeschlossen. Das Futter wurde tagesindividuell analysiert, weil trotz gleicher Weidefläche Schwankungen der Alkangehalte, bedingt durch eine hohe Inhomogenität im Pflanzenbestand und der fortschreitenden Entwicklung in der Vegetation, erwartet wurden. In den Versuchen B05/I und B05/II wurde anders als im Vorjahr auf die Analyse der tagesindividuellen Futterproben verzichtet. Eine hohe Homogenität im Pflanzenbestand der genutzten Flächen K1 bis K4 begründete dieses

Vorgehen. Die Futterproben wurden nach dem Trocknen und Vermahlen über die Sammelperiode gepoolt und als Sammelprobe für jedes Tier (B05/I) bzw. jede Herde (B05/II) aufgeschlossen. Aus den Untersuchungen zur Futteraufnahme FA04/I und FA05/I wurden alle Einzelproben aufgeschlossen. In den Versuchen FA05/II und FA05/III wurden aus den getrockneten und vermahlenden Einzelproben tagesindividuelle Futterproben für jede Düngungsvariante bzw. Herde und tierindividuelle Kotproben gepoolt. Die Kotproben zur Validierung der Pansenkapseln sowie die Proben der Gräserarten aus der Untersuchung zu Alkangehalten in Pflanzenarten wurden einzeln analysiert.

Die Methode des Alkanaufschlusses gemäß Mayes et al. (1986) wurde in den letzten beiden Jahrzehnten von vielen Autoren modifiziert und weiterentwickelt (Dove, 1992; Oliván und Osoro, 1995; Vulich et al., 1995; Elwert et al., 2004). Die im Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften der Universität Halle-Wittenberg angewandte Methode in Anlehnung an Elwert et al. (2004) wurde für diese Arbeit teilweise modifiziert und wie folgt durchgeführt.

Zur Vorbereitung wurde eine ethanolische Kalilauge für die Verseifung der Fette hergestellt. Dazu wurden 8,4165 g Kaliumhydroxid (KOH) und 100 ml Ethanol in ein Becherglas gegeben und über drei Stunden auf einer Heizplatte bei 45-50 °C erwärmt. Während der drei Stunden wurde die Lösung durch einen Magnetrührer gerührt, sodass sich das KOH vollständig auflöste und die Lösung klar und satzfrei wurde. Zu Beginn des Aufschlusses wurden die verwendeten Aufschlussgefäße (McCartney-Flaschen, PYREX, 15 ml Volumen) mit Heptan gespült und unter dem Abzug getrocknet. In die McCartney-Flaschen wurden die aufzuschließenden Proben und jeweils 0,08 g einer internen Standardlösung eingewogen. Je nach Art der Probe waren dies etwa 0,5 g Kot oder 1,0 g Futter. Der interne Standard enthielt die Alkane Dokosan (C22) und Tetratriakontan (C34) in bekannten Konzentrationen im Verhältnis von 1:1. Von der vorbereiteten, ethanolischen Kalilauge wurden 5 ml in jedes Probengefäß gegeben. Die Gefäße wurden verschlossen und nach Durchmischung über 4 h bei 95 °C in einem Heizblock erhitzt. Die Proben wurden dabei halbstündlich kräftig geschüttelt.

Anschließend wurde die Temperatur des Heizblocks auf 75 °C gesenkt. Zur Extraktion der Kohlenwasserstoffe wurden zuerst 5 ml Heptan und anschließend 3 ml deionisiertes Wasser zugegeben. Die Proben wurden nach jeder Zugabe geschüttelt und zurück in den Heizblock gestellt, um die Temperatur möglichst konstant zu halten. In den McCartney-Flaschen separierte sich die wässrige Phase von der Heptan-Kohlenwasserstoffphase. Die Proben wurden nochmals geschüttelt, und nach erneuter Phasentrennung wurde die obere

Phase (Heptan-Kohlenwasserstoffphase) mittels einer Einwegpipette in separate, entsprechend gekennzeichnete Scintillations-Gläser überführt. In die McCartney-Flaschen wurden weitere 2,5 ml Heptan gegeben. Nach Durchmischung und anschließender Separation der Phasen wurde erneut die Heptan-Kohlenwasserstoffphase abgezogen und in das entsprechende Glas überführt. Die Gläser mit der überführten Heptan-Kohlenwasserstoffphase wurden nachfolgend in dem Heizblock bei 55 - 60 °C mittels eines konstanten Luftstroms eingedampft.

Zur Reinigung der Proben wurden Kieselgelsäulen vorbereitet. Dazu wurden 10-ml-Einwegpipettenspitzen mit Watte verschlossen und mit 3,7 g Kieselgel gefüllt. Anschließend wurden die Säule mit 6 ml Heptan gesättigt. Es wurden neue Scintillations-Gläser beschriftet und unter die Säulen gestellt. Die Aufnahme der eingedampften Proben erfolgte mit 1,5 ml Heptan. Nach dem Erwärmen im Heizblock und dem Spülen der Gläser wurde die Lösung auf die Säulen aufgegeben. Dieser Schritt wurde zweimal unter Zugabe von jeweils 3 ml Heptan wiederholt, wobei beim dritten Spülen auf das Erwärmen der Lösung verzichtet wurde. Nach dem vollständigen Durchlaufen der Lösung durch die Säule wurde diese erneut bei 55 - 60 °C eingedampft und anschließend mit 2 ml Heptan aufgenommen. Zur gaschromatographischen Analyse wurde die Lösung in 2 ml fassende GC-Fläschchen gegeben. Wenn die Analyse nicht unmittelbar nach dem Alkanaufschluss durchgeführt wurde, erfolgte die Lagerung der Proben im Kühlschrank.

Der Aufschluss der gepoolten Proben aus den Versuchen FA05/II und FA05/III sowie der Proben aus dem Gräsergarten erfolgte zur Sicherung der Reproduzierbarkeit der Analytik in Doppelbestimmung. Die Proben der übrigen Untersuchungen wurden in Einfachbestimmung aufgeschlossen und analysiert.

#### **4.7.3 Gaschromatographische Analyse der Alkane**

Die Analyse der aufgeschlossenen Proben erfolgte mittels Gaschromatographie. Das Gerät (Shimadzu GC2010) war mit einer automatischen Probezuführung und Injektion (AOC20i+s) ausgestattet, worüber hinaus eine temperaturprogrammierbare On-Column-Injektionseinheit und ein Flammenionisationsdetektor (FID) genutzt wurden. Eine Kapillarsäule vom Typ RTX-1 (30 m) mit 5 m Vorsäule, 0,53 mm Innendurchmesser und 0,25 µm Filmdicke wurde verwendet. Nachfolgende Einstellungen wurden am Gaschromatographen vorgenommen:

- Injektor: Als Trägergas wurde Helium verwendet. Der Gasfluss war konstant (30 cm/s, Säulenfluss 3,73 ml/s). Das Temperaturprogramm war so eingestellt, dass für 0,1 min eine Temperatur von 80 °C herrschte. Dann erfolgte eine Steigerung um 100 K/min auf eine Temperatur von 310 °C, die wiederum über 10 min konstant blieb. Das Injektionsvolumen betrug 0,5 µl.
- Ofen: Das Temperaturprogramm des Ofens war so eingestellt, dass für 0,1 min eine Temperatur von 80 °C herrschte. Dann erfolgte eine Steigerung um 50 K/min auf eine Temperatur von 240 °C, die wiederum über 1 min konstant blieb. Anschließend wurde die Temperatur um 6 K/min auf 264 °C, mit 4 K/min auf 284 °C und mit 2 K/min auf 296 °C gesteigert. Diese blieb dann für 10 min konstant.
- Detektor: Im Detektor herrschte eine konstante Temperatur von 315 °C. Der Beschleunigungsgasstrom (makeup gas) betrug für Helium 30 ml/min, für Wasserstoff 40 ml/min und für technische Luft 400 ml/min.

Diese Einstellungen ermöglichten die Darstellung aller Alkane mit einer Kettenlänge zwischen 22 und 38 C-Atomen. Zur Bestimmung der Retentionszeiten und der geräteinternen Diskriminanz wurde ein eigens hergestellter Standard, welcher die Alkane C22 bis C38 enthielt, injiziert. Die Berechnung der Flächen (area) der Signale (peaks) einzelner Alkane erfolgte mit einem zum Gaschromatographen gehörenden Programm (Shimadzu GC Solution Software). Als untere Messgrenze wurden 500 Flächeneinheiten festgelegt. In Anlehnung an die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen (Vulich et al., 1995; Berry et al., 2000; Elwert et al., 2004), welche eine einmalige Injektion am Gaschromatographen als genügend beschrieben, wurde auf eine Wiederholung der Probeninjektion verzichtet.

## **4.8 Berechnungen und statistische Methoden**

### **4.8.1 Berechnung der Alkankonzentrationen**

Die Konzentrationen der einzelnen Alkane errechneten sich aus dem relativen Verhältnis der Flächen unter dem jeweiligen Signal zu den Peakareas der internen Standards. Eine von Oliván und Osoro (1999) beschriebene mögliche Diskriminanz beim Aufschluss wurde dabei berücksichtigt. Die Alkankonzentrationen wurden um diese Abweichung korrigiert. Das Verhältnis der gemessenen Konzentrationen der internen Standardalkane

C22 zu C34 wurde als Korrekturfaktor (KF) bei der Berechnung eingesetzt. Mit zunehmender Entfernung des jeweiligen Alkanes von C22 (Anzahl der Kohlenstoffatome  $22+x$ ) steigt die Fehlerwahrscheinlichkeit an. Auf Grund dieser Tatsache wurde der Korrekturfaktor auf die Alkane aufgeteilt und von C22 ausgehend mit der Anzahl der zusätzlichen Kohlenstoffatome (0 bis 14) im Verhältnis zu 12 (Differenz der Kohlenstoffatome der internen Standardalkane) multipliziert. Dadurch bedingt steigt der Korrekturfaktor mit Zunahme der Kettenlänge von C22 bis C36 an. Im Folgenden soll am Beispiel von Heptakosan (C27) die Berechnung der Konzentration dargestellt werden. Im ersten Schritt (Gleichung 1) erfolgte die Korrektur der Fläche von C27 ( $C27_{\text{korrigiert}}$ ) um den Korrekturfaktor, indem die Fläche des zu C27 gehörenden Peaks ( $C27_{\text{Peak}}$ ) mit dem Korrekturfaktor multipliziert wurde. Anschließend wurde die korrigierte Fläche von C27 mit der von C34 ( $C34_{\text{korrigiert}}$ ) ins Verhältnis gesetzt, um den relativen Wert ( $C27_{\text{relativ}}$ ) zu errechnen (Gleichung 2). Dieser ergab, multipliziert mit dem Quotienten aus der bekannten Menge an C34 (mg) und der Menge an organischer Substanz bzw. Trockensubstanz (OS bzw. T in kg) die Konzentration des Alkanes  $C27_{\text{Konz.}}$  (mg/kg OS bzw. T) in der Probe (Gleichungen 3a und 3b).

$$C27_{\text{korrigiert}} = C27_{\text{Peak}} * \left( 1 + \frac{5}{12 * \text{KF}} \right) \quad (1)$$

$$C27_{\text{relativ}} = \frac{C27_{\text{korrigiert}}}{C34_{\text{korrigiert}}} \quad (2)$$

$$C27_{\text{Konz.}} \text{ (mg/kg OS)} = C27_{\text{relativ}} * \frac{C34 \text{ (mg)}}{\text{OS (kg)}} \quad (3a)$$

$$C27_{\text{Konz.}} \text{ (mg/kg TS)} = C27_{\text{relativ}} * \frac{C34 \text{ (mg)}}{\text{TS (kg)}} \quad (3b)$$

#### 4.8.2 Berechnung der Wiederfindung

Die Berechnung der Wiederfindungen einzelner Alkane erfolgte über die Bilanzierung der Aufnahme und der Ausscheidung der jeweiligen Alkane durch die Tiere. Die Menge der aufgenommenen bzw. ausgeschiedenen Alkane ergibt sich wie folgt:

$$\text{Input}_{i,j} = \text{Konz. Input}_{i,j} * \text{Input}_{\text{OS}} \quad (4a)$$

$$\text{Output}_{i,j} = \text{Konz. Output}_{i,j} * \text{Output}_{\text{OS}} \quad (4b)$$

mit

Input = Aufnahme des Alkans mit dem Futter bzw. über den Bolus (mg)

Output = Ausscheidung des Alkans mit dem Kot (mg)

Konz. Input = Konzentration des Alkans im Futter (mg/kg OS)

Konz. Output = Konzentration des Alkans im Kot (mg/kg OS)

$i,j$  = jeweiliges Alkan mit ungerader (i) oder gerader (j) Anzahl von C-Atomen

$\text{Input}_{\text{OS}}$  = aufgenommene Menge an organischer Substanz (kg)

$\text{Output}_{\text{OS}}$  = ausgeschiedene Menge an organischer Substanz (kg).

Die Wiederfindung jedes Alkans (WF in %) wurde berechnet nach:

$$\text{WF}_{i,j} = 100 - \left( \frac{\text{Input}_{i,j} - \text{Output}_{i,j}}{\text{Input}_{i,j}} * 100 \right) \quad (5)$$

#### 4.8.3 Schätzung der Futteraufnahme mittels Markermethode

Die Höhe der Futteraufnahme wurde über die Doppelmarkermethode nach Dove und Mayes (1991) wie folgt geschätzt:

$$\text{FA (kg T/Tag)} = \frac{\frac{K_i}{F_j} * B_j}{\left( F_i - \frac{K_i}{K_j} * F_j \right)} \quad (6)$$

mit

FA = Futteraufnahme (kg T/Tag)

F = mittlerer Gehalt des Alkans im Futter (mg/kg T)

K = mittlerer Gehalt des Alkans im Kot (mg/kg T)

- $i, j$  = jeweiliges Alkan mit ungerader (i) oder gerader (j) Anzahl von C-Atomen  
 $B_j$  = mittlere Abgabe der Markeralkane (In Anlehnung an die Deklaration des Herstellers wurde ein Wert von 400 mg/Tag angenommen.).

#### 4.8.4 Schätzung der Futterselektion

Die Abschätzung einer Selektion bei der Futteraufnahme auf der Weide erfolgte auf der Grundlage eines Vergleiches der Alkanmuster der bestandsbildenden Pflanzenarten und der Kote von Einzeltieren. Für diesen Zweck wurde die Software „Eat What“ (Dove und Moore, 1995) verwendet. Ergebnis einer derartigen Kalkulation ist die Schätzung der relativen Anteile der verwendeten Pflanzenarten an der Gesamtmenge des aufgenommenen Weidefutters.

Für eine derartige Schätzung muss die Anzahl der verwendeten Alkane mit der Menge der betrachteten Pflanzenarten mindestens übereinstimmen. Das schloss die Schätzung der Selektion aller Pflanzenarten auf einem artenreichen Standort aus, da nur die Alkane mit einer Kettenlänge zwischen 25 und 35 C-Atomen hinreichend hohe Konzentrationen in den Futterpflanzen aufwiesen und weitere Marker nicht zur Verfügung standen. Aus diesem Grund wurden für die Schätzung der Futterselektion die Konzentrationen der Alkane C25 bis C35 von maximal 4 Futterpflanzen, die wie unter 3.5 beschrieben zu den Hauptbestandsbildnern zählen, herangezogen.

Die Kalkulation erfolgte ausschließlich für die Versuche zur Futteraufnahme im Jahr 2005, in denen die homogenen und vergleichsweise artenarmen Flächen K1 bis K4 verwendet wurden.

#### 4.8.5 Verdaulichkeitsbestimmung mittels Bilanzierung

Die Verdaulichkeiten der organischen Substanz, der einzelnen Rohnährstoffe, der NDF und der ADF wurden berechnet nach

$$VQ_x = \frac{\text{Input}_x - \text{Output}_x}{\text{Input}_x} * 100 \quad (7)$$

mit

$VQ$  = Verdaulichkeit (%)

$\text{Input}$  = Aufnahme der organischen Substanz, des jeweiligen Rohnährstoffs oder der Detergentienfaser mit dem Futter (g/Tag)

Output = Ausscheidung der organischen Substanz, des jeweiligen Rohnährstoffs oder der Detergentienfaser mit dem Kot (g/Tag)

x = organischen Substanz, Rohnährstoff oder Detergentienfaser.

#### 4.8.6 Verdaulichkeitsbestimmung mittels Markermethode

Die Bestimmung von Verdaulichkeiten kann neben einer quantitativen Erfassung der Aufnahme und der Ausscheidungen des jeweiligen Nährstoffes auch über die Verwendung von Markern erfolgen. Um die Eignung der Alkane als Verdaulichkeitsmarker zu beurteilen, wurden die mittels Bilanzierung berechneten Verdaulichkeiten (Abschnitt 3.8.5) mit den mittels Markermethode geschätzten Verdaulichkeiten verglichen. Folgende Gleichung wurde hierbei verwendet:

$$VQ = 100 - 100 * \frac{MK_F * XK_K}{MK_K * XK_F} \quad (8)$$

mit

VQ = Verdaulichkeit (%)

MK<sub>F</sub> = Konzentration des Alkans im Futter (g/kg T)

MK<sub>K</sub> = Konzentration des Alkans im Kot (g/kg T)

XK<sub>F</sub> = Konzentration des Nährstoffs im Futter (mg/kg T)

XK<sub>K</sub> = Konzentration des Nährstoffs im Kot (mg/kg T).

#### 4.8.7 Berechnung der Energiekonzentrationen

Die umsetzbare Energie (ME) wurde aus den verdaulichen Rohnährstoffen mit der nachfolgenden Formel berechnet (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, 2001):

$$ME = 0,0312 * DXL + 0,0136 * DXF + 0,0147 * (DOS - DXL - DXF) + 0,00234 * XP \quad (9)$$

mit

ME = umsetzbare Energie (MJ/kg T)

DXL = verdauliches Rohfett (g/kg T)

DXF = verdauliche Rohfaser (g/kg T)

DOS = verdauliche organische Substanz (g/kg T)

XP = Rohprotein (g/kg T).

Die Nettoenergie-Laktation (NEL) wurde nach folgender Formel berechnet (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, 2001):

$$NEL = 0,6 * [1 + 0,004 * (q - 57)] * ME \quad (10)$$

mit

NEL = Nettoenergie-Laktation (MJ/kg T)

q = umsetzbare Energie durch Bruttoenergie (ME/GE \* 100)

ME = umsetzbare Energie (MJ/kg T).

#### 4.8.8 Statistische Methoden

Für die statistische Auswertung der Daten wurde das Softwarepaket SAS für Windows (Version 9.1, 1999-2001, SAS Inst., Inc., Cary, NC, USA) verwendet. Die Mittelwertvergleiche der Ergebnisse aus den Verdaulichkeitsuntersuchungen, den Experimenten zur Futteraufnahme auf der Weide und der Untersuchung zum Einfluss der Trocknungsmethode (Gefriertrocknung und Ofentrocknung bei 105 °C bzw. 65 °C) folgten der *glm* Prozedur als einfaktorische Varianzanalyse. Es wurde das folgende, einfach lineare Modell verwendet:

$$y_{ij} = \mu + a_i + e_{ij}$$

$y_{ij}$  ij-te Zufallsvariable

$\mu$  allgemeines Mittel

$a_i$  Effekt der i-ten Stufe (fix)

$e_{ij}$  Resteffekt der ij-ten Beobachtung (zufällig)

Zur Überprüfung von signifikanten Unterschieden diente der t-Test unter Anwendung einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha = 5 \%$ .

## 5. Ergebnisse

Die Verdaulichkeitsuntersuchungen und die Untersuchungen auf der Weide werden im Folgenden getrennt voneinander betrachtet, wobei die zum jeweiligen Versuchansatz gehörenden Ergebnisse beider Jahre zusammen dargestellt werden.

Für jene Untersuchungen, in denen eine Trennung der Extensivierungsgrade realisiert werden konnte, wurde auch eine nach Düngungsvarianten getrennte Darstellung der Ergebnisse gewählt. In diesen Untersuchungen werden die Abkürzungen a (ungedüngt) und b (gedüngt) an die Versuchsbezeichnung angehängt. Demnach sind z.B. die Ergebnisse der Verdaulichkeitsuntersuchung B05/I als B05/Ia und B05/Ib aufgeführt.

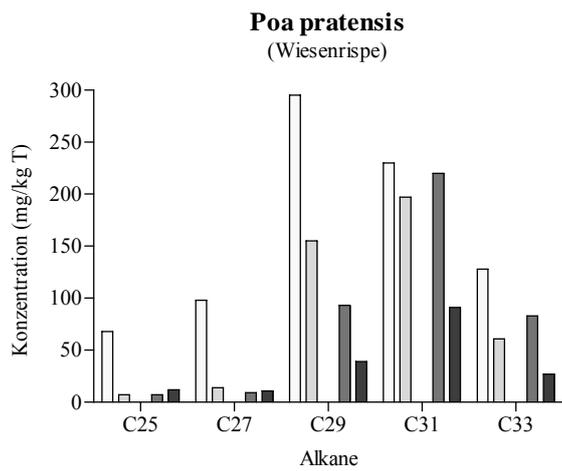
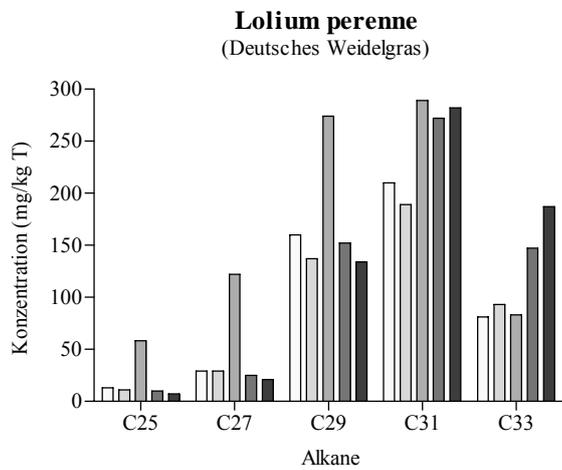
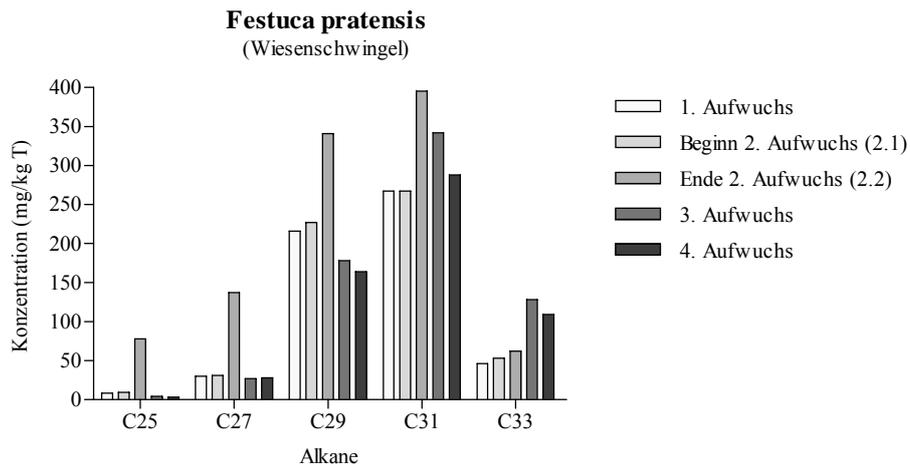
Trotz der Trennung nach Extensivierungsgrade, wird über die Ergebnisdarstellung hinaus nicht näher auf die differenzierte Düngung eingegangen. Die verschiedene Extensivierung kann als eine Ursache für unterschiedliche Pflanzenbestände (Tabelle A-1 und A-2) der Flächen betrachtet werden. Die Ergebnisse eines Kooperationsprojektes weisen darauf hin (mündliche Mitteilung U. Mitsch). Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen sollen jedoch unter dem Aspekt differenzierter Pflanzenbestände und nicht einer differenzierten Extensivierung der Flächen diskutiert werden.

Weiterhin werden nicht alle Einzeldaten, die im Rahmen dieser Arbeit erhoben wurden, im Ergebnisteil dargestellt. Eine umfangreiche Auflistung aller Daten findet sich im Anhang. Bei der Darstellung der Alkankonzentrationen (C25 bis C36) wurde auf die Angabe von C26 (nicht nachweisbar) und C34 (interner Standard) in allen Tabellen verzichtet.

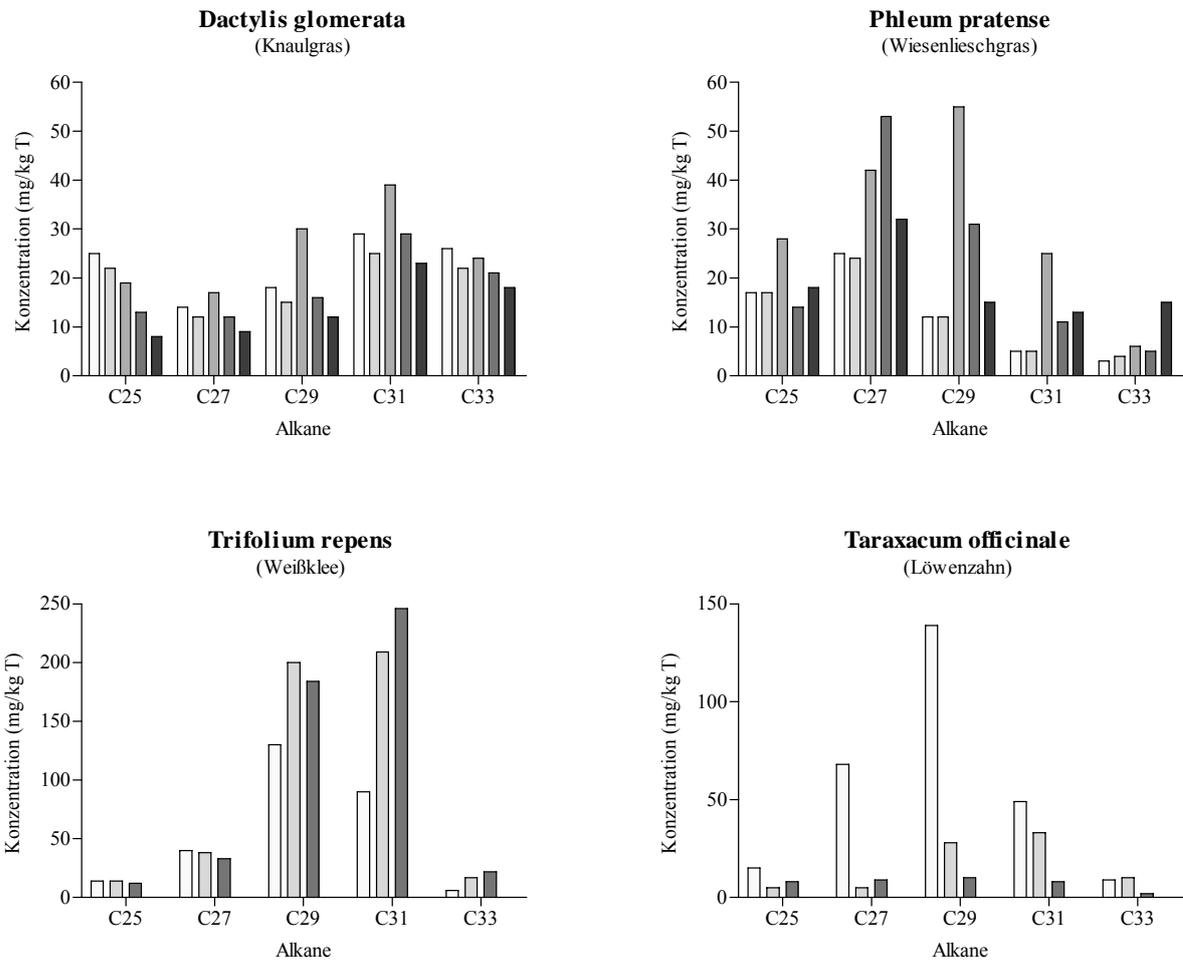
### 5.1 Alkankonzentrationen in einzelnen Pflanzenarten

Bei der Darstellung der Ergebnisse soll neben der Betrachtung der Alkanmuster jeder Pflanzenart auch auf eventuelle Unterschiede der Konzentrationen in den Aufwüchsen 1 bis 4 bzw. 1 bis 3 und innerhalb des 2. Aufwuchses (verschiedene Zeitpunkte gekennzeichnet mit 2.1 und 2.2, siehe Abschnitt 3.5) eingegangen werden.

Die Alkanmuster der einzelnen Pflanzenarten waren geprägt von einer Dominanz der ungeradzahigen Alkane (Tabelle A-8). Die geradzahigen Alkane C28, C30, C32 und C36 waren neben C35 in sehr niedrigen Konzentrationen, teilweise nur unterhalb der Nachweisgrenze vertreten. Für die graphische Darstellung der Alkanmuster der Gräser, Kräuter und Leguminosen wurden daher die ungeradzahigen Alkane C25, C27, C29, C31 und C33 ausgewählt (Abbildung 4).



**Abbildung 4:** Alkankonzentrationen (mg/kg T) in einzelnen Pflanzenarten über mehrere Aufwüchse

Fortsetzung **Abbildung 4**

In allen Pflanzenspezies, mit Ausnahme von *Phleum pratense* und *Taraxacum officinale*, wurden die höchsten Konzentrationen für die Alkane C29 und C31 und deutlich geringere Gehalte für C25, C27 und C33 gemessen. Bei Betrachtung der Alkanmuster einzelner Gräser fällt auf, dass *Festuca pratensis*, *Lolium perenne* und *Poa pratensis* höhere Konzentrationen der genannten Alkane aufwiesen als *Dactylis glomerata* und *Phleum pratense*. So wurden zum Beispiel in *Festuca pratensis* im 3. Aufwuchs C27, C29, C31 und C33 mit Konzentrationen von 27, 178, 342 und 128 mg/kg T gemessen, während *Dactylis glomerata* im gleichen Aufwuchs nur Konzentrationen von 12, 16, 29 und 21 mg/kg T auswies.

Für *Festuca pratensis* konnte über die abgebildeten Alkane ein Anstieg vom 1. bis zum 2. bzw. 3. Aufwuchs ermittelt werden, wobei für C25 bis C31 die höchsten Konzentrationen zum Ende des 2. Aufwuchses (2.2) gemessen wurden. Im Anschluss an das Maximum nahmen die Konzentrationen wieder ab. So wurde C31 gemessen mit 267 mg/kg T im 1.

Aufwuchs, 267 mg/kg T zu Beginn des 2. Aufwuchses (2.1), 395 mg/kg T in 2.2, 342 mg/kg T im 3. und 288 mg/kg T im 4. Aufwuchs. In den Proben von *Lolium perenne* (Abbildung 4) wurde über die Aufwüchse hinweg ähnlich wie bei *Festuca pratensis* für die Alkane C25, C27 und C29 ein Anstieg bis zum Zeitpunkt 2.2 mit darauf folgender Abnahme der Konzentrationen ermittelt. Auch hier wurde ein großer Konzentrationsanstieg innerhalb des 2. Aufwuchses, das heißt zwischen 2.1 und 2.2 verzeichnet. Für C33 war vom 1. bis zum 4. Aufwuchs ein steter Konzentrationsanstieg von 81 auf 187 mg/kg T zu verzeichnen. Abbildung 4 zeigt, dass für *Poa pratensis* im 1. Aufwuchs die höchsten Konzentrationen von C25, C27, C29, C31 und C33 mit 68, 98, 295, 230 und 129 mg/kg T gemessen wurden. Bis zum 4. Aufwuchs gingen die Konzentrationen aller Alkane um bis zu 256 mg/kg T (C29) zurück. Die Alkangehalte in *Dactylis glomerata* sind im gesamten Vegetationsverlauf auf einem sehr niedrigen Niveau. So wurden für die dominierenden Alkane C29 und C31 Werte zwischen 13 und 30 sowie 23 und 39 mg/kg T gemessen. Die Konzentrationen der Alkane C27, C29 und C31 erreichten zum Schnittzeitpunkt 2.2 ein Maximum, um im Anschluss wieder zu sinken. In ähnlichem Maße veränderten sich die Konzentrationen der Alkane in den Proben von *Phleum pratense*. Es wurden geringe Alkan-Konzentrationen gemessen, die sich im Lauf des Sommers auf ein Maximum im 2. bzw. 3. Aufwuchs erhöhten und danach wieder sanken. Die dominierenden Alkane in *Phleum pratense* waren jedoch C27 und C29, wobei der Gehalt von C31 im 3. Aufwuchs mit 11 mg/kg T deutlich unter den Konzentrationen im 1. und 2. Aufwuchs (53 und 31 mg/kg T) lag.

In Abbildung 4 ist weiterhin die Konzentrationsänderungen der Alkanmuster vom 1. bis zum 3. Aufwuchs für *Trifolium repens* und *Taraxacum officinale* zu entnehmen. Die Konzentrationen der Alkane C25 und C27 veränderten sich in den Proben von *Trifolium repens* nicht im Jahresverlauf und lagen auf einem Niveau von ~ 13 und 37 mg/kg T. Abweichend davon wurden für C31 und C33 vom 1. bis zum 3. Schnitt ein Anstieg in den Gehalten verzeichnet. Für *Taraxacum officinale* war dagegen für alle Alkane ein Abfall der Konzentrationen über die Aufwüchse zu beobachten. Die höchsten Gehalte wurden hier für C29 (139 mg/kg T) und C27 (68 mg/kg T) im 1. Aufwuchs ermittelt.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass bei den betrachteten Pflanzenarten über die intraspezifischen Unterschiede in den Konzentrationen einzelner Alkane hinaus auch interspezifische Unterschiede im Konzentrationsniveau der Alkanmuster auftraten. Weiterhin wurde gezeigt, dass im Vegetationsverlauf nicht von konstanten

Konzentrationen einzelner Alkane und gleich bleibenden Alkanmustern ausgegangen werden kann.

## 5.2 Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe und Wiederfindungen der Marker

### 5.2.1 Alkankonzentrationen in Futter und Kot

In den Verdaulichkeitsuntersuchungen der Jahre 2004 und 2005 wurden Gras und Grassilage eingesetzt. Tabelle 6 zeigt die gemessenen, mittleren Konzentrationen der Alkane C25 bis C36 in diesen Futtermitteln. Die Einzeldaten sind im Anhang (Tabellen A-9 bis A-12) aufgeführt. Analog zu den einzelnen Pflanzenarten des Grünlandes zeigten sich auch für die beiden Grasprodukte Alkanmuster mit deutlich höheren Konzentrationen der ungeradzahligen im Vergleich zu den geradzahligen Alkanen. Für die Alkane C29 und C31 wurden jeweils die höchsten Gehalte von bis zu 275 und 460 mg/kg T ermittelt. Im Gegensatz dazu wiesen die Alkane C28 und C32 nur sehr geringe Konzentrationen auf ( $\leq 10$  mg/kg T). Das geradzahlige Alkan C36 konnte in keiner Futterprobe nachgewiesen werden.

**Tabelle 6:** Konzentrationen der Alkane (mg/kg T, Mittelwerte und s) im Futter der Verdaulichkeitsuntersuchungen der Jahre 2004 und 2005

Alkan	Gras			Grassilage		
	B04/I <sup>1</sup>	B05/Ia <sup>2</sup>	B05/Ib <sup>2</sup>	B04/II	B05/IIa	B05/IIb
C25	7 0,6	27 <sup>a</sup> 1,9	24 <sup>b</sup> 0,9	23	40	43
C27	22 1,5	54 <sup>a</sup> 2,0	44 <sup>b</sup> 0,9	51	67	71
C28	7 0,7	10 <sup>a</sup> 0,4	9 <sup>b</sup> 0,3	7	10	9
C29	117 9,3	275 <sup>a</sup> 3,2	228 <sup>b</sup> 10,9	202	194	207
C30	10 1,7	23 <sup>a</sup> 0,6	18 <sup>b</sup> 1,1	10	10	11
C31	231 25,9	460 <sup>a</sup> 8,0	397 <sup>b</sup> 14,8	236	274	314
C32	4 1,5	11 <sup>a</sup> 0,3	8 <sup>b</sup> 0,6	u.M.	6	6
C33	91 9,7	78 5,7	82 3,2	87	68	89
C35	4 1,6	6 0,8	4 3,6	u.M.	6	8
C36	u.M.	u.M.	u.M.	u.M.	u.M.	u.M.

<sup>1</sup> n = 6 Tiere; <sup>2</sup> n = 3 Tiere; u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 500 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals

<sup>a,b</sup> kennzeichnen innerhalb einer Zeile signifikante Unterschiede zwischen den Extensivierungsgraden (a und b) im jeweiligen Versuch laut t-Test ( $P \leq 0,05$ )

Im frisch geschnittenen Gras konnten, mit Ausnahme von C33 und C35, große Unterschiede im Alkanmuster zwischen den Jahren festgestellt werden (Tabelle 6). Im Jahr 2005 wurden für die Alkane C25 bis C32 teilweise mehr als doppelt so hohe Konzentrationen gemessen wie für die Grasproben aus 2004. So wiesen zum Beispiel die

Alkane C27, C29 und C31 im Gras aus dem Versuch B04/I lediglich 22, 117 und 231 mg/kg T auf, während für das Futter aus dem Versuch B05/Ia Gehalte von 54, 275 und 460 mg/kg T analysiert wurden. Die unterschiedlichen Konzentrationen zwischen den Jahren ergaben sich durch die Nutzung unterschiedlicher Flächen mit unterschiedlichem Pflanzenbestand. Daher wurde keine statistische Auswertung zwischen den Jahren vorgenommen.

Der Vergleich der gemessenen Alkankonzentrationen im Gras der Verdaulichkeitsuntersuchung B05/I zeigte, dass die Alkankonzentrationen für C25, 27, 28, 29, 30, 31 und C32 im Gras der Variante a (ungedüngten Fläche) signifikant höher waren als im Gras der Variante b (gedüngten Fläche) (Tabelle 6). Die Differenzen der Alkankonzentrationen zwischen den Flächen lagen zwischen 1 mg/kg T für C28 bis zu 63 mg/kg T für C31. Bei den Alkanen C33 und C35 konnten nur numerische Unterschiede zwischen den Extensivierungsgraden festgestellt werden.

Die Alkangehalte der Grassilagen wiesen zwischen den Jahren nur geringere Unterschiede auf. Für C31 wurden beispielsweise Konzentrationen zwischen 236 mg/kg T im Jahr 2004 und 274 und 314 mg/kg T in 2005 gemessen. Im Gegensatz zum Gras waren in der Grassilage die Alkangehalte der gedüngten Variante (b) höher. Die nur numerisch darzustellenden Unterschiede zwischen den Extensivierungsgraden des Versuches B05/II lagen in einem Bereich von 1 mg/kg T für die Alkane C28 und C30 und 40 mg/kg T für C31.

Die aufgezeigten Unterschiede der Alkankonzentrationen in den Futtermitteln Gras und Grassilage der verschiedenen Versuche und Versuchsjahre spiegelten sich im Kot der Tiere wider. Tabelle 7 zeigt, dass auch im Kot bei der Fütterung von Gras im Jahr 2005 mehr als doppelt so hohe Gehalte von C25 bis C31 wie im Jahr 2004 bestimmt wurden. Die Differenzen zwischen den Jahren bei der Fütterung von Grassilage fielen geringer aus. Für die Bolusalkane C32 und C36 wurden über alle Versuche betrachtet Konzentrationen im Kot von 150 bis 172 mg/kg T und 131 bis 150 mg/kg T gemessen.

Für die weiteren Betrachtungen zur Wiederfindung sowie Schätzung der Futteraufnahme kamen nur Alkane in Frage, die überwiegend höhere Gehalte aufwiesen und daher sicher zu analysieren waren. Dies sind die ungeradzahligen Alkane C27, C29, C31 und C33. Weiterhin werden die geradzahligen Alkane des Pansenbolus C32 und C36 in die Berechnungen und Betrachtungen einbezogen.

**Tabelle 7:** Konzentrationen der Alkane (mg/kg T, Mittelwerte und s) im Kot der Tiere in den Verdaulichkeitsuntersuchungen der Jahre 2004 und 2005

Alkan	B04/I <sup>1</sup>	B05/Ia <sup>2</sup>	B05/Ib <sup>2</sup>	B04/II <sup>3</sup>	B05/IIa <sup>2</sup>	B05/IIb <sup>2</sup>
C25	19 1,3	51 4,7	53 4,7	42 0,9	75 3,0	77 3,7
C27	52 5,6	114 6,3	110 6,1	132 2,0	148 7,4	149 5,6
C28	1 1,2	21 0,9	20 0,8	20 1,2	15 1,2	13 0,5
C29	247 28,0	650 20,1	575 9,4	530 16,6	478 13,9	450 1,5
C30	16 3,2	58 1,6	49 0,6	26 1,1	26 0,5	25 0,2
C31	480 77,9	1102 31,8	1036 9,9	617 23,4	694 31,2	728 5,0
C32	164 36,7	154 14,3	172 37,7	167 35,9	150 18,5	157 43,8
C33	171 39,4	147 3,6	184 5,3	214 12,2	170 15,0	216 2,5
C35	9 11,4	11 0,2	13 0,7	7 6,0	15 1,5	20 1,4
C36	143 34,6	131 11,5	150 42,7	144 33,2	140 24,6	144 35,6

<sup>1</sup> n = 6 Tiere; <sup>2</sup> n = 3 Tiere; <sup>3</sup> n = 5 Tiere

### 5.2.2 Wiederfindung der Alkane

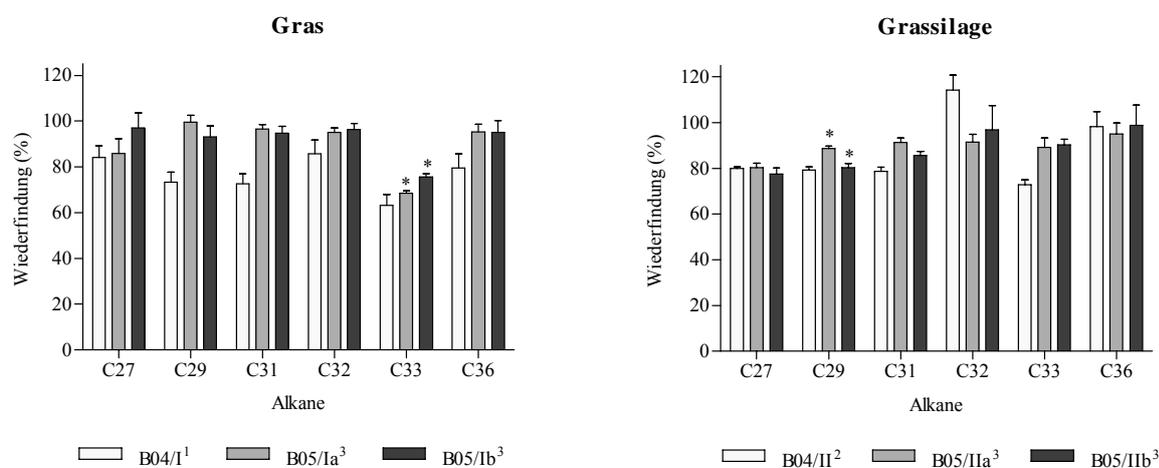
Die im Futter analysierten Alkane wurden nicht vollständig im Kot der Tiere wieder gefunden. Abbildung 5 zeigt deutliche Unterschiede der kalkulierten Wiederfindungen zwischen den einzelnen Alkanen (Einzeldaten sind der Tabelle A-13 im Anhang zu entnehmen).

Unterschiede in der Wiederfindung der Alkane wurden sowohl zwischen den Futtermitteln als auch innerhalb eines Futtermittels zwischen den Jahren gefunden.

Die kalkulierten Wiederfindungen bei der Fütterung von Gras zeigten eine große Variabilität. Im Versuch B04/I wurden aus dem Futter 84, 73, 73 und 63 % der Alkane C27, C29, 31 und C33 im Kot wieder gefunden. Im Jahr 2005 war eine deutlich höhere Wiederfindung für zum Beispiel C29 (100 und 93 %) und C31 (96 und 95 %) zu beobachten. Über die Unterschiede zwischen den Jahren hinaus ergaben sich auch zwischen den Extensivierungsgraden a und b Unterschiede, die für C33 statistisch zu sichern waren (Abbildung 5). Wie unter 4.2.1 erwähnt, wurde aufgrund großer Differenzen in der Flächenausstattung auf einen statistischen Vergleich der Wiederfindungen zwischen den Jahren verzichtet.

Analog zum Gras zeigten sich bei Betrachtung der Wiederfindung der Alkane aus der Grassilage ebenfalls deutliche Unterschiede zwischen den Versuchsjahren (Abbildung 5). C31 und C33 wurden 2004 zu 79 und 73 % und 2005 zu 91 und 86 % und 89 und 90 % wieder gefunden. Im Jahr 2005 wurde für den Extensivierungsgrad a im Vergleich zu b eine um 9 % signifikant höhere Wiederfindung von C29 kalkuliert. Bei allen anderen Alkanen bestanden keine signifikanten Differenzen zwischen den Varianten a und b.

Die Bolusalkane C32 und C36 zeigten für Gras zwischen den Jahren Unterschiede in der Wiederfindung von bis zu 15 %; für Grassilage von bis zu 22 % (Abbildung 5). In den Versuchen B05/I und B05/II variierten die Werte der Wiederfindung für Gras und Grassilage der Varianten a und b nur gering und lagen in einem Bereich von 95 bis 96 % und 92 bis 99 %. In B04/II wurde von C32 eine um 14 % höhere Alkanmenge im Kot gefunden als mit dem Futter aufgenommen bzw. laut Hersteller aus dem Bolus freigesetzt wurde.



\* kennzeichnet signifikante Unterschiede zwischen Extensivierungsgraden (a und b) laut t-Test ( $P \leq 0,05$ )

<sup>1</sup> n = 6 Tiere; <sup>2</sup> n = 3 Tiere; <sup>3</sup> n = 5 Tiere

**Abbildung 5:** Wiederfindung (%) einzelner ungeradzahliger Alkane aus Gras und Grassilage und der geradzahligen Bolusalkane C32 und C36

Die Wiederfindungen der Alkane stiegen nicht mit der Anzahl der Kohlenstoffatome im Molekül, das heißt der Kettenlänge der Alkane. Allenfalls für die Versuche B05/IIa und B05/IIb, in denen Grassilage die Futtergrundlage bildete, sind ansteigende Werte von C27 mit 80 und 77 % bis C31 mit 91 sowie C33 mit 90 % zu erkennen.

### 5.2.3 Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe und Energiekonzentrationen

Für die organische Substanz wurden für das Jahr 2004 mit 70 und 73 % für Gras und Grassilage höhere Verdaulichkeiten berechnet werden als für das Jahr 2005 (Tabelle 8). In 2005 lagen die Verdaulichkeiten der OS sowohl für Gras als auch Grassilage im Bereich von 65 bis 68 %. Dabei zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten.

Bei Rohfaser, Neutral-Detergentien-Faser und Saure-Detergentien-Faser zeigte sich zwischen den Jahren ein ähnliches Bild. 2004 waren XF, NDF und ADF in Gras bzw. Grassilage zu 69 bzw. 73 %, 71 bzw. 75 % und 69 bzw. 74 % verdaulich, während 2005 die Verdaulichkeiten unabhängig vom Extensivierungsgrad niedrigere Werte erreichten. In 2005 waren weiterhin die Verdaulichkeiten der XF und der ADF aus Grassilage (67 bis 69 % und 69 bis 72 %) höher als aus Gras (59 bis 60 % und 53 bis 55 %). Für Rohfett wurden 2004 aus Gras und Grassilage Verdaulichkeiten von 9 und 38 % berechnet. Im darauf folgenden Jahr lagen für Gras unabhängig vom Extensivierungsgrad die Verdaulichkeiten bei etwa 37 %. Im Versuch B05/II wurde für die Grassilage signifikante Unterschiede zwischen den Varianten a (46 %) und b (67 %) ermittelt.

**Tabelle 8:** Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe (%) und berechnete Energiekonzentrationen (MJ/kg T, Mittelwerte und s)

Versuch	OS		XL		XF		NDF		ADF		ME		NEL	
Gras														
B04/I <sup>1</sup>	70	2,2	9	8,9	69	4,0	71	2,6	69	2,8	9,4	0,3	5,6	0,2
B05/Ia <sup>2</sup>	65	3,0	36	9,2	60	3,6	60	4,3	53	5,3	9,0	0,5	5,2	0,3
B05/Ib <sup>2</sup>	67	1,8	38	6,6	59	3,4	61	3,2	55	0,9	9,4	0,3	5,5	0,2
Grassilage														
B04/II <sup>3</sup>	73	0,5	38	9,7	73	0,6	75	0,9	74	1,1	9,7	0,1	5,8	0,1
B05/IIa <sup>2</sup>	68	0,4	46 <sup>A</sup>	5,7	69	1,8	65	1,3	72	1,6	9,1	0,1	5,4	0,1
B05/IIb <sup>2</sup>	66	1,5	67 <sup>B</sup>	2,9	67	2,0	63	2,5	69	1,4	9,1	0,2	5,3	0,1

<sup>1</sup> n = 6 Tiere; <sup>2</sup> n = 3 Tiere; <sup>3</sup> n = 5 Tiere;

<sup>A, B</sup> kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Extensivierungsgraden (t-Test,  $P \leq 0,05$ )

Die Daten zu den Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe für die Einzeltiere können der Tabelle A-14 entnommen werden.

Aus den verdaulichen Rohnährstoffen wurden die Konzentrationen der ME und der NEL berechnet (Gleichungen 9 und 10). Unabhängig vom Extensivierungsgrad lagen die Werte für die ME und die NEL in beiden Jahren für Gras und Grassilage in vergleichsweise niedrigen Bereichen von 9,0 bis 9,7 und 5,2 bis 5,8 MJ/kg T.

#### 5.2.4 Validierung der mittels Markermethode ermittelten Verdaulichkeiten

Mit den in Futter und Kot ermittelten Alkan- und Rohnährstoffkonzentrationen wurden mittels Gleichung 8 unter Berücksichtigung der Wiederfindungen der verwendeten Alkane die Verdaulichkeiten auf Basis der Markerkonzentrationen geschätzt. Im Folgenden werden zur Beurteilung des Schätzfehlers die mittels Bilanzierung bestimmten Verdaulichkeiten der auf der Basis der Alkane C27, C29, C31 und C33 geschätzten

Verdaulichkeiten gegenüber gestellt (Tabelle 9). Die gemessenen und geschätzten Werte für die Einzeltiere sind in Tabelle A-15 dargestellt. Da dieses Kapitel nur der Validierung dieser Methode zur Schätzung der Verdaulichkeiten gilt, wird ausschließlich die Trockensubstanz beispielhaft dargestellt. Auf die Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe soll hier nicht weiter eingegangen werden.

Die in den Untersuchungen ermittelten Verdaulichkeiten der Trockensubstanz des Futters lagen im Bereich von 62 bis 70 %. Unabhängig von der Wahl des Markeralkans ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Werten von Schätzungen und Messungen. Die mittels Alkanen geschätzten Verdaulichkeiten der Trockensubstanz lagen zwischen 75 und 90 %. Im Versuch B04/I wurden bis zu 9 %, und in B05/IIa sogar 21 % höhere T-Verdaulichkeiten geschätzt als in den Bilanzierungen ermittelt. Zwischen den Schätzungen traten unter Verwendung unterschiedlicher Alkane keine signifikanten Unterschiede auf. So lagen die geschätzten Verdaulichkeiten für Grassilage sowohl auf der Basis von C27 als auch von C29, 31 und 33 bei 90 (B04/II), 85 (B05/IIa) und 83 % (B05/IIb).

Ein Vergleich der mittels Bilanzierung ermittelten und mit Alkanen geschätzten Verdaulichkeiten zeigt jedoch, dass die verwendeten Marker die T-Verdaulichkeit deutlich und signifikant überschätzen.

**Tabelle 9:** Gegenüberstellung der über Bilanzierung gemessenen Trockensubstanzverdaulichkeiten (Mittelwerte und s, %) und der mittels der Alkane C27, C29, C31 und C33 geschätzten Verdaulichkeiten der Trockensubstanz

Versuch	Bilanzierung	C27	C29	C31	C33
Gras					
B04/I <sup>1</sup>	67 <sup>a</sup> 2,4	75 <sup>b</sup> 4,2	76 <sup>b</sup> 3,6	76 <sup>b</sup> 3,7	76 <sup>b</sup> 4,7
B05/Ia <sup>2</sup>	62 <sup>a</sup> 2,9	80 <sup>b</sup> 1,5	79 <sup>b</sup> 0,2	80 <sup>b</sup> 0,5	82 <sup>b</sup> 0,8
B05/Ib <sup>2</sup>	65 <sup>a</sup> 1,7	80 <sup>b</sup> 0,6	81 <sup>b</sup> 0,5	81 <sup>b</sup> 0,5	83 <sup>b</sup> 0,9
Grassilage					
B04/II <sup>3</sup>	70 <sup>a</sup> 0,6	90 <sup>b</sup> 0,8	90 <sup>b</sup> 0,6	90 <sup>b</sup> 0,6	90 <sup>b</sup> 0,6
B05/IIa <sup>2</sup>	64 <sup>a</sup> 0,4	85 <sup>b</sup> 0,3	85 <sup>b</sup> 0,2	85 <sup>b</sup> 0,5	85 <sup>b</sup> 1,1
B05/IIb <sup>2</sup>	63 <sup>a</sup> 1,4	83 <sup>b</sup> 1,0	83 <sup>b</sup> 0,5	83 <sup>b</sup> 0,3	83 <sup>b</sup> 0,6

<sup>1</sup> n = 6 Tiere; <sup>2</sup> n = 3 Tiere; <sup>3</sup> n = 5 Tiere; a, b, c kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Zeile (t-Test, P ≤ 0,05); \* = Einzeldaten im Anhang (Tabelle A-16)

### 5.2.5 Validierung der mittels Markermethode geschätzten Futteraufnahmen

In den durchgeführten Verdaulichkeitsuntersuchungen wurde die tägliche Futteraufnahme (FA) quantitativ erfasst. Nach Gleichung 6 (Dove und Mayes, 1996) konnte die Futteraufnahme über die Markermethode anhand der täglich vom Bolus abgegebenen

Alkanmenge (C32, C36 = 400 mg angenommen) und der Alkankonzentrationen in Futter und Kot unter Berücksichtigung der Wiederfindungen geschätzt werden. Für die Schätzung der FA wurden neben den externen Alkanen C32 und C36 die internen Alkane C27, C29, C31 und C33 genutzt. Um den Schätzfehler dieser Methode beurteilen zu können, wurden die mittleren, gemessenen FA aus den Verdaulichkeitsuntersuchungen den mittleren, geschätzten FA der acht Alkanpaarungen gegenübergestellt (Tabelle 10). Die Daten für die Einzeltiere sind im Anhang, Tabelle A-16 nieder gelegt.

Die gemessene FA von Gras variierte von 6,5 kg T/Tag im Jahr 2004 und 7,8 kg T/Tag in 2005. In den Untersuchungen, in denen Grassilage die Futtergrundlage bildete, wurden 7,5 (B05/Ib), 7,7 (B05/Ia) und 9,1 kg T/Tag (B04/II) aufgenommen. Unabhängig vom gewählten Alkanverhältnis besteht offensichtlich eine große Übereinstimmung zwischen der gemessenen und der geschätzten Futteraufnahme (Tabelle 10). Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen Messwerten und Schätzungen gefunden. Die Futteraufnahme wurde mit der Markermethode um maximal 0,7 kg T/Tag unter- bzw. überschätzt. In den Versuchen B04/I, B05/Ib und B05/Ia stimmten Schätzungen und Messungen bei der Kombination des internen Markers C31 mit dem externen Alkan C32 bzw. C36 numerisch überein. Dennoch lassen diese Ergebnisse keine direkten Rückschlüsse zu, ob ein bestimmtes Alkanverhältnis bei der Schätzung zu präferieren ist. Es ist zu berücksichtigen, dass bei der vorgenommenen Validierung der Methode die im jeweiligen Versuch ermittelten Wiederfindungen verwendet wurden. Demnach beruhen die Schwankungen der Schätzungen ausschließlich auf den Veränderungen der Verhältnisse der Alkane zueinander.

**Tabelle 10:** Gegenüberstellung der gemessenen Futteraufnahme (FA<sub>M</sub>) und mittels Markermethode geschätzten Futteraufnahme (FA<sub>S</sub>) (Mittelwerte und s, kg T/Tag und Tier)

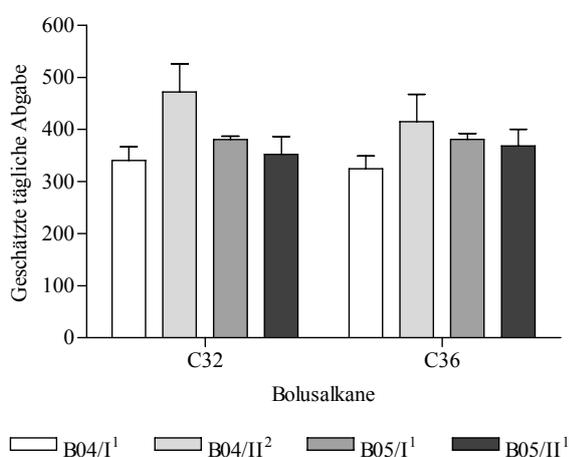
Versuch	FA <sub>M</sub>	FA <sub>S</sub>							
		Anzahl der Kohlenstoffatome im Molekül des Markers							
		27:32	29:32	31:32	33:32	27:36	29:36	31:36	33:36
Gras									
B04/I <sup>1</sup>	6,5 <sup>1,3</sup>	6,4 <sup>1,4</sup>	6,5 <sup>1,2</sup>	6,5 <sup>1,2</sup>	6,7 <sup>1,2</sup>	6,5 <sup>1,6</sup>	6,6 <sup>1,4</sup>	6,6 <sup>1,3</sup>	6,8 <sup>1,3</sup>
B05/Ia <sup>2</sup>	7,8 <sup>0,9</sup>	7,4 <sup>1,5</sup>	7,1 <sup>0,8</sup>	7,5 <sup>0,7</sup>	8,5 <sup>1,0</sup>	7,2 <sup>1,2</sup>	7,0 <sup>0,7</sup>	7,3 <sup>0,6</sup>	8,1 <sup>0,8</sup>
B05/Ib <sup>2</sup>	7,4 <sup>1,4</sup>	6,9 <sup>1,8</sup>	7,3 <sup>1,9</sup>	7,4 <sup>1,8</sup>	8,0 <sup>1,9</sup>	7,0 <sup>2,0</sup>	7,3 <sup>2,1</sup>	7,4 <sup>2,0</sup>	7,9 <sup>2,2</sup>
Grassilage									
B04/II <sup>3</sup>	9,1 <sup>1,0</sup>	9,2 <sup>2,0</sup>	9,4 <sup>1,9</sup>	9,4 <sup>1,9</sup>	9,5 <sup>1,8</sup>	9,2 <sup>2,1</sup>	9,4 <sup>2,1</sup>	9,4 <sup>2,1</sup>	9,5 <sup>2,0</sup>
B05/IIa <sup>2</sup>	7,7 <sup>1,0</sup>	7,6 <sup>0,9</sup>	7,6 <sup>0,9</sup>	7,6 <sup>0,7</sup>	7,6 <sup>0,5</sup>	7,7 <sup>1,3</sup>	7,7 <sup>1,3</sup>	7,7 <sup>1,1</sup>	7,7 <sup>0,8</sup>
B05/IIb <sup>2</sup>	7,5 <sup>0,4</sup>	7,8 <sup>2,4</sup>	7,8 <sup>2,1</sup>	7,8 <sup>2,1</sup>	7,8 <sup>2,2</sup>	7,7 <sup>1,9</sup>	7,7 <sup>1,7</sup>	7,7 <sup>1,7</sup>	7,7 <sup>1,8</sup>

<sup>1</sup> n = 6 Tiere; <sup>2</sup> n = 3 Tiere; <sup>3</sup> n = 5 Tiere

### 5.3 Ermittlung der Abgabe des externen Markers aus den Pansenkapseln

Zur Einschätzung der Herstellerangaben zur täglichen Abgabemenge und Abgabedauer der Alkane C32 und C36 aus dem Bolus wurden, wie in Abschnitt 3.6 beschrieben, weitere Studien durchgeführt.

In den Verdaulichkeitsuntersuchungen konnten über die Bilanzierung von Futteraufnahme und Kotalausscheidung die aufgenommenen und ausgeschiedenen Mengen des jeweiligen Markeralkans ermittelt werden. Dadurch war es möglich, die Menge der Alkane C32 und C36 zu ermitteln, die vom Bolus in den Versuchsphasen durchschnittlich am Tag abgegeben wurden.



<sup>1</sup> n = 6 Tiere; <sup>2</sup> n = 5 Tiere

**Abbildung 6:** In den Untersuchungen zu den Verdaulichkeiten der Roh Nährstoffe geschätzte tägliche Abgaben der Bolusalkane (Mittelwerte und s, mg/Tag)

Die in Abbildung 6 dargestellten, geschätzten täglichen Alkanabgaben aus dem Bolus schwankten für C32 im Bereich zwischen 341 und 472 mg und für C36 zwischen 325 und 415 mg. Im Versuch B04/I (Fütterung von Gras) wurden mit 341 mg (C32) und 325 mg (C36) die geringsten Mengen geschätzt. Im gleichen Jahr wurden bei der Fütterung von Grassilage (B04/II) Abgaben von 472 und 415 mg/Tag ermittelt. In 2004 wurde deutlich weniger C36 als C32 täglich abgegeben. Im Jahr 2005 ergaben sich geringere Differenzen zwischen den Versuchen mit Fütterung

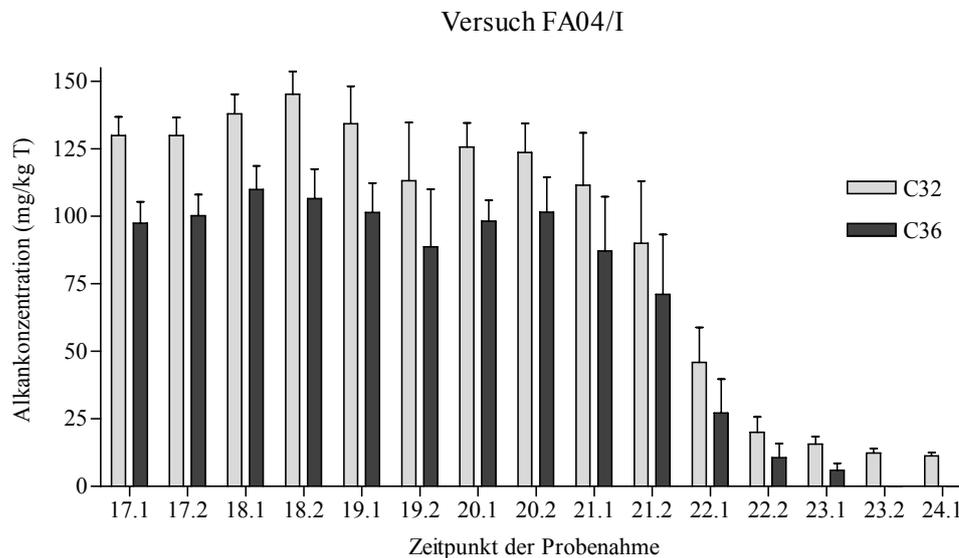
von Gras bzw. Grassilage, wobei in B05/II die tägliche Abgabe von C36 höher war als die von C32. In B05/I wurden am Tag im Mittel die gleichen Mengen beider Alkane freigesetzt.

Neben der großen Variabilität der Abgabemengen sowohl zwischen den Tieren (s = 120 mg/Tag) als auch zwischen den Versuchen fällt auf, dass unabhängig von der Art des Futters die tatsächliche Abgabe der Bolusalkane zum Teil deutlich von dem vom Hersteller angegebene Wert von 400 mg/Tag abwich.

Die Proben zur Beurteilung des Zeitraums einer konstanten Abgabe der Bolusalkane (Laufzeit) wurden im Anschluss an die Versuche FA04/I (Grasfütterung) und B04/II (Grassilagefütterung) stichprobenartig, zweimal täglich genommen. Die Einzeldaten zur

Laufzeit der Boli befinden sich im Anhang (Tabelle A-17). In den Abbildungen 7 und 8 sind dazu die im Zeitraum vom 17. bis 24. Tag nach Bolusgabe im Kot gefundenen Konzentrationen von C32 und C36 dargestellt.

In den Kotproben beider Versuche lagen die Konzentrationen von C32 über den gesamten Zeitraum betrachtet über denen von C36. Das Alkan C32 wurde darüber hinaus in allen Proben gefunden, wohingegen C36 ab dem 23. Tag nicht mehr nachweisbar war. Im Versuch FA04/I schwankten die Konzentrationen von C32 und C36 zwischen dem 17. und 20. Tag in Bereichen von 113 bis 145 mg/kg T und 89 bis 110 mg/kg T. Ab dem 21. Tag gingen die Gehalte im Kot stetig zurück und wurden am Tag der letzten Probenahme mit 13 mg/kg T (C32) analysiert bzw. nicht mehr nachgewiesen (C36).

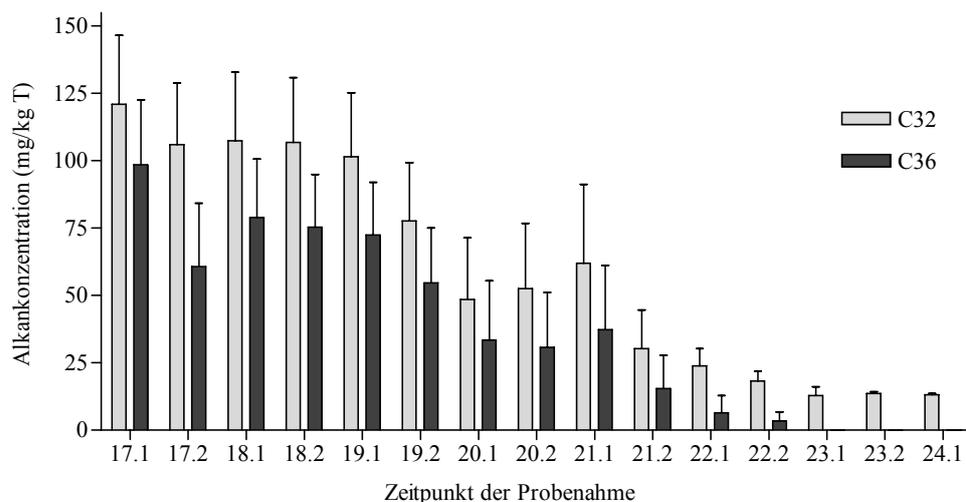


**Abbildung 7:** Konzentrationen der Bolusalkane im Kot (Mittelwerte und s in mg/kg T, n = 6) vom 17. bis 24. Tag nach Bolusgabe bei täglich zweimaliger Probennahme (x.1 bzw. x.2)

Im Kot der Tiere aus dem Versuch B04/II konnte ein steter Abfall der Alkankonzentrationen vom 17. bis 24. Tag beobachtet werden (Abbildung 8). Die Gehalte von C32 fielen von 121 mg/kg T am 17. Tag auf 13 mg/kg T am 24. Tag. Für C36 wurden vom 17. bis 22. Tag abfallende Konzentrationen von 98 bis 3 mg/kg T gemessen. Am 23. und 24. Tag wurde kein C36 mehr nachgewiesen.

Da beide Untersuchungen verschiedene Futtergrundlagen hatte, können die Alkangehalte von FA04/I nicht direkt mit denen aus B04/II verglichen werden.

Versuch B04/II



**Abbildung 8:** Konzentrationen der Bolusalkane im Kot (Mittelwerte und s in mg/kg T, n = 5) vom 17. bis 24. Tag nach Bolusgabe bei täglich zweimaliger Probennahme (x.1 bzw. x.2)

#### 5.4 Untersuchungen auf der Weide

Aufgrund der Nutzung verschiedener Grünlandflächen in den Jahren 2004 und 2005 wurden die Ergebnisse der Untersuchungen zwischen beiden Jahre nicht miteinander verglichen. Im Jahr 2005 dienten der 1., 2. und 3. Weideaufwuchs der Flächen K1 bis K4 als alleinige Futtergrundlage. Im Folgenden beziehen sich demnach alle statistischen Auswertungen auf die Untersuchungen FA05/I bis III.

##### 5.4.1 Alkankonzentrationen in Futter und Kot

In den Untersuchungen zur Futteraufnahme im Jahr 2005 nahmen die Tiere ausschließlich das Weidegras auf, wohingegen im ersten Versuchsjahr aufgrund ungünstiger Witterungsverhältnisse und zu geringem Futternachwuchs Grassilage zugefüttert wurde. Die in den Tabellen 11 und 12 dargestellten gemessenen Konzentrationen der Alkane C25 bis C36 in Futter bzw. Kot sind Mittelwerte über den 7-tägigen Versuchzeitraum bzw. die Tiere der jeweiligen Herde. Die Einzeldaten sind in den Anhangstabellen A-18 bis A-21 aufgeführt.

Wie bereits unter 4.1 und 4.2.1 beschrieben, wurden auch in den Untersuchungen zur Futteraufnahme die höchsten Alkankonzentrationen für C29 und C31 gemessen. Die Alkane mit den Kettenlängen von 25, 28, 30, 32, 35 und 36 C-Atomen waren im Futter in

sehr niedrigen Gehalten von maximal 20 mg/kg T vorhanden. Im Versuch FA04/I wurden für C31 im Gras bzw. in der Grassilage Konzentrationen von 125 bis 135 mg/kg T bzw. 103 mg/kg T ermittelt. Die Alkane C29 und C33 wiesen im Gras ähnliche Konzentrationen im Bereich von 65 bis 74 mg/kg T auf, während in der Grassilage leicht geringere Gehalte auftraten (43 - 67 mg/kg T).

In den Untersuchungen FA05/I-III wurden Konzentrationen der Alkane C29 und C31 zwischen 100 und 155 mg/kg T und 165 und 220 mg/kg T ermittelt. Für die Alkane C33, 27, 25, 30, 35, 28 und 32 wurden in dieser Reihenfolge abnehmende Konzentrationen zwischen 88 bis 4 mg/kg T gemessen. C36 konnte in keiner Pflanzenprobe nachgewiesen werden. Bei Betrachtung der Alkankonzentrationen über die drei Aufwüchse fällt auf, dass unabhängig vom Extensivierungsgrad die Konzentrationen vom 1. zum 2. Aufwuchs ansteigen um im 3. wieder abzufallen. So konnte für C31 zwischen dem 1. und 2. Aufwuchs ein Anstieg von 55 (a) und 21 mg/kg T (b) verzeichnet werden, in dessen Anschluss die Gehalte wieder um 39 (a) und 26 mg/kg T (b) sanken. Dieser Trend wurde auch bei C29, 33 und 27 beobachtet. Die übrigen Alkane waren in sehr niedrigen Konzentrationen vertreten, sodass keine eindeutige Entwicklung über die Aufwüchse abzuleiten war. Zwischen den Extensivierungsgraden zeigten sich geringe Unterschiede von maximal 33 mg/kg T. In FA05/I wurden beispielsweise für die Alkane C27, C29 und C31 in Variante a Gehalte von 27, 119 und 165 mg/kg T und in Variante b von 33, 152 und 187 mg/kg T ermittelt.

**Tabelle 11:** Konzentrationen der Alkane (mg/kg T) im Weidegras und in der Grassilage der Untersuchungen zur Futteraufnahme auf der Weide

Alkan	Gras		Grassilage	Gras					
	FA04/I		FA05/I	FA05/II		FA05/III			
	a	b		b	a	b	a	b	
C25	9	8	17	14	16	18	20	8	8
C27	18	17	23	27	33	39	41	19	20
C28	5	3	4	u.M.	u.M.	4	4	6	7
C29	65	74	67	119	152	149	155	100	109
C30	8	8	4	7	7	9	7	10	11
C31	125	135	103	165	187	220	208	181	182
C32	6	6	3	u.M.	u.M.	5	4	6	6
C33	69	70	43	71	74	88	74	81	72
C35	8	8	5	8	8	9	7	8	6
C36	3	3	3	u.M.	u.M.	u.M.	u.M.	u.M.	u.M.

u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 500 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals

Die Analyse der Kotproben ergab, analog zum Futter, niedrige Konzentrationen für die Alkane C25, 28, 30 und 35. Für C29, C31 und C33 wurden wiederum vergleichsweise hohe Alkankonzentrationen im Kot der Tiere nachgewiesen (Tabelle 12). Die Bolusalkane C32 und C36 traten im Jahr 2004 in Konzentrationen von etwa 120 bzw. 100 mg/kg T auf. In 2005 wurden mittlere Konzentrationen von 175 und 153 mg/kg T für den 1. Aufwuchs, 160 und 147 mg/kg T für den 2. Aufwuchs und 119 und 99 mg/kg T für den 3. Aufwuchs gemessen.

Im Versuch FA04/I wurden für C29 und C31 Konzentrationen von 216 (b) bis 251 mg/kg T (a) und 362 (b) bis 514 mg/kg T (a) ermittelt. Im Gegensatz zu den Gehalten im Futter, wurden höhere Konzentrationen im Kot der Tiere aus der Herde a, im Vergleich zu den Tieren der gedüngten Variante gefunden. In den Untersuchungen des Jahres 2005 zeigten sich ein Anstieg der Alkankonzentrationen im Kot vom 1. zum 2. Aufwuchs und ein Abfall vom 2. zum 3. Aufwuchs. Darüber hinaus ergaben sich Differenzen der Konzentrationen im Kot zwischen den Extensivierungsgraden, wobei die höheren Gehalte im Kot der Tiere aus der Herde b analysiert wurden.

**Tabelle 12:** Konzentrationen der Alkane (Mittelwerte und s, mg/kg T, n = 6) im Kot der Tiere in den Untersuchungen zur Futteraufnahme

Alkan	FA04/I		FA05/I		FA05/II		FA05/III	
	a	b	a	b	a	b	a	b
C25	25 <i>2,6</i>	41 <i>1,2</i>	33 <i>3,7</i>	38 <i>2,8</i>	55 <i>8,5</i>	61 <i>7,7</i>	22 <i>0,8</i>	21 <i>0,2</i>
C27	65 <i>4,0</i>	67 <i>1,6</i>	82 <i>7,7</i>	91 <i>4,3</i>	140 <i>24,0</i>	149 <i>19,2</i>	56 <i>1,7</i>	62 <i>1,2</i>
C28	16 <i>2,3</i>	8 <i>1,2</i>	12 <i>0,7</i>	12 <i>0,8</i>	16 <i>1,4</i>	15 <i>1,3</i>	14 <i>1,3</i>	16 <i>0,7</i>
C29	251 <i>9,8</i>	216 <i>8,7</i>	361 <i>22,0</i>	402 <i>17,5</i>	511 <i>52,0</i>	524 <i>47,5</i>	327 <i>10,8</i>	357 <i>8,2</i>
C30	25 <i>2,5</i>	10 <i>0,6</i>	18 <i>1,1</i>	18 <i>0,9</i>	33 <i>3,1</i>	29 <i>2,6</i>	32 <i>1,6</i>	34 <i>0,8</i>
C31	514 <i>31,5</i>	362 <i>14,9</i>	456 <i>21,7</i>	505 <i>25,5</i>	739 <i>72,1</i>	752 <i>54,1</i>	553 <i>30,2</i>	615 <i>22,2</i>
C32	119 <i>10,0</i>	120 <i>20,0</i>	180 <i>25,0</i>	171 <i>18,7</i>	161 <i>9,2</i>	160 <i>12,4</i>	115 <i>10,5</i>	123 <i>17,3</i>
C33	272 <i>12,8</i>	135 <i>8,7</i>	164 <i>9,8</i>	189 <i>9,5</i>	236 <i>17,4</i>	226 <i>9,7</i>	183 <i>17,7</i>	191 <i>8,4</i>
C35	26 <i>2,3</i>	12 <i>1,9</i>	13 <i>1,2</i>	15 <i>1,4</i>	26 <i>2,5</i>	23 <i>1,0</i>	19 <i>2,0</i>	19 <i>1,0</i>
C36	94 <i>5,4</i>	106 <i>20,0</i>	158 <i>26,5</i>	148 <i>18,5</i>	147 <i>14,7</i>	147 <i>10,9</i>	99 <i>9,8</i>	99 <i>6,7</i>

#### 5.4.2 Schätzung der Futteraufnahme

Die Schätzung der Futteraufnahme erfolgte nach Angaben von Dove und Mayes (1996) (Gleichung 6) unter Berücksichtigung der in den Verdaulichkeitsuntersuchungen ermittelten Wiederfindungen der Markeralkane. Weiterhin wurden auch hier konstante Freisetzungen der Bolusalkane von 400 mg pro Tag unterstellt. Aufgrund der vergleichsweise hohen Konzentrationen und der daraus resultierenden sicheren Analyse wurden für die Schätzung der Futteraufnahme die Kombinationen der internen Alkane

C27, C29, C31 und C33 mit den externen Alkanen C32 und C36 verwendet, sodass sich jeweils acht Schätzungen ergaben. In diesem Kapitel werden stellvertretend nur die Kombinationen der internen Alkane mit dem Bolusalkan C32 dargestellt (Tabelle 13).

Im Jahr 2004 wurden bei der Schätzung der FA für Herde b (FA04/I) die mit der Software „Eat What?“ geschätzten Anteile von Grassilage und Gras an der Gesamtfutteraufnahme berücksichtigt. Die täglichen, geschätzten Futteraufnahmen variierten sehr stark in einem Bereich von 15 bis 24,6 kg T/Tier für die Herde a und 16,3 bis 19,8 kg T/Tier für die Herde b. Signifikante Differenzen ergaben sich zwischen den Schätzungen für Herde a. Zwischen den Extensivierungsgraden wurden Differenzen von bis zu 5,9 kg T (C33:C32) gefunden. Neben der hohen Variabilität der Schätzungen mittels verschiedener Alkanverhältnisse zeigte sich auch eine hohe tierindividuelle Variabilität.

**Tabelle 13:** Geschätzte Höhe der Futteraufnahme unter Verwendung der Verhältnisse von C27, C29, C31 und C33 jeweils zu C32 (Mittelwert und s, g/kg T, n = 6)

Versuch	C27:C32	C29:C32	C31:C32	C33:C32
FA04/Ia	15,0 <sup>a</sup> 1,6	19,6 <sup>b</sup> 2,3	21,8 <sup>bc</sup> 3,4	24,6 <sup>c</sup> 3,4
FA04/Ib	16,3 3,0	17,9 3,6	19,8 4,1	18,7 3,7
FA05/Ia	7,6 <sup>aA</sup> 1,2	6,6 <sup>abA</sup> 1,0	6,2 <sup>bA</sup> 1,0	7,3 <sup>abA</sup> 1,3
FA05/Ib	6,4 <sup>aA</sup> 0,6	6,5 <sup>aA</sup> 0,5	6,5 <sup>aA</sup> 0,5	7,7 <sup>bA</sup> 0,7
FA05/IIa	11,3 <sup>abD</sup> 2,6	9,1 <sup>bb</sup> 1,2	9,2 <sup>bb</sup> 1,2	10,5 <sup>abB</sup> 0,7
FA05/IIb	9,4 <sup>aAB</sup> 1,7	9,4 <sup>aB</sup> 1,0	10,0 <sup>abB</sup> 0,9	10,8 <sup>bbB</sup> 0,5
FA05/IIIa	14,1 <sup>C</sup> 1,6	13,1 <sup>C</sup> 1,4	12,6 <sup>C</sup> 1,5	13,2 <sup>C</sup> 1,8
FA05/IIIb	11,8 <sup>D</sup> 2,2	13,4 <sup>C</sup> 2,5	13,6 <sup>C</sup> 2,7	13,1 <sup>C</sup> 2,7

<sup>a, b, c</sup> kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Zeile (t-Test,  $P \leq 0,05$ )

<sup>A, B, C, D</sup> kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Spalte (t-Test,  $P \leq 0,05$ )

In den Untersuchungen zur Schätzung der Futteraufnahme auf der Weide des Jahres 2005 variierten die geschätzten Werte um maximal 2,2 kg T. So wurden für den 1. Aufwuchs tägliche Futteraufnahmen von 6,2 bis 7,7 kg T (FA05/I), für den 2. Aufwuchs von 9,1 bis 11,3 kg T (FA05/II) und für den 3. Aufwuchs von 11,8 bis 14,1 kg T (FA05/III) geschätzt. Eine signifikante Steigerung der Futteraufnahme im Jahresverlauf konnte dargestellt werden. Dabei traten mit Ausnahme von FA05/III bei Verwendung der Alkane C27 und C32 nur numerische Unterschiede in der tierindividuellen Futteraufnahme zwischen den Herden a und b auf. In FA05/I und II hatte die Wahl des internen Markers in Kombination mit C32 einen signifikanten Einfluss auf die Schätzung der Futteraufnahme. Die Alkanpaarungen C27:C32 (6,4 kg T), C29:C32 (6,5 kg T) und C31:C32 (6,5 kg T) lieferten beispielsweise gleiche Werte, wohingegen mit C33:C32 (7,7 kg T) eine signifikant höhere

FA geschätzt wurde. Im Versuch FA05/IIa unterschied sich die FA auf der Grundlage des Verhältnisses C27:C32 (11,3 kg T) signifikant von der mittels C29:C32 (9,1 kg T) und C31:C32 (9,2 kg T) geschätzten FA. Für die Untersuchung FA05/III ergaben sich unabhängig von der Wahl der Markeralkane lediglich geringe Differenzen in der geschätzten FA zwischen 0,5 und 1,8 kg T.

Festzuhalten bleibt, dass in Abhängigkeit des gewählten Markerverhältnisses signifikante Differenzen zwischen den Schätzungen auftraten.

### 5.4.3 Schätzung der Futterselektion

Neben der Schätzung der Höhe der Futteraufnahme sollte eine mögliche Futterselektion der Tiere über die Software „EatWhat??“ unter Verwendung der Alkanmuster im Futter und im Kot geschätzt werden. Dazu wurden die in 4.1 beschriebenen Alkankonzentrationen der Pflanzenarten *Lolium perenne*, *Poa pratensis*, *Trifolium repens* und *Taraxacum officinale* heran gezogen. Diese vier Arten wurden ausgewählt, da sie mit Ertragsanteilen von 5 bis 53 % zu den Hauptbestandbildnern gezählt werden konnten (Tabelle A-2). Da die Konzentrationen der Einzelpflanzen nur für die 3 Aufwüchse des Jahres 2005 erfasst wurden, beschränkte sich die Schätzung der Futterselektion auf die Untersuchungen FA05/I, FA05/II und FA05/III.

Tabelle 14 zeigt die Ertragsanteile der einzelnen Pflanzen und deren geschätzte Anteile an der Futteraufnahme (FA). Bei Betrachtung der Ergebnisse ergeben sich teilweise deutliche Diskrepanzen der geschätzten Selektion einzelner Pflanzenarten zum tatsächlichen Bestand auf der Weide. So wurden laut Schätzung beispielsweise unabhängig vom Extensivierungsgrad im 1. Aufwuchs rund 90 % *Lolium perenne*, 10 % *Poa pratensis* sowie kein *Trifolium repens* oder *Taraxacum officinale* von den Tieren aufgenommen. Dies scheint besonders in Hinblick auf die hohen Bestandsanteile von *Trifolium repens* (25 %) und von *Taraxacum officinale* (17 %) unwahrscheinlich. Darüber hinaus hatte *Poa pratensis* verglichen mit *Trifolium repens* und *Taraxacum officinale* deutlich geringere Anteile am Pflanzenbestand (~ 9 %). Im 2. Aufwuchs waren diese Diskrepanzen zwischen Ertragsanteilen und Schätzung der selektiven FA sowohl bei der gedüngten als auch bei der ungedüngten Variante zu erkennen. Die Tiere in Herde a nahmen danach im 2. Aufwuchs zu 69 und 31 % *Lolium perenne* und *Taraxacum officinale* auf, während die Vergleichsherde 25 und 75 % dieser beiden Arten selektiv fraß. Auch hier zeigt sich, dass die Schätzung *Trifolium repens* ausgrenzt, obgleich dieser 26 (a) bzw. 31 % (b) des Ertrags bildete.

Im Gegensatz dazu zeigt, zumindest für Herde b, im 3. Aufwuchs die Selektionsschätzung Ähnlichkeiten mit der aus der Flächenbonitur bekannten Artenzusammensetzung. Die Tiere nahmen laut Schätzung 59 % *Lolium perenne* (Ertragsanteil = 49 %), 12 % *Poa pratensis* (Ertragsanteil = 7 %), 30 % *Trifolium repens* (Ertragsanteil = 31 %) und 0 % *Taraxacum officinale* (Ertragsanteil = 5 %) auf. Für Herde a zeigten sich im 3. Aufwuchs vor allem bei *Taraxacum officinale* konträre Ergebnisse zwischen Ertragsanteil (6 %) und Selektion (37 %) der Pflanze.

Es bleibt festzuhalten, dass die Schätzung der Futterselektion in den meisten Fällen Ergebnisse liefert, die bei Betrachtung der Ertragsanteile der einzelnen Pflanzen unrealistisch erscheinen.

**Tabelle 14:** Anteile ausgewählter Pflanzen am Gesamtertrag der Weide und deren geschätzte Anteile an der aufgenommenen Futtermenge (%)

Variante	Aufwuchs	Pflanzenart			
		<i>Lolium perenne</i>	<i>Poa pratensis</i>	<i>Trifolium repens</i>	<i>Taraxacum officinale</i>
Ertragsanteile <sup>1</sup>					
a	1	43	8	24	16
b		37	9	26	17
a	2/3	53	6	26	6
b		49	7	31	5
Anteile an Futteraufnahme					
a	1	90	10	0	0
b		89	11	0	0
a	2	69	0	0	31
b		25	0	0	75
a	3	49	6	7	37
b		59	12	30	0

<sup>1</sup> laut Bonitur, Tabelle A-2

#### 5.4.4 Schätzung der Verdaulichkeiten der Roh Nährstoffe

Unter Verwendung der Alkankonzentrationen C27, C29, C31 und C33 im Futter und im Kot wurden unter Berücksichtigung der Wiederfindung für die Untersuchungen zur Futteraufnahme im Jahr 2005 die Verdaulichkeiten der Roh Nährstoffe auf der Weide geschätzt. Die Daten für die Einzeltiere sind im Anhang dargestellt (Tabelle A-22). Im Folgenden wird einzig auf die Verdaulichkeit der organischen Masse eingegangen.

Die geschätzten Verdaulichkeiten der organischen Masse lagen für alle drei Aufwüchse zwischen 61 und 80 % (Tabelle 15). Die numerischen Abweichungen zwischen den

Varianten a und b langen dabei in einem Bereich von 1 bis maximal 8 %. Diese Differenzen erwiesen sich zwischen den Extensivierungsgraden im Versuch FA05/I bei der Verwendung von C27, in FA05/II unter Nutzung der Alkane C31 und C33 und in FA05/III mittels C29, C31 und C33 als signifikant. Mit Ausnahme der Schätzung der Verdaulichkeit auf der Basis von C27 waren in den genannten Fällen die Verdaulichkeiten für das Futter der gedüngten Variante höher.

Bei der Gegenüberstellung der in den Bilanzstudien gemessenen Verdaulichkeiten (Abschnitt 4.2.4) und den mittels Markermethode geschätzten Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe weist auf eine Überschätzung der Verdaulichkeit der organischen Masse hin. Darüber hinaus wurden unter 4.2.3 für den 2. Aufwuchs (vergleichbar mit FA05/II) in der Untersuchung B05/I Werte von ~ 66 % Verdaulichkeit für die organische Masse berechnet. Eine Futterselektion der Tiere auf der Weide und damit verbunden eine höhere Verdaulichkeit der aufgenommenen Rohnährstoffe kann jedoch nicht ausgeschlossen werden.

**Tabelle 15:** Geschätzte Verdaulichkeiten der organischen Masse auf Basis der Konzentrationen einzelner Alkane im Futter und Kot (Mittelwerte und s, %, n = 6)

Versuch	C27	C29	C31	C33
FA05/Ia	77 <sup>aA</sup> 1,5	73 <sup>bAC</sup> 1,0	72 <sup>cA</sup> 1,0	76 <sup>aA</sup> 1,5
FA05/Ib	71 <sup>aB</sup> 3,0	72 <sup>abA</sup> 2,8	72 <sup>bA</sup> 2,6	76 <sup>cA</sup> 2,0
FA05/IIa	80 <sup>aC</sup> 3,8	76 <sup>bB</sup> 1,9	76 <sup>bB</sup> 1,5	70 <sup>cB</sup> 1,7
FA05/IIb	77 <sup>aAC</sup> 2,1	77 <sup>bB</sup> 1,1	78 <sup>abC</sup> 0,7	74 <sup>cA</sup> 1,2
FA05/IIIa	75 <sup>aAD</sup> 0,6	73 <sup>abA</sup> 0,6	71 <sup>bA</sup> 1,3	61 <sup>cC</sup> 3,6
FA05/IIIb	72 <sup>aBD</sup> 1,0	75 <sup>bBC</sup> 0,8	76 <sup>bB</sup> 1,0	69 <sup>cB</sup> 1,3

<sup>a, b, c</sup> kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Zeile (t-Test,  $P \leq 0,05$ )

<sup>A, B, C, D</sup> kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Spalte (t-Test,  $P \leq 0,05$ )

## 5.5 Vergleich verschiedener Trocknungsmethoden

Ein Effekt der Trocknungsmethode auf die gemessenen Konzentrationen der Alkane in Futter und im Kot sowie der daraus resultierenden Wiederfindungen kann nicht ausgeschlossen werden. Um diesem methodischen Aspekt nachzugehen, wurden in mehreren Versuchen die Futter- und Kotproben vor der Analyse auf drei verschiedene Arten (Gefriertrocknung, Ofentrocknung bei 65 und 105 °C) getrocknet. Die Tabellen 16 und 17 zeigen die mittleren, analysierten Konzentrationen der Alkane C27, C29, C31 und C33 im Futter und im Kot. Die Einzeldaten sowie zusätzlich die Werte für die Alkane C25, C28, C30, C32, C35 und C36 sind dem Anhang zu entnehmen (Tabellen A-9 bis A-12).

Für die Alkankonzentrationen im Gras konnte kein Effekt der Trocknungsmethode nachgewiesen werden. Unabhängig von der Düngung wurden für C29 und C31 Differenzen zwischen 1 bis 11 mg/kg T gefunden. Die Alkane C27 und C33 waren in niedrigeren Konzentrationen im Futter vertreten und wiesen Schwankungen zwischen 1 und 8 mg/kg T zwischen den Trocknungsmethoden auf.

**Tabelle 16:** Gemessene Alkankonzentrationen (Mittelwerte und s, mg/kg T) im Futter bei der Trocknung mittels Gefriertrocknung (GF) und im Umluftofen bei 65 und 105 °C

Versuch	Trocknung	C27		C29		C31		C33	
Gras									
B05/Ia <sup>2</sup>	GF	54	2,0	275	3,2	460	8,0	78	5,7
	65°C	54	3,1	278	6,9	459	21,1	76	4,0
	105°C	54	5,5	286	17,0	470	13,4	71	1,5
B05/Ib <sup>2</sup>	GF	44	0,9	228	10,9	397	14,8	82	3,2
	65°C	47	0,5	238	12,5	407	16,5	84	5,0
	105°C	45	3,3	233	16,5	398	20,2	80	4,4
Grassilage									
B04/II <sup>3</sup>	GF	51 <sup>AB</sup>	8,4	202 <sup>A</sup>	17,3	236	15,4	87	12,8
	65°C	56 <sup>B</sup>	4,1	197 <sup>AB</sup>	7,3	233	15,6	86	15,9
	105°C	47 <sup>A</sup>	4,3	187 <sup>B</sup>	9,9	231	15,4	88	18,3
B05/IIa <sup>2</sup>	GF	67		194		274		68	
	65°C	69		203		283		67	
	105°C	68		202		286		67	
B05/IIb <sup>2</sup>	GF	71		207		314		89	
	65°C	69		200		301		87	
	105°C	69		205		309		85	

<sup>1</sup> n = 6 Tiere; <sup>2</sup> n = 3 Tiere; <sup>3</sup> n = 5 Tiere;

<sup>A,B</sup> kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Spalte und eines Versuchs (t-Test, P ≤ 0,05)

Die Konzentrationen von C27 bzw. C29 in der Grassilage des Versuches B04/II waren nach Trocknung bei 105 °C (47 bzw. 187 mg/kg T) signifikant niedriger als nach einer Trocknung bei 65 °C (56 mg/kg T) bzw. einer Behandlung in der Gefriertrocknung (202 mg/kg T). Im Versuch B05/II wurde für jede Variante nur eine Futterprobe getrocknet und analysiert, daher schloss sich ein statistischer Vergleich aus. Für die Alkane C27 und C33 wurden hier nur geringe Differenzen im Bereich von 1 bis 4 mg/kg T zwischen den Trocknungsmethoden ermittelt. Von den Alkanen C29 und C31 wurden für das Futter der Herde a die niedrigsten Konzentrationen nach Gefriertrocknung und für das Futter der Herde b nach Ofentrocknung bei 105 °C gemessen. Die Konzentrationen variierten zwischen 1 und 9 mg/kg T (C29) sowie 3 und 13 mg/kg T (C31).

Die gemessenen Konzentrationen im Kot der Tiere (Tabelle 17) aus den Versuchen mit der Fütterung von Gras wiesen analog zum Futter auf keinen signifikanten Einfluss der Art der Trocknung hin. Im Gegensatz dazu ergab sich im Versuch B04/II bei der Fütterung von Grassilage für das Alkan C27 eine signifikant niedrigere Konzentration (125 mg/kg T) nach einer Trocknung bei 105 °C im Vergleich zur Trocknung bei 65°C oder GF. Im Versuch B05/I wurden für den Kot der Tiere aus der Herde a Werte von 478 (GF), 519 (65 °C) und 508 mg/kg T (105 °C) für das Alkan C29 gemessen. In diesem Fall war die analysierte Alkankonzentration bei Nutzung der Gefriertrocknung signifikant niedriger als bei der Ofentrocknung bei 65 °C.

**Tabelle 17:** Gemessene Alkankonzentrationen (Mittelwerte und s, mg/kg T) im Kot bei der Trocknung mittels Gefriertrocknung (GF) und im Umluftofen bei 65 und 105 °C

Versuch	Trocknung	C27		C29		C31		C33	
Kot									
B04/I <sup>1</sup>	GF	52	5,6	247	28,0	480	77,9	171	39,4
	65°C	57	4,4	270	32,1	524	85,7	187	40,8
	105°C	55	3,7	262	22,5	514	76,0	186	41,7
B05/Ia <sup>2</sup>	GF	114	6,3	650	20,1	1102	31,8	147	3,6
	65°C	116	6,3	651	20,1	1100	31,8	147	3,6
	105°C	115	3,2	658	8,3	1123	26,4	151	3,7
B05/Ib <sup>2</sup>	GF	110	6,1	575	9,4	1036	9,9	184	5,3
	65°C	110	2,7	571	15,7	1020	18,4	180	2,7
	105°C	104	5,1	557	45,2	1017	78,4	181	15,6
B04/II <sup>3</sup>	GF	132 <sup>A</sup>	2,0	530	16,6	617	23,4	214	12,2
	65°C	135 <sup>A</sup>	2,3	533	13,7	617	23,1	213	12,5
	105°C	125 <sup>B</sup>	4,1	512	15,0	600	25,2	209	15,3
B05/IIa <sup>2</sup>	GF	148	7,4	478 <sup>A</sup>	13,9	694	31,2	170	15,0
	65°C	160	1,0	519 <sup>B</sup>	8,1	744	28,6	180	14,1
	105°C	155	11,4	508 <sup>AB</sup>	22,8	740	32,2	181	14,2
B05/IIb <sup>2</sup>	GF	149 <sup>A</sup>	5,6	450 <sup>A</sup>	1,5	728 <sup>A</sup>	5,0	216 <sup>A</sup>	2,5
	65°C	167 <sup>B</sup>	8,3	486 <sup>B</sup>	13,4	782 <sup>B</sup>	15,2	236 <sup>B</sup>	3,3
	105°C	149 <sup>A</sup>	4,9	458 <sup>A</sup>	18,2	758 <sup>AB</sup>	31,9	229 <sup>B</sup>	7,5

<sup>1</sup> n = 6 Tiere; <sup>2</sup> n = 3 Tiere; <sup>3</sup> n = 5 Tiere; A, B kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Spalte und eines Versuchs (t-Test, P ≤ 0,05)

Die Konzentrationen aller betrachteten Alkane waren in B05/II für die Herde b von der Trocknungsmethode beeinflusst. Sowohl für C27, C29 und C31 als auch für C33 wurden niedrigere Konzentrationen nach Gefriertrocknung (149, 450, 728 und 216 mg/kg T) im Vergleich zu Ofentrocknung bei 65 °C (167, 486, 782 und 236 mg/kg T) ermittelt.

Die aus den Alkankonzentrationen bei unterschiedlichen Trocknungsverfahren kalkulierten Wiederfindungen sind in Tabelle 18 zusammengefasst. Diese wurden nur für das Jahr 2005 berechnet, da nur hier ein vollständiger Datensatz vorlag. Die Einzeldaten können den Tabellen A-13 und A-23 entnommen werden.

Die Wiederfindung von C33 in B05/Ia wies einen signifikanten Einfluss der Trocknungsmethode auf, ohne dass für dieses Alkan im Futter oder im Kot ein Effekt der Trocknung gefunden wurde. In der Untersuchung B05/IIb ergaben sich in Übereinstimmung mit den Beobachtungen im Kot für C27, C29, C31 und C33 nach Behandlung in der Gefriertrocknung Werte für die WF (77, 80, 86, und 90 %), die signifikant niedriger waren als nach der Ofentrocknung bei 65 °C (88, 88, 95 und 99 %), und mit Ausnahme von C27 auch deutliche Differenzen zu den Werten aus der Ofentrocknung bei 105 °C (83, 86, 94 und 104 %) aufwiesen. Für die Versuche B05/Ib und B05/IIa konnten die numerischer Unterschiede der Wiederfindungen zwischen den Trocknungsmethoden von bis zu 7 % aufgrund der hohen Streuung nicht statistisch gesichert werden.

Tabelle 18: Kalkulierte Wiederfindungen (Mittelwerte und s, %) der Alkane aus den Trocknungsmethoden Gefriertrocknung (GF) und Ofentrocknung bei 65 und 105 °C

Versuch	Trocknung	C27		C29		C31		C33	
Wiederfindung									
B05/Ia	GF	86	10,9	100	5,3	96	3,7	69 <sup>A</sup>	2,0
	65°C	91	11,2	103	7,3	101	6,8	74 <sup>B</sup>	2,5
	105°C	91	17,2	99	11,6	98	6,0	81 <sup>C</sup>	1,8
B05/Ib	GF	97	11,4	93	8,4	95	5,3	76	2,5
	65°C	94	8,4	93	5,6	97	8,0	78	10,2
	105°C	90	7,8	90	2,1	96	1,1	80	6,4
B05/IIa	GF	80	3,3	89	2,0	91	3,4	89	7,1
	65°C	81	1,9	90	3,1	92	5,5	95	9,5
	105°C	82	5,5	89	3,6	92	3,0	96	6,6
B05/IIb	GF	77 <sup>A</sup>	4,7	80 <sup>A</sup>	3,2	86 <sup>A</sup>	3,1	90 <sup>A</sup>	4,4
	65°C	88 <sup>B</sup>	5,9	88 <sup>B</sup>	3,8	95 <sup>B</sup>	2,7	99 <sup>B</sup>	4,5
	105°C	83 <sup>AB</sup>	1,7	86 <sup>B</sup>	1,0	94 <sup>B</sup>	0,5	104 <sup>B</sup>	2,6

<sup>A, B, C</sup> kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Spalte und eines Versuchs (t-Test,  $P \leq 0,05$ )



## 6. Diskussion

Die Höhe der Futteraufnahme von Weidetieren ist weitgehend unbekannt, da es keine Möglichkeit zur direkten Messung gibt. Die Einschätzung der Versorgungslage der Tiere ist aber nur mit diesem Wissen möglich. Unter Weidebedingungen kann die Futteraufnahme auf indirektem Weg über den Weideaufwuchs, am Tier selbst oder anhand tierischer Leistungen bestimmt werden (Hodgson, 2004). Schätzungen am Weideaufwuchs sowie anhand tierischer Leistungen sind unter Umständen, wie beispielsweise auf Flächen mit hoher Artenvielfalt, mit einem hohem Fehlerpotential behaftet (Baker, 2004; Lantinga et al., 2004). Aufgrund dessen wird in vielen Untersuchungen die Schätzung der Weidefutteraufnahme am Tier selbst vorgenommen (Penning, 2004). Auch Smit et al. (2005) empfahlen nach einem Vergleich der genannten drei Methoden die Schätzung am Tier. Hierbei ergeben sich zwei Möglichkeiten. Auf der einen Seite die Bestimmung der Futteraufnahme über die Ermittlung der Verdaulichkeit des Futters sowie auf der anderen Seite über eine Doppelmarker-Methode. Bei der erstgenannten Methode wird mittels unverdaulicher Futterinhaltsstoffe (interner Marker) oder mittels *in vitro* die Verdaulichkeit geschätzt. Zusätzlich muss ein externer Marker eingesetzt werden, um die Höhe der Kottausscheidung zu ermitteln. Als interne und externe Marker wurden in der Vergangenheit häufig Lignin (Ohajuruka und Palmquist, 1991), unlösliche Asche (Momont et al., 1994; Bergero et al., 2001) sowie Chromoxid ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) (Ferreira et al., 2004) genutzt. Die Futteraufnahme wird also basierend auf zwei separaten Schätzungen bestimmt. Demzufolge ist ihre Genauigkeit direkt von den Fehlern der Schätzungen abhängig, wobei vor allem eine Fehleinschätzung der Verdaulichkeit zu Ungenauigkeiten führt (Penning, 2004). Die Doppelmarker-Methode umgeht diese Fehlerquelle. Unter Verwendung verschiedener Alkane kann die Futteraufnahme ohne vorherige Schätzung der Verdaulichkeit bestimmt werden. Dabei finden ungeradzahlige Alkane als interne Marker Verwendung, die Bestandteile der pflanzlichen Wachsschicht sind. Als externe Marker dienen geradzahlige Alkane, welche in den Pflanzen nicht oder nur in sehr geringen Konzentrationen vorkommen und vergleichsweise einfach appliziert werden können. Dove und Mayes (1991) stellen in ihrer Übersichtsarbeit umfassend den Einsatz von Alkanen zur Bestimmung der Futteraufnahme von Schafen und Rindern auf der Weide dar.

Die Verwendung einer Substanz als Marker ist nach Faichney (1975) an einige Voraussetzungen, wie zum Beispiel die vollständige Wiederfindung in den Ausscheidungen, geknüpft. In Untersuchungen zum Einsatz von Markern (Kotb und Luckey, 1972; Faichney, 1975; Owens und Hanson, 1992; Marais, 2000) wird verdeutlicht,

dass kein Stoff alle Kriterien eines „Idealen Markers“ erfüllt. Jede Substanz weist demnach Vor- und Nachteile auf, die für oder gegen eine Verwendung sprechen.

Bei den in dieser Arbeit genutzten Alkanen bestimmen vor allem die Höhe der pflanzlichen Alkankonzentrationen, die gleichmäßige Verteilung der supplementierten Alkane (externer Marker) und die Wiederfindung im Kot ihre Eignung als Markersubstanz (Dove und Mayes, 1991). Neben diesen Punkten sollen im Folgenden methodische Details sowie die Möglichkeiten und Grenzen der Alkanmethode zur Schätzung von Futteraufnahme, botanischer Zusammensetzung und Verdaulichkeit des Futters diskutiert werden.

### **6.1 Methodische Aspekte bei der Schätzung der Futteraufnahme unter Verwendung von Alkanen als Marker**

Wie bereits mehrfach erwähnt, steht für die Beantwortung der Frage nach der Höhe der Futteraufnahme weidender Tiere derzeit noch keine präzise Methode zur Verfügung. Unstrittig ist jedoch die Nutzung von Markern, die entweder zur Bestimmung der Verdaulichkeit und der Kotausscheidung verwendet werden oder im Fall der Doppelmarker-Methode die Relationen von internen und externen Markern eine Schätzung der Futteraufnahme ermöglichen. Im Folgenden soll vor allem die Doppelmarker-Methode unter Verwendung von Alkanen in den Mittelpunkt gerückt werden.

Ein wichtiges Kriterium beim Einsatz von Alkanen als Markersubstanzen ist die **Gewinnung von Proben** in Hinblick auf die Markerkonzentrationen, die als repräsentativ für das vorliegende Pflanzenmaterial gelten. Bei der Gewinnung von Pflanzenproben wird vielfach die „Hand-Pflück-Methode“ angewendet (Hameleers und Mayes, 1998; Berry et al., 2002; Smit et al., 2005). Dabei werden die Tiere während des Grasens begleitet und an von ihnen präferierten Stellen Proben des Weideaufwuchses entnommen. Vulich et al. (1993) zeigten auf, dass auf diese Weise, im Vergleich zur Gewinnung mittels Fisteln, repräsentative Pflanzenproben gewonnen werden können. Diese Methode wurde auch in den vorgestellten Untersuchungen verwendet.

Kotproben können unter Weidebedingungen nur rektal oder mittels stichprobenartiger Sammlung (spot-sampling) aus frisch abgesetztem Kot gewonnen werden. Eine rektale Kotprobennahme ist mit dem täglichen Fixieren der Tiere verbunden und bringt neben erheblichem Arbeitsaufwand auch permanente Unruhe in die Herde. Daher wurde das spot-sampling angewendet.

Neben der Durchführung stellt sich auch die Frage nach dem Zeitpunkt und der Häufigkeit der Probenahme. Das Problem einer möglichen Variation der Markerkonzentrationen im Tagesverlauf wurde in Hinblick auf die Gewinnung repräsentativer Kotproben vielfach diskutiert (Malossini et al., 1994; Hamleers und Mayes, 1998; Berry et al., 2000; Sibbald et al., 2000; Oliván et al., 2007). Dabei wird das spot-sampling zu ein bis zwei Zeitpunkten täglich als ausreichend beschrieben (Malossini et al., 1994). Oliván et al. (2007) diskutierten unterschiedliche Zeitpunkte im Vergleich zur Totalsammlung und empfahlen, alle 24 Stunden Kotproben zum gleichen Zeitpunkt zu nehmen. Dies stimmte überein mit der vorliegenden Untersuchung FA05/I, in der die 2-mal täglich gewonnenen Kotproben (morgens vs. abends) keine unterschiedlichen Alkankonzentrationen aufwiesen (Tabelle A-17). Es ist nicht davon auszugehen, dass eine häufigere Probennahme mit einer höheren Genauigkeit der Schätzung der Futteraufnahme einhergeht.

Für den externen Marker spielt darüber hinaus vor allem die Form der Applikation eine entscheidende Rolle. Ein Einsatz von Pansenkapseln zur Applikation von Alkanen stellt eine zu favorisierende Variante dar, weil Schwankungen im Tagesverlauf durch eine gleichmäßige Abgabe aus dem Boli weitgehend vermieden werden (Dove et al., 2002; Ferreira et al., 2004). Ein weiterer Vorteil der Pansenkapseln gegenüber anderen Applikationsformen für Marker (beispielsweise Gelatinekapseln) ist neben der gleichmäßigen Freisetzung die Tatsache, dass sie nicht täglich (1- bis 2-mal) sondern nur zu Beginn der Untersuchung verabreicht werden müssen. Ein Einfluss der Dosierungshäufigkeit auf die Höhe der Futteraufnahme kann somit vermieden werden. Diesbezüglich wurden Unterschiede in der Futteraufnahme zwischen Gruppen, welche Alkane über Gelatinekapseln bzw. Boli supplementiert bekamen, beobachtet (Molina et al., 2004).

Bei der Verwendung von Pansenkapseln sind die Höhe der täglichen Alkanabgabe aus dem Boli und der Verlauf der Freisetzung innerhalb eines bestimmten, zeitlichen Rahmens von Bedeutung. Laut Angabe des Herstellers soll die tägliche Abgabe der Alkane C32 und C36 aus den hier verwendeten Boli zwischen dem 8. und 16. Tag nach der Gabe näherungsweise 400 mg betragen (MCM Alkane, Nufarm Health & Sciences). Ab dem 17. Tag sollen die Konzentrationen im Verdauungstrakt und im Kot stetig sinken.

Zur Bestimmung der Abgabe besteht die Möglichkeit, mittels fistulierter Tiere die Freisetzung der Alkane anhand des Vorschubes der Markertabletten innerhalb des Boli zu schätzen. So kalkulierten Dove et al. (2002) Abgaben für C28 und C32 von 40,1 und 41,7 mg/Tag gegenüber der erwarteten Menge von jeweils 40 mg/Tag. Hendricksen et al.

(2003) kamen mit einer Schätzung über Ausscheidungskurven zu ähnlichen Ergebnissen. Die Werte für C32 und C36 wichen bis auf eine Ausnahme (253 mg/Tag) maximal 8 mg/Tag von der erwarteten Abgabe (200 mg/Tag) ab.

In den hier vorgestellten Verdaulichkeitsuntersuchungen konnten über die Bilanzierung von Futteraufnahme und Kottausscheidung für den Zeitraum vom 8. bis 13. Tag tägliche Abgaben von 325 bis 381 mg für C32 und C36 aus dem Pansenboli kalkuliert werden. In Übereinstimmung dazu ermittelten Ferreira et al. (2004) Abgaben der Alkane C32 und C36 von 278 und 294 mg/Tag anstatt der deklarierten 317 und 335 mg/Tag. Für diese Abweichungen sind zwei Erklärungsansätze denkbar: entweder eine nicht vollständige Wiederfindung der Alkane bei korrekter Abgabehöhe oder eine geringere Abgabe der Pansenkapseln. Ausgehend von den Angaben von Dove et al. (2002) sowie Hendricksen et al. (2003) scheint die unvollständige Wiederfindung wahrscheinlicher die Ursache für die abweichenden Werte zu sein. In der Literatur wurden auch für die als externe Marker dienenden Alkane (appliziert über beispielsweise Gelantinekapseln) variable Wiederfindungen ermittelt (Dillon und Stakelum, 1988; Dove und Mayes, 1991; Piasentier et al., 1995; Unal und Garnsworthy, 1999; Dove, 2000; Oliván et al., 2007).

Eine höhere Abgabe, wie von Hendricksen et al. (2003) und Molina et al. (2004) oder im Versuch B04/II (bis zu 472 mg/Tag) ermittelt, sprechen für eine nicht in jedem Fall mit den Herstellerangaben übereinstimmende Freisetzung der Alkane aus den Boli.

Diese Diskrepanzen können bei der Verwendung der vom Hersteller angegebenen im Vergleich zur ermittelten Abgabe zu signifikanten Differenzen in der geschätzten Futteraufnahme führen (Ferreira et al., 2004). Ist demnach eine Kalkulation der Abgabe nicht möglich, muss diese Fehlerquelle bedacht werden. In solchen Fällen ist die Verwendung der vom Hersteller angegebenen täglichen Freisetzung unter Berücksichtigung einer nicht vollständigen Wiederfindung (kalkulierte Werte aus der Literatur oder aus parallel durchgeführten Verdaulichkeitsuntersuchungen) die einzige Möglichkeit, den Schätzfehler zu minimieren. In den vorgestellten Untersuchungen zur Futteraufnahme auf der Weide wurde so verfahren.

Neben der Höhe der täglichen Abgabe ist der Zeitraum der gleichmäßigen Freisetzung der Alkane aus dem Boli von Interesse. Dabei sollen laut Herstellerangaben ab dem 7. Tag stabile Konzentrationen der Markeralkane im Verdauungstrakt erreicht sein. Dies wird in einer Reihe von Untersuchungen bestätigt (Dicker et al., 1996; Herd et al., 1996; Dove et al., 2002; Hendricksen et al., 2002; Molina et al., 2004). Es kann demnach davon

ausgegangen werden, dass am 8. Tag nach der Bolusgabe repräsentative Markerkonzentrationen im Kot vorhanden sind.

Ein Abfall der Markerkonzentration wird nach dem 16. Tag nach Applikation der Pansenboli erwartet. Zur Überprüfung dieser Angabe wurde im Anschluss an die Untersuchungen FA04/I und B04/II vom 17. bis 24. Tag die Konzentrationen der Alkane C32 und C36 im Kot der Tiere bestimmt. In FA04/I wurden ab dem 21. Tag und in B04/II bereits ab dem 17. Tag abnehmende Konzentrationen beider Markeralkane verzeichnet (Abbildung 7). Als Ursachen dafür können neben der unterschiedlichen Futtergrundlage (FA04/I = Weidegras, B04/II = Grassilage) verschiedene Höhen der Futteraufnahme vermutet werden (Tabelle A-16 und A-5). Herd et al. (1996) fanden keinen Einfluss der Höhe der Futteraufnahme auf die Freisetzung der Alkane. Darüber hinaus gaben sie anhand des Vorschubs der Markertabletten im Inneren der Kapsel Hinweise auf eine langsamere Freisetzung als veranschlagt. Auch in anderen Untersuchungen wurden gegen Ende der vom Hersteller angegebenen Laufzeit noch stabile Konzentrationen im Kot gemessen. So ermittelten Dicker et al. (1996) für einen Bolus mit 15 Tagen Laufzeit, den Abfall der Markerkonzentrationen erst ab dem 14. Tag. Berry et al. (2000) konnten in 3 von 4 Pansenkapseln am 21. Tag nach Gabe noch stabile Konzentrationen im Kot messen. Abschließend kann festgehalten werden, dass der vom Hersteller angegebene Zeitraum einer stabilen Alkanabgabe aus dem Pansenbolus für die Gewinnung der Kotproben genutzt werden kann. Über diesen Zeitraum hinaus können stabile Alkankonzentrationen für einige wenige Tage vermutet, aber nicht sicher vorausgesetzt werden.

Über die Form der Markerapplikation und der Gewinnung der Proben hinaus, sollen im Folgenden methodische Details der **Probenaufbereitung** betrachtet werden. Vor der Alkanalytik müssen die Proben getrocknet und vermahlen werden. Während in der Regel Vermahlungsgrade von 1 mm Siebdurchgang gewählt werden, herrscht Uneinigkeit über die Wahl der Trocknungsmethode. Da ein Einfluss der Trocknungsmethode bzw. Trocknungstemperatur nicht ausgeschlossen werden kann (Dove und Mayes, 1991), wird die als besonders schonend angesehene Gefriertrocknung bevorzugt angewendet. Eine Ofentrocknung im Umlufttrockenschrank gilt jedoch als einfacher, schneller und kostengünstiger. Da in verschiedenen Untersuchungen sowohl Ofentrocknung als auch Gefriertrocknung angewandt wurden, es aber wenig vergleichende Untersuchungen gibt, wurde in der vorliegenden Studie ein Trocknungsvergleich mit Proben von Gras, Grassilage sowie daraus resultierenden Kotproben durchgeführt.

Bei den Grasproben wurden keine Unterschiede in den gemessenen Konzentrationen der Alkane C27, C29, C31 und C33 gefunden (Tabelle 16). Die Analyse der Grassilage ergab signifikante Differenzen zwischen den Trocknungsvarianten in den gemessenen Konzentrationen von C27 und C29 (B04/II). Dies geht konform mit den Beobachtungen von Oliván und Osoro (1995), die in Heuproben signifikante Unterschiede zwischen Gefriertrocknung und Ofentrocknung (40 °C) bei Alkanen mit einer Kettenlänge von bis zu 30 Kohlenstoffatomen fanden. Darüber hinaus zeigte Dillon (1993), dass bei einer Beurteilung des Einflusses der Trocknungsmethode eine Betrachtung auf Basis der organischen Substanz geringere Differenzen aufzeigt als auf Basis der Trockensubstanz. So wurden auf Basis der organischen Substanz einzig für das Alkan C28 Unterschiede gemessen, wohingegen auf Basis der Trockensubstanz Differenzen (Gefriertrocknung vs. 60 °C Ofentrocknung) in den Konzentrationen der Alkane C27, C28, C29, C30, C32 ermittelt wurden. Scharch et al. (2002) und Elwert (2004) fanden in Futterproben bis auf eine Ausnahme keinen Einfluss der Trocknungsmethode auf die Alkankonzentrationen in Bezug auf die organische Masse. Die Autoren gehen davon aus, dass eine Trocknung bei 65 bis 70 °C als Alternative für die Gefriertrocknung eingesetzt werden kann. Dies gilt laut Dillon (1993) und Oliván und Osoro, (1995) allerdings nur für Alkane ab einer Kettenlänge von 31 Kohlenstoffatomen.

In den Kotproben nach Fütterung von Frischgras wurde kein Effekt der Trocknungsmethode ermittelt. Die Kotproben der Tiere, denen Grassilage als Futtergrundlage diente, zeigten jedoch Unterschiede in den gemessenen Alkankonzentrationen nach Ofen- im Vergleich zur Gefriertrocknung. Von diesem Einfluss waren vor allem die kürzer kettigen Alkane C27 und C29 im Versuch B04/IIb aber auch C31 und C33 betroffen. Auch Oliván und Osoro (1995) beobachteten im Gegensatz zu Scharch und Dove (2002) einen Einfluss der Trocknungsmethode bei kürzer kettigen Alkanen (C24 bis C28). Daneben ist ein Trocknungseinfluss auf die Alkankonzentration in Kotproben von Tieren mit verschiedener Futtergrundlage (Wiesenheu vs. Luzerneheu) nicht auszuschließen (Sandberg et al., 2000). Auffällig ist jedoch, dass entgegen der Beobachtungen anderer Autoren (Oliván und Osoro, 1995; Sandberg et al., 2000) in der vorliegenden Untersuchung höhere Konzentrationen nach Ofentrocknung bei 65 °C als nach Gefriertrocknung gemessen wurden. Eine Trocknung bei 105 °C verursachte im Vergleich zu 65 °C niedrigere gemessene Konzentrationen im Kot.

Es bleibt festzuhalten, dass eine Trocknung im Ofen bei 65 °C die Gefriertrocknung ersetzen kann. Teilweise ist die Ofentrocknung bei 65 °C sogar als besser geeignete Variante anzusehen. Eine Trocknung bei 105 °C ist nicht zu empfehlen.

## 6.2 Alkankonzentrationen in Futterpflanzen

Alkane bilden neben Ketonen, Estern, aliphatischen Alkoholen, Fettsäuren und weiteren Verbindungen eine Gruppe von Bestandteilen der pflanzlichen Kutikula (Chibnall et al., 1934; Tulloch, 1976). In den meisten höheren Pflanzen sind die einzelnen Alkane in messbaren, jedoch variablen Konzentrationen vorhanden.

Sowohl in der vorliegenden als auch in älteren Untersuchungen zu Alkankonzentrationen in Futterpflanzen wurde in ausgesuchten Spezies und in Mischungen (Weidegras bzw. Grassilage) eine Dominanz der länger kettigen, ungeradzahligen Alkane im Bereich von C25 bis C35 beobachtet (Dove und Mayes, 1991; Dove, 1992; Dove und Mayes, 1996; Boadi et al., 2002; Dove et al., 2002; Bugalho, 2004). Dabei traten vor allem C29 und C31 durch hohe Konzentrationen in den Vordergrund. Für die ungeradzahligen Alkane C25, C27, C33 und C35 sowie die geradzahligen C28, C30, C32 und C36 wurden deutlich niedrigere Gehalte beschrieben. Vor allem die Konzentrationen von C32 und C36 lagen in einem sehr niedrigen Bereich, in vielen Fällen sogar unterhalb der Nachweisgrenze.

Bei der Betrachtung der einzelnen Arten fällt auf, dass die Konzentrationen der jeweiligen Alkane zwischen den Pflanzenspezies stark schwanken, sodass sich Alkanmuster auf unterschiedlichem Konzentrationsniveau ergeben (Tabelle A-8). So wurden in eigenen Untersuchungen in *Festuca pratensis*, *Lolium perenne* und *Poa pratensis* höhere Gehalte der betrachteten Alkane gemessen als in *Dactylis glomerata* und *Phleum pratense*. Die Variabilität der Alkankonzentrationen zwischen Pflanzenarten und darüber hinaus sogar zwischen Sorten und einzelnen Pflanzenteilen (Blatt, Sproß, Wurzel) wurde vielfach dokumentiert (Malossini, 1990; Baker und Klein, 1994; Dove et al., 1996; Dawson et al., 2000; Smith et al., 2001; Boadi et al., 2002; Ferreira et al., 2007). So fanden Dove et al. (1996), Dove et al. (1999) und Smith et al. (2001) unterschiedliche Konzentrationen in Blüten, Blättern und Stängeln. Dawson et al. (2000) ermittelte Differenzen zwischen den ober- und unterirdischen Bestandteilen verschiedener Pflanzen. Demnach könnten unterschiedliche Anteile von Blatt- und Stängelfraktionen in den Futterproben, unter Umständen auch begründet durch eine fortschreitende Vegetation, bereits der Grund für eine Variabilität in den gemessenen Alkankonzentrationen sein. Da in den vorgestellten Untersuchungen keine Separation in einzelne Fraktionen vorgenommen wurde, müssen

Alkankonzentrationen, trotz des Wissens um ein mögliches Fehlerpotential, als Gehalte für die Gesamtpflanze angesehen werden.

Malossini (1990) und Boadi et al. (2002) untersuchten die Unterschiede zwischen einzelnen Arten und ermittelten in Übereinstimmung mit den eigenen Beobachtungen (Tabelle A-8) höhere Gesamtalkangehalte in *Festuca pratensis* und *Lolium perenne* im Vergleich zu *Dactylis glomerata* und *Phleum pratense*. Darüber hinaus verdeutlichen die Angaben in der Tabelle 1, dass die zahlreich angegebenen Alkangehalte innerhalb einer Pflanzenart zwischen den einzelnen Quellen variieren können. Zum Beispiel analysierten Lewis et al. (2003) in *Lolium perenne* ähnliche hohe Konzentrationen für die dominierenden Alkane C29 und C31, wohingegen Ali et al. (2004) sowie Ali et al. (2005) vergleichsweise sehr geringe Werte nachwiesen. Auch bei Leguminosen wie *Trifolium repens* konnten Unterschiede in den ermittelten Konzentrationen beobachtet werden. Eigene Analysen der Alkankonzentrationen in *Trifolium repens* (2. Aufwuchs) erbrachten höhere Konzentrationen im Vergleich zu Newman et al. (1995), der wiederum mehr als doppelt so hohe Gehalte von C29 und C31 analysierte als Hammeleers und Mayes (1998).

Dies lässt den Schluss zu, dass neben den bereits genannten Faktoren im Jahresverlauf sowohl zwischen als auch innerhalb der verschiedenen Aufwüchse Schwankungen in den Alkankonzentrationen auftreten können. Demnach spielt auch das Alter oder die physiologische Reife der Pflanzen eines Weideaufwuchses eine entscheidende Rolle. In der vorliegenden Untersuchung wurden für einzelne Arten aber auch für einzelne Alkane ungerichtete Veränderungen in den Konzentrationen im Jahresverlauf beobachtet. Während die Konzentrationen in *Festuca pratensis*, *Dactylis glomerata* und *Phleum pratense* von Mai bis Juli (1. bis 3. Aufwuchs) anstiegen, wurden für *Poa pratensis* und *Taraxacum officinale* die höchsten Konzentrationen im Mai und für *Trifolium repens* im Juli ermittelt (Tabelle A-8). Die Beobachtungen zu *Trifolium repens* sowie *Lolium perenne* ähnelten den von Ferreira et al. (2007) gefundenen Veränderungen in den Konzentrationen von Mai bis Juli. Schwankungen der Alkangehalte im Jahresverlauf wurden weiterhin von Laredo et al. (1991), Zhang et al. (2004) und Lin et al. (2006) beschrieben. Hulbert et al. (2001) ermittelten unterschiedliche Konzentrationen in *Lolium perenne* zwischen im Sommer und im Winter gewonnenen Proben.

Zusätzlich wurden in eigenen Untersuchungen bei den Gräsern *Festuca pratensis*, *Lolium perenne*, *Dactylis glomerata* und *Phleum pratense* an zwei verschiedenen Zeitpunkten innerhalb des 2. Aufwuchses Differenzen in den Alkankonzentrationen beobachtet. Es können demnach auch innerhalb eines Aufwuchses Unterschiede in den Gehalten der

Alkane auftreten. Darüber hinaus wurden innerhalb der Alkanmuster differenzierte Veränderungen der Konzentrationshöhen registriert. So veränderten sich im Jahresverlauf in *Lolium perenne* die Gehalte von C25, C27, C29 kaum. Allerdings stiegen die Werte für C31 und C33 vor allem vom 2. zum 4. Aufwuchs enorm an. Jahreszeitliche Verschiebungen im Alkanmuster wurden auch von Ferreira et al. (2007) beobachtet. Die Konzentrationen von C27, C29, C31 stiegen von Juni bis Juli an während C33 im Juli mit niedrigeren Gehalten gemessen wurde.

Anhand dieser Beispiele wird deutlich, welche Vielzahl von Einflüssen die Konzentrationen der Alkane in Futterpflanzen bestimmen kann. Dabei verursacht vor allem die Pflanzenart einen Großteil der Variation, wohingegen dem zeitlichen Effekt (Erntezeitpunkt) eine geringere Bedeutung zugesprochen wird (Dove et al., 1996; Zhang et al., 2004). Es ist davon auszugehen, dass die Alkankonzentrationen in Weidegras oder der Grassilage von diesen Flächen mit mittlerer bis hoher Artenvielfalt vor allem durch die verschiedenen Spezies geprägt sind. Einflüsse des Konservierungsprozesses können jedoch nicht ausgeschlossen werden. So wurden in der vorliegenden Untersuchung höhere Alkankonzentrationen in der Grassilage (B05/II) als in frischem Gras (FA05/I) gefunden (Tabelle A-12, A-19), obwohl die Futtermittel im gleichen Aufwuchs und von der gleichen Fläche gewonnen wurden. In Übereinstimmung dazu fanden Hameleers und Mayes (1998) in *Lolium perenne* dominiertem Weidegras geringere Alkankonzentrationen als in der Grassilage der gleichen Fläche.

Ein Vergleich der Ergebnisse mit den Alkanmustern der einzelnen Pflanzenarten aber auch Pflanzenmischungen (Weide) in der internationalen Literatur ist durch die Vielzahl der Einflussfaktoren erschwert. Erklärungsansätze anhand von Bonitur und Analyse der einzelnen Arten sind vorhanden, aufgrund der Gewinnung der Pflanzen von verschiedenen Flächen aber ebenso von begrenzter Gültigkeit.

Innerhalb des Jahres 2005 stiegen die Konzentrationen im Weidefutter aus den Untersuchungen FA05/I-III, ähnlich wie bei den Hauptbestandbildnern beobachtet, im Verlauf der Weideperiode erst an, um anschließend wieder abzufallen (Tabelle 11). Darüber hinaus wurden in 2005 teilweise Differenzen in den gemessenen Konzentrationen auf den Flächen mit verschiedenen Extensivierungsgrade gefunden. Eine Artenverschiebung aufgrund differierender Düngung wäre als Ursache denkbar.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Konzentrationen der Alkane im Weidefutter stark variieren können. Dabei sind Differenzen zwischen einzelnen Spezies als primäre Ursache dieser Variation anzusehen. Alkangehalte im Futter der Weide sind

demnach sehr spezifisch sowie kaum übertragbar. Sie sollten möglichst zeitnah bzw. im Rahmen der Untersuchung zur Futteraufnahme ermittelt werden.

### **6.3 Anwendungsbereiche für Alkane als Marker**

#### **6.3.1 Bedeutung der Wiederfindung**

Damit eine Substanz für die Verwendung als Marker geeignet ist, sollte sie nach Kotb und Luckey (1972) sowie Faichney (1975) bestimmte Eigenschaften, wie Unverdaulichkeit und unveränderte Passage durch den Verdauungstrakt besitzen. Wie viele andere Substanzen, die als Marker genutzt werden, erfüllen die Alkane nicht alle Kriterien eines „Idealen Markers“. So werden die pflanzeigenen Alkane nicht vollständig im Kot der Tiere wieder gefunden. Da dies zu Problemen bei den Schätzungen von Futteraufnahme und Verdaulichkeit führen kann, ist das Wissen um die Höhe der Wiederfindung eine prinzipielle Voraussetzung für den Einsatz von Alkanen als Marker.

Die Beobachtung, dass Alkane durch unvollständige, variierende Wiederfindungen gekennzeichnet sind, wurde vielfach beschrieben (Mayes und Lamb, 1984; Dillon und Stakelum, 1988; Dove und Mayes, 1991; Berry et al., 2000; Estermann et al., 2001; Ordankowski et al., 2001; Molina et al., 2004; Oliván et al., 2007). Im Allgemeinen wird ein Trend ansteigender Wiederfindungen mit ansteigender Kettenlänge, also der Anzahl der Kohlenstoffatome im Molekül angenommen (Mayes und Lamb, 1984; Mayes et al., 1986, 1986; Mayes et al., 1986; Dillon und Stakelum, 1988; Lin et al., 2006). Diese Beobachtung wurde in den eigenen Untersuchungen nicht bestätigt. Die Wiederfindungen der Alkane korrelierten in Übereinstimmung mit Ergebnissen von Vulich et al. (1991), Piasentier et al. (1995), Estermann et al. (2001) und Molina et al. (2004) nicht mit der Kettenlänge der Moleküle. Daher sind eher variable Wiederfindungen als ein Anstieg der Wiederfindungen als Folge ansteigender Kettenlängen zu diskutieren (Hendricksen et al., 2002; Moshtaghi Nia und Wittenberg, 2002; Brosh et al., 2003). Verschiedene Faktoren, wie die Höhe der Konzentrationen der jeweiligen Alkane sowie der Einfluss des Einzeltieres, werden als mögliche Ursachen für die Varianz der Wiederfindungen angesehen (Hendricksen et al., 2002; Valiente et al., 2003). Darüber hinaus wurden Unterschiede in den Wiederfindungen in Abhängigkeit von der Tierart, des Alters sowie des physiologischen Status der Tiere, des Futtermittels aber auch des Fütterungsregimes beschrieben (Dove und Mayes, 1991; Unal und Garnsworthy, 1999; Hendricksen et al., 2002; Moshtaghi Nia und Wittenberg, 2002; Brosh et al., 2003; Valiente et al., 2003; Ferreira et al., 2007).

Die in dieser Untersuchung ermittelten Wiederfindungen zeigten eine hohe Variabilität zwischen den Tieren, den einzelnen Untersuchungen und damit verbunden den eingesetzten Futtermitteln. Die teilweise sehr hohen Standardabweichungen verdeutlichen große Differenzen in den Wiederfindungen zwischen den Einzeltieren, welche ebenso von Hendricksen et al. (2002) und Valiente et al. (2003) beschrieben wurden. In den beiden Untersuchungen mit Gras wurden für die ungeradzahligen Alkane C27 bis C33 Wiederfindungen auf unterschiedlich hohem Niveau kalkuliert. Ähnliche, zahlenmäßig geringere Differenzen ergaben sich ebenfalls zwischen den Untersuchungen mit Grassilage. Als Grund für das unterschiedlich hohe Niveau der Wiederfindungen wird vordergründig die sehr variable Zusammensetzung der zur Futtergewinnung genutzten Weideflächen vermutet. Unterschiede in den Wiederfindungen einzelner Alkane, verursacht durch unterschiedliche Futtermittel und deren Differenziertheit basierend auf ihrer botanischen Zusammensetzung, wurde von Lin et al. (2006) an Schafen beobachtet. Davon ausgehend können sowohl das eingesetzte Gras als auch die Grassilagen aufgrund unterschiedlicher Artenanteile als grundlegend verschiedene Futtermittel angesehen werden. Ein Vergleich der Wiederfindungen aus den verschiedenen Versuchen und eine Einordnung in die Literatur sind daher nur bedingt möglich.

Die ersten Ermittlungen der Wiederfindungen an Schafen zeigten, dass das Alkan C35 fast zu 100 % wieder gefunden wird, wohingegen die kürzer kettigen Alkane C25 und C27 Wiederfindungen von nur 20 und 45 % aufweisen (Mayes und Lamb, 1984). Sehr niedrige Wiederfindungen wurden ebenso für C31 (59 %) in Versuchen mit Rindern bei der Fütterung von *Lolium perenne* kalkuliert (Mayes et al., 1986). Weiterhin zeigten verschiedene Untersuchungen mit Rindern unter Nutzung von Weidegras (meist nicht genauer definiert) Wiederfindungen für C31 zwischen 83 und 89 % auf (Dillon und Stakelum, 1988; Estermann et al., 2001; Molina et al., 2004). Eine Einordnung der eigenen Untersuchungen mit Grasfütterung weist darauf hin, dass die kalkulierten Wiederfindungen für C31 sowohl niedriger (B04/I = 73 %) als auch höher (B05/Ia und b = 96 und 95 %) sein können. Für das Alkan C33 wurden deutlich niedrigere Wiederfindungen als für C31 berechnet. Im Gegensatz dazu wurden in der Literatur oft höhere Wiederfindungen für C33 im Vergleich zu C31 (Mayes et al., 1986; Dillon und Stakelum, 1988), aber auch ähnliche Werte für beide Alkane beschrieben (Estermann et al., 2001; Molina et al., 2004). Unal und Garnsworthy (1999) fütterten eine Grassilage an Rinder und kalkulierten mit 88 % für C33 eine ähnliche Wiederfindung wie sie in den eigenen Untersuchungen (B05/II) ermittelt wurde.

Darüber hinaus zeigten auch eine Vielzahl von Untersuchungen auf der Basis von Heu unterschiedlich hohe Wiederfindungen einzelner Alkane (Hendricksen et al., 2002; Moshtaghi Nia und Wittenberg, 2002; Brosh et al., 2003; Hendricksen et al., 2003; Oliván et al., 2007). Selbst der Einsatz unterschiedlicher Heue bzw. verschiedener Anteile dieses Futtermittels in einer Ration zeigte einen Einfluss auf die Höhe der Wiederfindungen (Ohajuruka und Palmquist, 1991; Moshtaghi Nia und Wittenberg, 2002). So ermittelten Ohajuruka und Palmquist (1991) signifikant unterschiedliche Wiederfindungen für C31 nach Verfütterung von Luzerneheu (78 %) bzw. Wiesenheu (91 %). Elwert (2004) beschrieb Unterschiede in den Wiederfindungen mehrerer Alkane nach Verfütterung von Heu und Stroh, die sich jedoch nur für C27 sowie die geradzahligen Alkane C30 und C32 statistisch sichern ließen.

Neben dem Einfluss des eingesetzten Futtermittels treten vor allem Differenzen in den Wiederfindungen zwischen unterschiedlichen Tierarten oder Rassen auf. Dove und Mayes (1991) beschrieben geringere Wiederfindungen für Rinder als für Schafe. Ebenso variieren die Wiederfindungen zwischen Rindern, Kälbern und Ziegen bei ähnlicher Futtergrundlage (Brosh et al., 2003). Wenn Einflüsse der Tierart und des Alters (Rind vs. Kalb) angenommen werden müssen, könnte die Verwendung verschiedener Rassen oder Nutzungsrichtungen innerhalb einer Tierart unterschiedliche Wiederfindungen der Alkane zur Folge haben. In den vorliegenden Untersuchungen wurden 2004 Rinder der Nutzungsrichtung Milch und 2005 Fleischrinder genutzt. Es kann daher nicht ausgeschlossen werden, dass die aufgezeigten Schwankungen in den Wiederfindungen ursächlich auch auf diesen Umstand zurückzuführen sind.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass in den vorgestellten Untersuchungen sowie in Arbeiten anderer Autoren die Art des Futtermittels sowie die Tierart als hauptsächliche Ursache der Varianz der Wiederfindungen einzelner, natürlicher Alkane anzusehen sind. Darüber hinaus können jedoch weitere Faktoren, wie die Rasse und die Nutzungsrichtung, auf die Höhe der Wiederfindungen wirken. Davon ausgehend sollten die Wiederfindungen für die jeweiligen Alkane und die aktuelle Versuchslage bestimmt und einzig in Ausnahmesituationen aus Literaturdaten übernommen werden.

### **6.3.2 Schätzung der Futteraufnahme und Selektion**

Das Wissen über die Höhe der Futteraufnahme von weidenden Tieren ermöglicht eine Einschätzung ihrer Versorgungslage und somit eine leistungsgerechte Versorgung. Da eine direkte Messung nicht praktikabel ist, bietet sich die Möglichkeit der Schätzung über

Markersubstanzen, im vorliegenden Fall Alkane an. Dove und Mayes (1991) beschrieben umfassend den Einsatz von Alkanen als interne sowie externe Marker zur Schätzung der Futteraufnahme. Dabei werden laut Gleichung 6 die Konzentrationen eines ungeradzahligen (internen) sowie eines geradzahligen (externen) Alkans in Futter und Kot zueinander ins Verhältnis gesetzt. Weitere Voraussetzung ist die Kenntnis der täglichen Dosis des externen Markers. Da sowohl die ungeradzahligen als auch die geradzahligen Alkane unvollständig wiederfindbar sind, ist es notwendig, die Konzentration des jeweiligen Alkans um die spezifische Wiederfindung zu korrigieren. Ein in diesem Zusammenhang häufig diskutierter Aspekt ist die Annahme, dass die Schätzung der Futteraufnahme mittels benachbarter, sich möglichst nur um ein C-Atom unterscheidender Alkane aufgrund ähnlicher Wiederfindungen diese Korrektur aufhebt (Dove und Mayes, 1991).

In voran gegangenen Arbeiten wurden vor allem die länger kettigen Alkane C31 und C33 in Kombination mit C32 genutzt, da diese ausreichend hohe Konzentrationen sowie ähnlich Wiederfindungen aufwiesen (Malossini et al., 1996; Hamelers und Mayes, 1998; Nielsen et al., 2003). Verschiedene Autoren führten Vergleiche zwischen den Schätzungen mittels verschiedener Alkanpaarungen und den aktuell gemessenen Futteraufnahmen durch. Die Ergebnisse sprachen sowohl für die Kombination C31:C32 (Estermann et al., 2001) als auch für C33:C32 (Mayes et al., 1986; Dillon und Stakelum, 1988; Béchet und Tulliez, 1992; Berry et al., 2000).

In der vorliegenden Arbeit wurde neben der Schätzung der unbekanntes Futteraufnahme in Weideexperimenten (Tabelle 13) ebenso eine Validierung der Schätzung auf Basis von Bilanzversuchen (Tabelle 10), also ein Vergleich zwischen gemessener und mittels Alkanmethode geschätzter Futteraufnahme vorgenommen. Sie diente dem Zweck, die Genauigkeit der Schätzung zu beurteilen. Dabei ist zu bedenken, dass die beschriebene Genauigkeit nicht auf nachfolgende Untersuchungen übertragbar ist. Die selektive Futteraufnahme der Tiere auf der Weide bedingt variable Alkankonzentrationen, die durch die begleitende Erfassung der Futterproben nur im begrenzten Maße berücksichtigt werden. Zudem bestehen große Schwankungen in den Alkankonzentrationen im Kot sowie den Wiederfindungen sowohl zwischen den Tieren als auch im Versuchsverlauf. Bei Schätzungen ohne Vergleich zur tatsächlich aufgenommenen Futtermenge bleibt die Genauigkeit immer unbekannt und kann über derartige Validierungen nur bedingt eingeordnet werden.

Die Ergebnisse der Validierung zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen Messungen und Schätzungen (Tabelle 10). Darüber hinaus wurde deutlich, dass bei Berücksichtigung der jeweiligen Wiederfindung die Kombinationen der ungeradzahligen Alkane C27 bis C33 mit den geradzahligen Alkanen C32 oder C36 zu Schätzungen mit einer Diskrepanz von maximal 0,7 kg T/Tag führte.

Mit Hilfe von zwei Beispielen sollen die Einflussfaktoren auf die Schätzung der Futteraufnahme etwas genauer betrachtet werden. In der Untersuchung B04/I wurden für C31 und C32 Wiederfindungen von 73 und 86 % ermittelt (Abbildung 5). Die gemessene Futteraufnahme (6,5 kg T/Tier und Tag, Tabelle 10) wurde ohne Korrektur der Wiederfindung um 1,1 kg T unterschätzt, wohingegen durch die Berücksichtigung der jeweiligen Wiederfindung eine korrekte Futteraufnahme berechnet wurde. Dem ähnlich kalkulierten Oliván et al. (2007) bei näherungsweise 20 % geringeren Wiederfindungen für die internen Alkane C31 und C33 im Vergleich zum externen Alkan C32 mit den Kombinationen C31:C32 sowie C33:C32 eine Futteraufnahme, welche den gemessenen Wert signifikant unterschätzte. Diese und die Ergebnisse anderer Autoren (Berry et al., 2000; Moshtaghi Nia und Wittenberg, 2002) zeigen, dass bei Differenzen zwischen den Wiederfindungen der für die Berechnung verwendeten Alkane eine Korrektur der Alkangehalte im Kot vorgenommen werden muss.

Im Versuch B05/Ia wurden für C31, C32 und C33 Wiederfindungen von 96, 95 und 69 % kalkuliert (Abbildung 5). Die Tiere nahmen in der Versuchsperiode im Mittel 7,8 kg T täglich auf (Tabelle 10). Mittels der Alkane C31:C32 wurde die Futteraufnahme sowohl mit als auch ohne Korrektur der Wiederfindung nur um ca. 0,3 kg T unterschätzt. Die Schätzung mittels C33:C32 lieferte ohne Berücksichtigung der Wiederfindungen eine um 2,1 kg T (5,7 kg T, Ergebnisse nicht aufgeführt) niedrigere Futteraufnahme und trotz Korrektur eine Überschätzung der aufgenommenen Futtermenge von 0,7 kg T (8,5 kg T, Tabelle 10). Es stellt sich daher die Frage, worin trotz Berücksichtigung der Wiederfindung bei Verwendung von C33 die Ursache für die Differenz von 0,7 kg T zwischen Schätzung und Messung zu suchen ist.

Neben der Wiederfindung ist auch die Höhe der Konzentrationen der genutzten Alkane für die Schätzung der Futteraufnahme von Bedeutung. In der beschriebenen Untersuchung sind die Konzentrationen für C33 mit 68 mg/kg T (Tabelle 6) als sehr niedrig einzustufen. Auch Lin et al. (2006) ermittelten niedrige Konzentrationen von C33 und schätzten trotz Korrektur der Wiederfindungen signifikant höhere Futteraufnahmen im Vergleich zur Messung. Das Alkan C31 war in weitaus höheren Mengen im Futter enthalten und führte

in Kombination mit C32 zu mit der Messung übereinstimmende Futteraufnahme-schätzungen.

In Übereinstimmung dazu empfohlen einige Autoren eine Orientierung an der Konzentrationshöhe bei der Auswahl einzelner Alkane zur Schätzung der Futteraufnahme. Laredo et al. (1991) regten an, in Fällen, in denen C33 nur in geringen Mengen im Futter vorkommt, C31 als internen Marker zu nutzen.

Hameleers und Mayes (1998) vermuteten einen hohen Anteil von Klee, der sehr geringe Konzentrationen des Alkans C33 aufzeigt, als Ursache der geringen Mengen im Futter. Auch in eigene Untersuchungen wurde in *Trifolium repens* niedrige C33 Konzentrationen gemessen (Tabelle A-8). Ein hoher Anteil dieser Pflanzenart auf den im Versuchsjahr 2005 genutzten Weideflächen (Tabelle A-2) erklärt demnach die niedrigen Mengen von C33 und kann als Argument gegen die Wahl der Kombination C33:C32 und für C31:C32 zur Schätzung der Futteraufnahme angesehen werden.

Die unter 4.4.2 (Tabelle 13) dargestellten Schätzungen der Futteraufnahme mittels C27 und C33 als interne Marker sind demnach ebenso, trotz Berücksichtigung der Wiederfindung, aufgrund der geringen Markerkonzentrationen im Futter (Tabelle 11) in ihrer Genauigkeit zu hinterfragen. Ähnliches trifft für die Schätzung mittels C29:C32 im Versuch FA04/I zu. Numerische Unterschiede zwischen den Schätzungen mit C31 und denen mit C27, C29 oder C33 als interne Marker wurden zwar dargestellt, konnten allerdings nur in wenigen Fällen statistisch gesichert werden (Tabelle 13).

Steht kein direkter Vergleich zu einem Bilanzversuch zur Verfügung, ist die Beurteilung der Fehlerhöhe einer Schätzung der Futteraufnahme mittels Alkanen schwierig. Im Allgemeinen ist jedoch von einer Steigerung der Futteraufnahme im Verlauf eines Jahres durch die steigenden Lebendmassen der Tiere auszugehen. Dies spiegelt sich auch in den mittels C31 und C32 geschätzten Futteraufnahmen der vorgestellten Untersuchungen im Jahr 2005 wider (Tabelle 13). Darüber hinaus bestehen offensichtlich keine Unterschiede in der Höhe der Futteraufnahme zwischen den Tieren, welche auf den gedüngten oder den ungedüngten Weideflächen grasten. Für die Futteraufnahmen in 2004 (FA04/I) wurden mit C29 und C31 sehr hohe Werte von etwa 20 kg T am Tag geschätzt (Tabelle 13). Angesichts der Lebendmassen (Tabelle A-3) sowie der geringen Leistung erscheinen diese Futteraufnahmen als zu hoch. Als Grund dafür könnten neben den genannten Faktoren ebenso Ungenauigkeiten in der Schätzung der Anteile von Gras sowie der Grassilage an der Gesamtaufnahme vermutet werden.

Die Validierung der Schätzung zur Futteraufnahme auf der Weide zeigte, dass keine eindeutigen Schlüsse zur Empfehlung bestimmter Alkankombinationen abgeleitet werden können. Es wurden keine signifikanten Differenzen zwischen Messungen und Schätzungen ermittelt. Da jedoch die Konzentrationshöhe des internen Markers als wichtiges Entscheidungskriterium beschrieben wurde, sollte für die Schätzung das pflanzeigene Alkan mit den höchsten Konzentrationen gewählt werden. Weiterhin muss eine Korrektur der Wiederfindungen erfolgen. Ähnliche Wiederfindungen der verwendeten Alkane heben dagegen die Notwendigkeit einer Korrektur auf.

Weiterhin sollten Schätzungen für die Herde bzw. eine Gruppe von Tieren und nicht für Einzeltiere vorgenommen werden. Bei Betrachtung der tierindividuell geschätzten Futteraufnahmen (Tabelle A-16) wird deutlich, dass sich erst im Gruppenmittel Futteraufnahmen in Übereinstimmung mit gemessenen Werten schätzen lassen. Oliván und Osoro (1995) ermittelten für Einzeltiere Differenzen zwischen tatsächlicher und geschätzter Futteraufnahme im Bereich von 1 bis 25 %. Hendricksen et al. (2002) und Oliván et al. (2007) betrachten vor allem die hohe tierindividuelle Varianz der Wiederfindungen als Ursache für die erheblichen Ungenauigkeiten in der Schätzung der Futteraufnahme für Einzeltiere.

Neben der Höhe der Futteraufnahme ist gleichfalls die Zusammensetzung des aufgenommenen Weidefutters von Interesse, da eine Futterselektion der Tiere zu einer Fehleinschätzung der aufgenommenen Energiemenge und folglich der tierischen Leistung führen kann. In der Literatur wurden verschiedene Ansätze beschrieben, mit denen sich die botanische Zusammensetzung des aufgenommenen Futters bestimmen lässt. Mikroskopische und chemische Analysemethoden sowie Methoden der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) fanden dazu Anwendung (Sparks und Malechek, 1968; Voleski und Coleman, 1996; Walker et al., 2007). Da sich jedoch diese Formen der Bestimmung als sehr arbeits- und zeitintensiv herausstellten, wurde nach einfacheren Methoden gesucht. Dove und Mayes (1991) zeigten auf, dass pflanzeigene Alkane zur Bestimmung der botanischen Zusammensetzung des aufgenommenen Futters verwendet werden können, indem die Alkankonzentrationen in den einzelnen Futtermitteln einer Ration (respektive Pflanzenarten einer Weide) und im Kot der einzelnen Tiere gegenübergestellt werden. Voraussetzung zur Nutzung dieser Methode ist die Variabilität der Alkanmuster in den einzelnen Pflanzenarten, wie sie in Tabelle A-8 aufgezeigt wurden. In einem Vergleich zwischen NIRS und dieser Methode mittels Alkanen zeigten Roumet et

al. (2006), dass sich über beide Möglichkeiten die Anteile einzelner Spezies an bekannten Mischungen zuverlässig schätzen ließen. Allerdings wurde darauf verwiesen, dass die Übertragbarkeit auf unbekannte Proben, wie zum Beispiel aus Experimenten unter Weidebedingungen, weiterer Untersuchungen bedarf.

Zur Bestimmung der Zusammensetzung des aufgenommenen Futters mittels Alkanen ist es wiederum notwendig, die unvollständigen Wiederfindungen im Kot zu berücksichtigen (Dove und Mayes, 1991, 1996; Brosh et al., 2003). Trotz dieser Korrektur wurden in der vorliegenden Untersuchung große Diskrepanzen zwischen der geschätzten Aufnahme einzelner Hauptbestandteile durch die Tiere und dem tatsächlichen Pflanzenbestand der Weideflächen (Tabelle A-2) mittels „Eat What?“ (Dove und Moore, 1995) ermittelt (Tabelle 14). Dabei wurden vier Pflanzenarten (*Lolium perenne*, *Poa pratensis*, *Trifolium repens*, *Taraxacum officinale*) unter Verwendung der ungeradzahlig Alkane C25 bis C35 differenziert.

Dove und Mayes (1996) deuteten an, dass die Anzahl der genutzten Alkane über der Anzahl der zu unterscheidenden Spezies liegen soll, um Fehlschätzungen zu vermeiden. Elwert et al. (2004) sowie Ferreira et al. (2007) beschrieben jedoch keine Differenzen in der Schätzung der Artenanteile bei Nutzung der gleichen Anzahl von Alkanen wie zu differenzierende Arten gegenüber der Nutzung aller zur Verfügung stehenden Alkane zur Unterscheidung einer geringeren Anzahl von Arten. Das bedeutet, dass bei beispielsweise vier Pflanzenarten die Nutzung von vier Alkanen ähnliche Ergebnisse lieferte wie die Nutzung von mehr als 4 Alkanen. Im Allgemeinen können so viele Pflanzenarten differenziert werden, wie Alkane in sicher messbaren Konzentrationen zur Verfügung stehen. Dementsprechend wurden zwischen vier (Dove, 1992) und zehn Pflanzenspezies (Hoebee et al., 1998) einbezogen.

Die Anzahl der zu bestimmenden Arten in der Mischung wird kontrovers diskutiert. In den meisten Fällen wurden zwei oder drei Futterkomponenten unterschieden (Hameleers und Mayes, 1998; Valiente et al., 2003). Dove (2003) differenzierte erfolgreich bis zu fünf Futtermittel. Lin et al. (2006) schlussfolgerten jedoch, dass die Schätzungen der Zusammensetzung einer Ration unter Verwendung von Alkanen wenig verlässlich sind, wenn zwei oder mehr Komponenten ähnliche Alkanmuster aufweisen. Auch Nielsen et al. (2004) stuften ihre Schätzung aufgrund sehr geringer Unterschiede der Alkanmuster einzelner Arten als ungenau ein.

Weiterhin muss beachtet werden dass die Auswahl der Tiere nicht auf Pflanzenarten beschränkt ist, sondern auch zwischen Pflanzenteilen selektiert werden kann. Ergebnisse

aus parallel durchgeführten Untersuchungen zeigten, dass weidende Rinder bevorzugt die energiereiche Blattmasse des Weideaufwuchses aufnehmen (Mitsch et al., 2006). Wie unter 5.2 beschrieben, wurden von verschiedenen Autoren unterschiedliche Alkankonzentrationen einzelner Pflanzenteile herausgearbeitet (Dove et al., 1996; Smith et al., 2001). Diese Tatsache begründet die Schwierigkeiten bei der Schätzung der Futterselektion auf Basis der Alkankonzentrationen in den Gesamtpflanzen der Bestandsbildner, wie sie in den vorgestellten Untersuchungen vorgenommen wurde.

Abschließend muss darauf hingewiesen werden, dass die Referenzproben der Einzelpflanzen (Tabelle A-8) zwar dem jeweils gleichen Aufwuchs entsprachen, jedoch von anderen Flächen gewonnen wurden. Unterschiede in den Alkankonzentrationen zwischen diesen Proben können demnach nicht ausgeschlossen werden. Bei dieser Art von Untersuchungen sollten daher alle notwendigen Informationen (Alkankonzentrationen, Wiederfindungen) möglichst unter gleichen Bedingungen (Futterfläche, Futterpflanzen, Tiere etc.) bestimmt werden.

Auf Weideflächen mit einer hohen Artenvielfalt genügt die Anzahl der in ausreichend hohen Konzentrationen in den Pflanzen zur Verfügung stehenden Alkane für die Schätzung einzelner Spezies nicht aus. Verschiedene Möglichkeiten wurden in solchen Fällen in Erwägung gezogen. Martins et al. (2002) entwickelten einen Algorithmus zur Schätzung der Anteile einzelner Pflanzengruppen (mehrere Arten zusammengefasst) an der gesamten Futteraufnahme. Ali et al. (2005) nutzen neben Alkanen auch langkettige Fettsäuren und Alkohole als interne Marker und konnte durch diese Kombination ein höheres Maß an Korrektheit schlussfolgern als durch die Schätzung mittels nur einer Markergruppe.

Die Genauigkeit der Beurteilung einer Futterselektion der Tiere auf der Weide scheint demnach von Faktoren wie der Varianz der Alkanmuster der verwendeten Pflanzenarten, der Anzahl der zur Verfügung stehenden Alkane oder weiterer Markersubstanzen und die Bestandsdichte in Hinblick auf die Möglichkeit der Auswahl bestimmter Pflanzenteile abzuhängen. Unter den vorliegenden Bedingungen führte die Schätzung der botanischen Zusammensetzung des aufgenommenen Futters mittels Alkanen zu unglaublichen Ergebnissen.

### **6.3.3 Schätzung der Verdaulichkeit**

Die Energiekonzentration eines Futtermittels kann anhand der verdaulichen Rohnährstoffe berechnet werden. Daher spielt neben der Höhe der Futteraufnahme auch die

Verdaulichkeit der Roh Nährstoffe, insbesondere der organischen Masse eine entscheidende Rolle bei der Einschätzung der Versorgungslage der weidenden Tiere. Um die Verdaulichkeiten der Roh Nährstoffe zu bestimmen, stehen verschiedene Methoden zur Auswahl. Neben standardisierten Verdaulichkeitsuntersuchungen im Stall (AfBN, 1991) besteht die Möglichkeit, mit Hilfe von internen Markern auch unter Weidebedingungen die Verdaulichkeiten zu schätzen. Dabei finden pflanzeneigene Stoffe, wie zum Beispiel Lignin, säureunlösliche Asche oder, wie in den vorliegenden Untersuchungen, Alkane Anwendung (Ohajuruka und Palmquist, 1991; Momont et al., 1994; Bergero et al., 2001). Der eingesetzte Marker sollte unverdaulich sein (Kotb und Luckey, 1972). Die Kenntnis der Höhe der Wiederfindungen der jeweiligen Alkane sowie eine Korrektur der Alkankonzentrationen im Kot ist demnach auch für eine sichere Schätzung der Verdaulichkeiten der Roh Nährstoffe unabdingbar (Dove und Mayes, 1991). Arbeiten von Stevens et al. (2002), die diesen Forderungen entsprachen, zeigten korrekte Schätzungen der Trockensubstanzverdaulichkeit (*Lolium perenne*) unter Verwendung der Alkane C31, C33 und C35. Ohne die Korrektur um die Wiederfindungen ergaben sich Differenzen zwischen gemessener und geschätzter Verdaulichkeit in Höhe von bis zu 18 %. Darüber hinaus wird deutlich, dass die Höhe der Markerkonzentrationen die Schätzung der Verdaulichkeit maßgeblich beeinflussen kann. Dove und Mayes (1991) empfehlen daher, dass neben C35 (häufig sehr niedrige Konzentration im Futter) die oftmals in höheren Konzentrationen vorhandenen Alkane C29, C31 oder C33 für derartige Kalkulationen genutzt werden sollen.

In den vorgestellten Untersuchungen wurden die Verdaulichkeiten mittels Bilanzierung sowie unter Verwendung der Alkane C27, C29, C31 und C33 einschließlich der jeweiligen Wiederfindungen bestimmt. Ein Vergleich der mittels Bilanzierung bestimmten und über Alkane geschätzten Verdaulichkeit der Trockensubstanz diente dazu, die zeitnah geschätzten Verdaulichkeiten der Roh Nährstoffe des Futters in den Untersuchungen auf der Weide einzuordnen. Dabei gilt, ähnlich der Validierung der Futteraufnahmeschätzung, dass die Ergebnisse nur bedingt übertragbar sind.

Die Gegenüberstellung der Trockensubstanzverdaulichkeiten (Tabelle 9) auf Grundlage der Bilanzierung und der mittels der Alkane C27, C29, C31 und C33 geschätzten Verdaulichkeiten zeigt, dass die gewählten Alkane trotz Berücksichtigung der Wiederfindungen signifikant überschätzte Verdaulichkeiten lieferten. Im Gegensatz dazu schätzten Ohajuruka und Palmquist (1991) sowie Sandberg et al. (2000) mit C31 im Vergleich zur Totalsammlung niedrigere Verdaulichkeiten der Trockensubstanz aus Heu

und Gras. Hendricksen et al. (2002) konnten die Verdaulichkeit der Trockensubstanz von Heu in zwei Versuchen mit Rindern mittels C31 korrekt schätzen. Die Nutzung der Alkane C33 und C35 führte jedoch sowohl zu Überschätzungen als auch zu Unterschätzungen der Trockensubstanzverdaulichkeit. Unal und Garnsworthy (1999) berechneten dagegen mit C33 korrekte Verdaulichkeiten der Trockensubstanz von 69 und 74 % aus Heu und Grassilage bei der Fütterung an Milchkühe.

Untersuchungen an Pferden zeigten ähnlich unklare Ergebnisse (Ordankowski et al., 2001; Peiretti et al., 2006). Die Verwendung verschiedener ungeradzahliger Alkane als interne Marker führte im Vergleich zur Bilanzierung zu Über- sowie Unterschätzung der Verdaulichkeiten.

In den eigenen Untersuchungen auf der Weide wurden für den 1., 2. und 3. Weideaufwuchs mittels verschiedener Alkane variable Verdaulichkeiten der organischen Masse geschätzt (Tabelle 15). Aufgrund der niedrigen Konzentrationen sind die Schätzungen mittels C27 sowie C33 in ihrer Genauigkeit zu hinterfragen. Ein Vergleich zu den in Verdaulichkeitsuntersuchungen gemessenen Verdaulichkeiten der organischen Masse (Tabelle 9) deutet auf eine Überschätzung mittels C29 sowie C31 hin. So wurde beispielsweise für den 2. Aufwuchs im Versuch B05/I eine deutlich geringere Verdaulichkeit der organischen Masse ermittelt als im Versuch F05/II (gleiche Fläche im gleichen Aufwuchs) geschätzt wurde.

Als Erklärungsansatz können zwei Fakten dienen. Einerseits sind die Alkane, wie die Validierung zeigte, nur bedingt als Marker zur Bestimmung der Verdaulichkeit geeignet. Andererseits haben die Tiere auf der Weide, im Gegensatz zu denen der Verdaulichkeitsuntersuchung im Stall, die Möglichkeit zur Futterselektion. Eine damit verbundene höhere Verdaulichkeit der aufgenommenen Roh Nährstoffe ist wahrscheinlich.

Festzuhalten bleibt, dass anhand der Validierung keine Empfehlung für oder gegen ein pflanzeneigenes Alkan als Marker zur Bestimmung der Verdaulichkeiten der Roh Nährstoffe gegeben werden kann. Die verwendeten Alkane erschienen in den vorgestellten Untersuchungen als ungeeignet für derartige Kalkulationen. Über die Korrektheit der in den Untersuchungen unter Weidebedingungen geschätzten Verdaulichkeiten der Roh Nährstoffe kann nur spekuliert werden.

## Schlussfolgerungen

Vor dem Hintergrund einer optimalen Versorgung weidender Rinder sollte mit der vorliegenden Untersuchung geklärt werden, inwieweit die Höhe der Futteraufnahme und die Futterselektion mit Hilfe einer Markermethode auf der Basis pflanzeneigener und extern zugeführter Alkane sicher abgeschätzt werden können. Auf der Grundlage von jeweils zwei Verdaulichkeitsstudien mit Gras und Grassilage sowie vier Experimenten mit weidenden Rindern können folgende Schlussfolgerungen abgeleitet werden:

- Im Weidefutter und den daraus gewonnenen Grassilagen sowie im Kot der Rinder wurden ausreichend hohen Konzentrationen von langkettigen, ungeradzahligen Alkanen analysiert. Dabei traten vor allem C29 und C31 in den Vordergrund. Für geradzahlige Alkane wurden erwartungsgemäß nur sehr niedrige Konzentrationen, teilweise unterhalb der Nachweisgrenze ermittelt.
- Im Allgemeinen variieren die Konzentrationen der Alkane im Weidefutter sehr stark. Ursächlich dafür sind große Differenzen im Alkanmuster zwischen einzelnen Pflanzenarten, das Vegetationsstadium und unterschiedliche Pflanzenteile zu nennen. Zudem ist eine Veränderung der jeweiligen Alkankonzentrationen durch konservierende Verarbeitung wie Silierung oder Trocknung zu erwarten. Alkangehalte im Weidefutter sind demnach sehr spezifisch und nicht auf andere Grünlandflächen und Jahre übertragbar.
- Die Wiederfindungen spielen neben der Höhe der Konzentrationen eine zentrale Rolle für den Einsatz von Alkanen als Marker. Dabei sind die Art des Futtermittels sowie die Tierart als primäre Ursachen der Varianz der Wiederfindungen anzusehen. Darüber hinaus beeinflussen jedoch weitere Faktoren, wie Konzentration des Markers, Alter und physiologischer Status der Tiere die Höhe der Wiederfindungen. Es ist nicht in jedem Fall von einem positiven Zusammenhang zwischen Wiederfindung und Kettenlänge der Alkane auszugehen. Alkane, die sich nur um ein C-Atom unterscheiden, müssen nicht zwangsläufig ähnliche Wiederfindungen aufweisen. Davon ausgehend sollten Wiederfindungen für die aktuelle Versuchslage bestimmt und nur im Bewusstsein einer möglichen Fehlerquelle aus der Literatur übernommen werden.
- Alkane sind für den Einsatz als Marker zur Schätzung der Höhe der Futteraufnahme geeignet. Die Steigerung der Futteraufnahme im Verlauf der Weideperiode ist angesichts der steigenden Lebendmassen der Tiere wahrscheinlich. Weiterhin

bestehen offensichtlich keine Unterschiede in der Höhe der Futteraufnahme zwischen den Tieren auf gedüngten bzw. ungedüngten Weideflächen.

- Eine Validierung dieser Methode ließ keine Rückschlüsse zu, welche Alkane für die Schätzung der Futteraufnahme zu präferieren sind. Die Schätzungen mittels der Alkane C27, C29, C31 sowie C33 in Kombination mit den extern zugeführten Alkanen C32 und C36 zeigten keine signifikanten Differenzen zur gemessenen Futteraufnahme. In Anbetracht der Höhe der Konzentrationen sowie der ähnlichen Wiederfindungen benachbarter Alkane sind die Paarungen der Alkane C29 und C32 sowie C31 und C32 zu empfehlen.
- Eine Futterselektion durch die Tiere kann mit der hier verwendeten Methode auf der Basis pflanzeigener Alkane weder bestätigt noch ausgeschlossen werden. Die Verwendung von Alkanen zur Schätzung der botanischen Zusammensetzung des aufgenommenen Futters führte in der vorliegenden Arbeit zu fragwürdigen Ergebnissen. Es ergaben sich große Differenzen zwischen der Schätzung und dem anhand einer Bonitur bestimmten tatsächlichen Bestand der Weideflächen.
- Die ermittelten Differenzen zwischen den gemessenen und den geschätzten Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe von Gras könnten mit einer Selektion der Tiere unter Weidebedingungen begründet werden. Die vorgenommene Validierung von Alkanen als Verdaulichkeitsmarker weist auf Fehler bei der Schätzung der Verdaulichkeiten hin, die in der Höhe der Konzentrationen der verwendeten Alkane und deren meist unbekanntem Wiederfindungen zu suchen sind. Es kann keine Empfehlung für bestimmte pflanzeigene Alkane als Verdaulichkeitsmarker gegeben werden. Damit ist eine Fehleinschätzung der tatsächlich aufgenommenen im Vergleich zur geschätzten Energiemenge nicht auszuschließen.
- Die Alkanmethode ist in der Praxis nur bedingt anwendbar. Die Untersuchungen zur Bestimmung der Futteraufnahme auf der Weide erfordern die Bestimmung der Wiederfindungen mit möglichst gleicher Futtergrundlage und Tiermaterial. Die Nutzung von Alkankonzentrationen oder Wiederfindungen aus der Literatur ist aufgrund nachweislich großer Variabilität nicht zu empfehlen.

## **7. Zusammenfassung**

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden in den Weideperioden der Jahre 2004 und 2005 insgesamt acht Untersuchungen mit Rindern durchgeführt. Ausgehend von zwei verschiedenen Versuchsansätzen sollten Fragen zur Quantifizierung und Qualifizierung der Futteraufnahme von Rindern auf der Weide sowie der Eignung und Genauigkeit der verwendeten Methode auf der Basis von Alkanen geklärt werden. Alkane sind langkettige Kohlenwasserstoffe sowie Bestandteile der pflanzlichen Wachsschicht und wurden als interne Marker zur Schätzung der Futterselektion sowie der Verdaulichkeiten der Roh Nährstoffe verwendet. Daneben dienten extern, über einen Pansenbolus zugeführte Alkane zur Schätzung der Höhe der Futteraufnahme.

Es wurden jeweils vier Untersuchungen zur Bestimmung der Verdaulichkeiten der Roh Nährstoffe und der Wiederfindungen der Markeralkane innerhalb von Bilanzversuchen sowie unter Weidebedingungen zur Schätzung der Futteraufnahme realisiert. Als Tiermaterial wurden vom Zentrum für Tierhaltung und Technik der Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau des Landes Sachsen-Anhalt am Standort Iden im Jahr 2004 tragende Färsen (Reproduktion der Milchviehherde, Holstein-Frisian) und im Jahr 2005 etwa einjährige Jungrinder (Ochsen und Färsen) aus der Mutterkuhherde (überwiegend Charolais-Kreuzungen) zur Verfügung gestellt. Die Tiere wurden in beiden Jahren anhand der Lebendmasse ausgeglichen in zwei Herden geteilt und standen die gesamte Weideperiode auf einer ca. 26 ha großen, in zwei Extensivierungsgrade geteilten Weidefläche.

In den Verdaulichkeitsuntersuchungen wurden zur Ermittlung der Verdaulichkeiten der Roh Nährstoffe und der Wiederfindungen von Alkanen aus Gras oder Grassilage sechs bzw. fünf Färsen aus den Herden entnommen und einzeln aufgestellt. Nach einer Anpassungsphase wurden in einer Versuchsphase von 8 Tagen an jeweils 6 aufeinander folgenden Tagen das aufgenommene Futter sowie die ausgeschiedenen Kotmengen tierindividuell und quantitativ erfasst. Dabei erfolgte die Probennahme, begründet durch die Annahme einer 48-stündigen Passagerate der Bolusalkane durch den Verdauungstrakt der Tiere, um eine zeitliche Versetzung von zwei Tagen.

Während der Untersuchungen auf der Weide wurden aus jeder Herde sechs Tiere ausgewählt, von denen über einen Versuchszeitraum von 9 Tagen an jeweils 7 aufeinander folgenden Tagen zweimal täglich, stichprobenartig Futter- und Kotproben gesammelt wurden. Die Futterproben wurden als Gesamtprobe für die jeweilige Herde durch Begleiten der Einzeltiere während des Grasens und Pflücken mit der Hand gewonnen. Die

Kotprobengewinnung erfolgte tierindividuell aus frisch abgesetztem Kot. In allen durchgeführten Untersuchungen wurden Pansenboli für Rinder zur Applikation des externen Markers verwendet.

Neben den vorgestellten Untersuchungen mit Rindern wurden die Alkangehalte einzelner Pflanzenarten ermittelt und methodische Aspekte, wie die Validierung der zur Markerapplikation verwendeten Pansenkapseln und Methoden der Probenaufbereitung für den Alkanaufschluss näher betrachtet und hinterfragt.

In den Futterproben wurden ungeradzahlige Alkane, vor allem im Bereich von 27 bis 33 C-Atomen in relevanten Konzentrationen nachgewiesen. Die Alkankonzentrationen im Weidefutter wiesen jedoch eine große Variabilität auf, die vor allem auf die unterschiedlichen Alkanmuster der einzelnen Pflanzenarten und deren schwankende Ertragsanteile zurückgeführt wurden.

Die ermittelten Wiederfindungen lagen für die genannten ungeradzahligen Alkane im Mittel im Bereich von 63 bis 100 %. Die Wiederfindungen gingen direkt in die Schätzungen der Futteraufnahme, der Futterselektion und der Verdaulichkeiten ein.

Gegenüberstellungen von in den Bilanzversuchen gemessenen und mittels Alkanen geschätzten Futteraufnahmen zeigten, dass mit verschiedenen Alkanen realistische Futteraufnahmehöhen geschätzt werden können. Faktoren, wie die Höhe der Alkankonzentrationen sowie der Wiederfindungen sprachen für eine Verwendung von Alkanen mit 29 bzw. 31 C-Atomen (C29 bzw. C31) in Kombination mit dem Bolusalkan C32. Auf dieser Grundlage wurden in der Weideperiode 2005 im 1. bis 3. Aufwuchs Futteraufnahmen im Bereich von 6,5 bis 13,5 kg T am Tag geschätzt. Die Untersuchung aus dem Jahr 2004 lieferte unrealistisch hohe Schätzwerte der täglichen Futteraufnahme von ca. 20 kg T.

Es zeigten sich große tierindividuelle Schwankungen, so dass Schätzungen zur Futteraufnahme nur für Gruppen von Tieren und nicht für Einzeltiere vorgenommen werden sollten.

Die anhand der Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe für Gras und Grassilage in beiden Jahren kalkulierten Gehalte der umsetzbaren Energie lagen in einem eher niedrigen Bereich zwischen 9,0 bis 9,7 MJ/kg T. Ein Vergleich mit den mittels Bilanzierung ermittelten Verdaulichkeiten der Trockensubstanz zeigte signifikante Überschätzungen bei der Nutzung der Alkane C27, C29, C31 und C33. Sie scheinen als Verdaulichkeitsmarker ungeeignet zu sein. Die in den Untersuchungen mit weidenden Tieren geschätzten Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe sind demnach in ihrer Korrektheit zu hinterfragen.

Die Schätzung der botanischen Zusammensetzung des aufgenommenen Futters über einen Vergleich der Alkanmuster im Kot mit denen einzelner Pflanzenarten ergab große Differenzen zum tatsächlichen Bestand der Weideflächen. Große Schwankungen der Markerkonzentrationen in den Futterpflanzen werden dafür als primäre Ursache vermutet. Bei der Verwendung von Pansenkapseln sollte die vom Hersteller deklarierte Höhe der täglichen Alkanabgabe als mögliche Fehlerquelle bedacht werden. In Fällen, in denen eine Kalkulation der Markerabgabe nicht möglich ist, ist die vom Hersteller angegebene tägliche Freisetzung unter Berücksichtigung einer nicht vollständigen Wiederfindung eine Möglichkeit, den Fehler zu minimieren.

Weiterhin wurde in der vorliegenden Untersuchung nachgewiesen, dass im Verfahren der Probenaufbereitung die Gefriertrocknung durch eine Trocknung im Ofen bei 65 °C ersetzt werden kann.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich Alkane als Marker zur Schätzung der Futteraufnahme eignen. Die Auswahl der jeweiligen Markeralkane sollte sich an der Höhe der Konzentrationen im Futter und den gemessenen, futterspezifischen Wiederfindungen orientieren. Als Marker zur Schätzung der botanischen Zusammensetzung des aufgenommenen Weidefutters sowie der Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe scheinen Alkane unter den gegebenen Bedingungen nicht geeignet zu sein.



## Summary

In 2004 and 2005, eight experiments with cattle were conducted. The aim was to study intake of grazing cattle as well as selection and digestibility. The suitability of n-alkanes, long-chain hydrocarbons contained in the plant wax layer, as a marker in studies on heterogeneous pasture was studied as well. Alkanes have been suggested and used as a marker for estimating feed intake, diet selection and nutrient digestibility.

Four experiments were carried out indoors to determine digestibility of crude nutrients and faecal recovery of n-alkanes from grass and grass silage. Another four studies were conducted with animals grazing on pasture. All experiments were carried out at the Zentrum für Tierhaltung und Technik of the Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau in Iden. Holstein heifers were used in 2004 and beef cattle yearlings (steers and heifers, mainly Charolais crossbreed) in 2005. The animals were separated, on equal body weight basis, in two herds and were kept on pasture for the entire grazing season. Pasture area was 26 ha and separated into two parts that differed in the level of fertilization via manure.

In the digestibility study five or six heifers were taken from the respective pasture and individually housed in boxes. Fresh grass or grass silage were offered as the only feed. Faeces were quantitatively collected for six consecutive days following an adjustment period. During the experiments on pasture six animals of each herd were chosen. Spot samples of freshly voided faeces were obtained two times daily for seven consecutive days. Pasture was plucked by hand during grazing time in order to obtain a sample that represented the ingested material. In all studies intra-ruminal controlled-release devices (CRD) for cattle were used for dosing the external marker. In an additional study, the n-alkane content of several individual pasture species and its change during the vegetation period was determined. Methodological aspects such as the method of sample drying and the release rate of CRD were also studied.

The n-alkane analysis of the pasture samples in each experiment showed odd-chain alkanes, especially C27 to C33, in relevant concentrations. However, n-alkane concentrations in meadow grass showed a high variability due to differences in plant fractions of individual species and their n-alkane pattern.

The measured faecal recovery of the odd-chain alkanes ranged between 63 and 100%. Individual recoveries were considered in the estimation of feed intake, diet selection and digestibility.

Feed intake measured in the digestibility trials generally agreed well with the intake estimated for the same trials on the basis of n-alkanes. Several n-alkanes led to meaningful estimate of feed intake. Due to alkane concentrations and recoveries, the combination of C29 or C31 with C32 seemed to be the best for estimating intake. Based hereon, estimation of intake of cattle on pasture in the year 2005 ranged from 6.5 to 13.5 kg dry matter per day (1<sup>st</sup> to 3<sup>rd</sup> cut). The experiment conducted in 2004 yielded unrealistically high estimates of nearly 20 kg dry matter intake per day. As a consequence of the high variation between animals it was suggested to estimate feed intake only as an average value for a group of animals rather than individuals.

The metabolisable energy content of fresh grass and grass silage, calculated from digestible crude nutrients, ranged from 9.0 to 9.7 MJ/kg dry matter. A comparison of digestibility values measured in the digestibility trials with those estimated using n-alkanes showed over-estimations if C27, C29, C31 and C33 were used as the marker. Based on these experiments these alkanes do not appear suitable for digestibility studies.

Estimations of the botanical composition of consumed pasture by comparing the alkane pattern of individual plant species and faeces showed great differences to the botanical composition determined directly on pasture. These differences are supposed to be primarily caused by the great variation in alkane concentration of plant species.

If intra-ruminal controlled-release devices are used, it is necessary to consider that the presumed release rate could be a possible source of error in the estimate. If it is not possible to control the release rate denoted by the supplier, an incomplete recovery should be considered to minimise this error. The present studies also showed that during the preparation of samples, freeze drying can be replaced by oven drying at 65° C.

It was concluded that it is of crucial importance to know the specific faecal recovery of n-alkanes if the reliable estimate of feed intake of heterogeneous pasture with n-alkanes as marker is intended. The selection of a particular alkane should be based upon the concentration found in the feed and the specific faecal recovery measured in separate trials. Under present conditions alkanes were not suitable to estimate selective intake of individual plant species on a heterogeneous pasture.

## Referenzen

- AfBN (1991). Leitlinien für die Bestimmung der Verdaulichkeit von Roh Nährstoffen an Wiederkäuern. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 65: 229-234.
- Ali, H. A. M., R. W. Mayes, B. L. Hector, A. K. Verma und E. R. Orskov (2005). The possible use of n-alkanes, long-chain fatty alcohols and long-chain fatty acids as markers in studies of the botanical composition of the diet of free-ranging herbivores. *Journal of Agricultural Science* 143: 85-95.
- Ali, H. A. M., R. W. Mayes, C. S. Lamb, B. L. Hector, A. K. Verma und E. R. Orskov (2004). The potential of long-chain fatty alcohols and long-chain fatty acids as diet composition markers: development of methods for quantitative analysis and faecal recoveries of these compounds in sheep fed mixed diets. *Journal of Agricultural Science* 142: 71-78.
- Baker, R. D. (2004). Estimating herbage intake from animal performance. In: *Herbage Intake Handbook*. P. D. Penning (Ed.), British Grassland Society: 95-120.
- Baker, S. K. und L. Klein (1994). Potential to use n-alkanes in plant cuticular waxes to discriminate plant parts of subteranean clovers eaten. *Animal Production in Australia. Proceedings of the Australian Society of Animal Production* 20: 419.
- Barcia, P., M. N. Bugalho, L. Campagnolo und J. O. Cerdeira (2006). Using n-alkanes to estimate diet composition of herbivores: a novel mathematical approach.
- Béchet, G. und J. Tulliez (1992). Feeding behaviour. *Ann. Zootech.* 41: 85.
- Bento, M. H. L., S. De Rouville, J. L. Gaubert und G. Bechet (1999). The use of n-alkanes as markers to estimate intake in goats grazing mediterranean rangelands in southern france. *Emerging techniques for studying the nutritional status of free-ranging.*
- Bergero, D., N. Miraglia, C. Abba und M. Polidori (2001). Apparent digestibility of Mediterranean forages determined by total collection of faeces and acid-insoluble ash as internal marker. *Livestock Production Science* 85: 235-238.
- Berry, N. R., P. L. Jewell, F. Sutter, P. J. Edwards und M. Kreuzer (2002). Selection, intake and excretion of nutrients by Scottish Highland suckler beef cows and calves, and Brown Swiss dairy cows in contrasting Alpine grazing systems. *Journal of Agricultural Science* 139: 437-453.
- Berry, N. R., M. R. L. Scheeder, F. Sutter, T. F. Körber und M. Kreuzer (2000). The accuracy of intake estimation based on the use of alkane controlled-release capsules and faeces grab sampling in cows. *Annales de Zootechnie* 49: 3-13.

- Boadi, D. A., S. A. Moshtaghi Nia, K. M. Wittenberg und W. P. McCaughey (2002). The n-alkane profile of some native and cultivated forages in Canada. *Canadian Journal of Animal Science* 82(3): 465-469.
- Brosh, A., Z. Henkin, S. J. Rothman, Y. Aharoni, A. Orlov und A. Arieli (2003). Effects of faecal n-alkane recovery in estimates of diet composition. *Journal of Agricultural Science* 140: 93-100.
- Brown, D. (1954). *Methods of surveying and measuring vegetation*. Commonwealth Bur. of Pastures and Field Crops. Bull. 42. Commonwealth Arg. Bur., Farnham Royal, Bucks, England.
- Bugalho, M. N., Dove, H., Kelman, W., Wood, J.T. und Mayes, R.W. (2004). Plant wax alkanes and alcohols as herbivore diet composition markers. *Journal of Range Management* 57: 259-268.
- Bugalho, M. N., R. W. Mayes und J. A. Milne (2002). The effects of feeding selectivity on the estimation of diet composition using the n-alkane technique. *Grass and Forage Science* 57: 224-231.
- Charmley, E., J. L. Duynisveld und H. Dove (2005). Estimating pasture intake by cattle using alkanes and a known amount of supplement. *International Grassland Congress*, Dublin.
- Chen, W., J. M. Scott, G. J. Blair und R. D. B. Lefroy (1999). Using plant cuticular alkanes to study plant-animal interactions on pastures. *Canadian Journal of Animal Science* 79: 553-556.
- Chen, W., Scott, J.M., Blair, G.J., Lefroy, R.D.B., Hutchinson, K., King, K. und Harris, C. (2002). Diet selection and productivity of sheep grazing contrasting pastures. *Australian Journal of Agricultural Research* 53: 529-539.
- Chibnall, A. C., S. H. Piper, A. Pollard, E. F. Williams und P. N. Sahai (1934). The constitution of the primary alcohols, fatty acids and paraffins present in plant and insect waxes. *Biochemical Journal* 28: 2189-2208.
- Clark, C. E. F., W. J. Fulkerson, K. S. Nandra und H. Dove (2004). Estimating pasture intake using n-alkanes and known supplement intake. *Animal Production in Australia* 25: 224.
- Clauss, M., M. Lechner-Doll, E. J. Flach, C. Tack und J.-M. Hatt (2001). Comparative use of four different marker systems for the estimation of digestibility and low food intake in a group of captive giraffes (*giraffa camelopardalis*). *Zoo Biology* 20: 315-329.

- Cortes, C., J. C. Damasceno, J. Jamot und S. Prache (2006). Ewes increases their intake when offered a choice of herbage species at pasture. *Journal of Animal Science* 82: 183-191.
- Dawson, L. A., R. W. Mayes, D. A. Elston und T. S. Smart (2000). Root hydrocarbons as potential markers for determining species composition. *Plant, Cell and Environment* 23: 743-750.
- Dicker, R. W., R. M. Herd, G. J. Lee und V. H. Oddy (1996). Alkanes and controlled release devices for estimating intake of ryegrass by cattle. *Proceedings of the Nutrition Society of Australia* 20: 107.
- Dicker, R. W., Herd, R.M., Lee, G.J., Oddy, V.H. und Ayres, J.F. (1998). Grazing intake by steers backgrounded on three pasture systems. *Animal Production in Australia* 22: 355.
- Dillon, P. und G. Stakelum (1988). The use of n-alkanes and chromic oxide as markers for determining feed intake, faecal output and digestibility in dairy cows. *Proceedings 12th General Meeting of the European Grassland Federation, Dublin*, 154-158.
- Dillon, P. G. (1993). The use of n-alkanes as markers to determine herbage intake, botanical composition of available or consumed herbage and in studies of digesta kinetics with dairy cows. PhD-thesis. National University of Ireland. Dublin.
- Dove, H. (1992). Using the n-alkanes of plant cuticular wax to estimate the species composition of herbage mixtures. *Australian Journal of Agricultural Research* 43: 1711-1724.
- Dove, H. (1993). Advances in the estimation of intake and diet selection in the grazing animal. In: *Recent Advances in Animal Nutrition in Australia*. D. J. Farrell (Ed.). Armindale, University of New England: 34-44.
- Dove, H., Charmley, E. und Kleven, K.V. (2003). Using n-alkanes to estimate intakes of mixed forages by feeding known amount of a alkane-labelled supplement. *Canadian Journal of Animal Science* 83: 641-642.
- Dove, H., M. Freer und J. Z. Foot (1988). Alkane capsules for measuring pasture intake. *Proceedings of the Nutrition Society of Australia* 13: 131.
- Dove, H., Freer, M. und Foot, J.Z. (2000). The nutrition of grazing ewes during pregnancy and lactation: a comparison of alkane-based and chromium/in vitro-based estimates of herbage intake. *Australian Journal of Agricultural Research* 51: 765-777.

- Dove, H., Freer, M. und Moore, A.D. (1993). Using plant wax alkanes to estimate diet selection in sheep. In: *Recent Advances in Animal Nutrition in Australia*. D. J. Farrell (Ed.). Armindale, University of New England: 5A.
- Dove, H. und R. W. Mayes (1991). The use of plant wax alkanes as marker substances in studies of the nutrition of herbivores: a review. *Australian Journal of Agricultural Research* 42: 913-952.
- Dove, H. und R. W. Mayes (1996). Plant wax components: a new approach to estimating intake and diet composition in herbivores. *Journal of Nutrition* 126: 12-26.
- Dove, H. und R. W. Mayes (1999). Developments in the use of plant wax markers for estimating diet selection in herbivores. In: *In Emerging Techniques for Studying the Nutritional Status of Free-ranging Herbivores*. Satellite Meeting of the 5th International Symposium on the Nutrition of Herbivores. H. D. u. S. W. Coleman (Ed.). San Antonio, Texas.
- Dove, H. und R. W. Mayes (2005). Using n-alkanes and other plant wax components to estimate intake, digestibility and diet composition of grazing/browsing sheep and goats. *Small Ruminant Research* 59: 123-139.
- Dove, H., R. W. Mayes und M. Freer (1996). Effects of species, plant part, and plant age on the n-alkane concentrations in the cuticular wax of pasture plants. *Australian Journal of Agricultural Research* 47: 1333-1347.
- Dove, H., R. W. Mayes, M. Freer, J. B. Coombe und J. Z. Foot (1989). Faecal recoveries of the alkanes of plant cuticular waxes in penned and in grazing sheep. XVI International Grassland Congress, Nice, France.
- Dove, H., R. W. Mayes, C. S. Lamb und K. J. Ellis (2002). Factors influencing the release rate of alkanes from an intra-ruminal, controlled-release device, and the resultant accuracy of intake estimation in sheep. *Australian Journal of Agricultural Research* 53: 681-696.
- Dove, H., Milne, J.A. und Mayes, R.W. (1990). Comparison of herbage intakes estimated from in vitro or alkane-based digestibilities. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 50: 452-454.
- Dove, H. und A. D. Moore (1995). Using a least-squares optimization procedure to estimate botanical composition based on the alkanes of plant cuticular wax. *Australian Journal of Agricultural Research* 46: 1535-1544.
- Dove, H. und M. Oliván (1998). Using synthetic or beeswax alkanes for estimating supplement intake in sheep. *Animal Production in Australia* 22: 189-192.

- Dove, H., Scharch, C., Oliván, M. und Mayes, R.W. (2002). Using n-alkanes and known supplement intake to estimate roughage intake in sheep. *Animal Production in Australia* 24: 57-60.
- Dove, H., J. T. Wood, R. J. Simpson, B. J. Leury, T. A. Ciavarella, K. L. Gatford und C. Siever-Kelly (1999). Spray-topping annual grass pasture with glyphosate to delay loss of feeding value during summer. III. Quantitative basis of the alkane -based procedures for estimating diet selection and herbage intake by grazing sheep. *Australian Journal of Agricultural Research* 50: 475-485.
- Duncan, A. J., R. W. Mayes, C. S. Lamb, S. A. Young und I. Castillo (1999). The use of naturally occurring and artificially applied n-alkanes as markers for estimation of short-term diet composition and intake in sheep. *Journal of Agricultural Science* 132: 233-246.
- Elwert, C. (2004). Studies on the use of alkanes to estimate diet composition, intake and digestibility in sheep. Dissertation. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Halle/Saale.
- Elwert, C. und H. Dove (2005). Estimation of roughage intake in sheep using a known daily intake of a labelled supplement. *Animal Science* 81: 47-56.
- Elwert, C., H. Kluth und M. Rodehutschord (2004). Effect of variable intake of alfalfa and wheat on faecal alkane recoveries and estimates of roughage intake in sheep. *Journal of Agricultural Science* 142: 213-223.
- Elwert, C. und M. Rodehutschord (2004). Notes on the use of beeswax as a source of alkanes for the alkane technique. *Grassland Science in Europe* 9.
- Erizian, E. (1932). Eine neue Methode zur Bestimmung der vom Vieh gefressenen Menge Weidefutters. *Zeitschrift für Tierzucht und Züchtungsbiologie* 25(B): 443-459.
- Estermann, B. L., H.-R. Wettstein, F. Sutter und M. Kreuzer (2001). Nutrient and energy conversion of grass-fed dairy and suckler beef cattle kept indoors and on high altitude pasture. *Animal Research* 50: 477-493.
- Faichney, G. J. (1975). The use of markers to partition digestion within the gastrointestinal tract of ruminants. In: *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism*. J. M. Forbes und J. France (Ed.). Wallingford, CAB International.
- Ferreira, L. M. M., M. Oliván, R. Celaya, U. Garcia, M. A. M. Rodrigues und K. Osoro (2007). The use of the alkane technique to estimate diet selection of sheep grazing grass-clover/haether-gorse vegetation communities. *Journal of the Science of Food and Agricultural* 87: 274-285.

- Ferreira, L. M. M., M. Oliván, U. Garcia, M. A. M. Rodrigues und K. Osoro (2005). Validation of the alkane technique to estimate diet selection of goats grazing heather-gorse vegetation communities. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85: 1636-1646.
- Ferreira, L. M. M., M. Oliván, M. A. M. Rodrigues, K. Osoro, H. Dove und A. Dias-Da-Silva (2004). Estimation of feed intake by cattle using controlled-release capsules containing n-alkanes or chromium sesquioxide. *Journal of Agricultural Science* 142: 225-234.
- Forbes, T. D. A. und M. M. Beattie (1987). Comparative studies of ingestive behaviour and diet composition in oesophageal-fistulated and non-fistulated cows and sheep. *Grass and Forage Science* 42: 79-84.
- Frame, J. (1993). Herbage mass. In: *Sward Measurement Handbook*. A. Davies, R. D. Baker, S. A. Grant und A. S. Laidlaw (Ed.), British Grassland Society: 39-67.
- Friend, M. A., D. Nash und A. Avery (2004). Intake of improved an unimproved pastures in two seasons by grazing weanling horses. *Animal Production in Australia* 25: 61-64.
- Fushai, F. M. (2006). Estimates of intake and digestibility using n-alkanes in yearling Holstein-Frisian and Hereford heifers grazing kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) pasture. *Animal Feed Science and Technology* 128: 331-336.
- García, S. C., C. W. Holmes, J. Hodgson und A. Macdonald (2000). The combination of the n-alkanes and <sup>13</sup>C techniques to estimate individual dry matter intakes of herbage and maize silage by grazing dairy cows. *Journal of Agricultural Science* 135: 47-55.
- Gedir, J. V. und R. J. Hudson (2000). Estimating dry matter digestibility and intake in wapiti (*cervus elaphus canadensis*) using the double n-alkane ratio technique. *Small Ruminant Research* 36: 57-62.
- Gedir, J. V. und R. J. Hudson (2000). Seasonal intake determination in reproductive wapiti hinds (*cervus elephus canadensis*) using n-alkane markers. *Canadian Journal of Animal Science* 80: 137-144.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (2001). *Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchrinder*. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Giráldez, F. J., C. S. Lamb, S. López und R. W. Mayes (2004). Effects of carrier matrix and dosing frequency on digestive kinetics of even-chain alkanes and implications

- on herbage intake and rate of passage studies. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84: 1562-1570.
- Grace, N. D. und D. R. Body (1981). The possible use of long chain (C19-C32) fatty acids in herbage as an indigestible faecal marker. *Journal of Agricultural Science* 97: 743-745.
- Gudmundsson, O. und K. Halldorsdottir (1995). The use of n-alkanes as markers for determination of intake and digestibility of fish feed. *Journal of Applied Ichthyology* 11: 354-358.
- Hameleers, A. und R. W. Mayes (1998). The use of n-alkanes to estimate herbage intake and diet composition by dairy cows offered a perennial ryegrass/white clover mixture. *Grass and Forage Science* 53: 164-169.
- Hameleers, A. und R. W. Mayes (1998). The use of n-alkanes to estimate supplementary grass silage intake in grazing dairy cows. *Journal of Agricultural Science* 131: 205-209.
- Hatt, J. M., R. W. Mayes, M. Clauss und M. Lechner-Doll (2001). Use of artificially applied n-alkanes as markers for the estimation of digestibility, food selection and intake in pigeons (*Columba livia*). *Animal Feed Science and Technology* 94: 65-76.
- Hendricksen, R. E., C. Gazzola, M. M. Reich, R. F. Robertson, D. J. Reid und R. A. Hill (2003). Using molasses as an alternative to controlled release devices for administering n-alkane markers to cattle. *Animal Science* 76: 471-480.
- Hendricksen, R. E., M. M. Reich, R. F. Robertson, D. J. Reid, C. Gazzola, J. A. Rideout und R. A. Hill (2002). Estimating the voluntary intake and digestibility of buffel-grass and lucerne hays offered to Brahman-cross cattle using n-alkanes. *Animal Science* 74: 567-577.
- Herd, R. M., E. C. Richardson, R. S. Hegarty, R. Woodgate, J. A. Archer und P. F. Arthur (1998). Pasture intake by high versus low net feed efficient angus cows. *Animal Production in Australia. Proceedings of the Australian Society of Animal Production* 22: 137-140.
- Herd, R. M., T. M. J. Williams, R. Woodgate, K. J. Ellis und V. H. Oddy (1996). Using alkane technology to measure intake of a barley diet by cattle. *Proceedings of the Nutrition Society of Australia* 20.
- Hodgson, J. (2004). Measurements of herbage intake and ingestive behaviour in grazing animals: an introduction. In: *Herbage Intake Handbook*. P. D. Penning (Ed.), British Grassland Society: 15-21.

- Hoebee, S. E., H. Dove und D. I. Officer (1998). Using plant wax alkanes to estimate the species composition of sub-tropical grass mixtures. *Animal Production in Australia* 22: 364.
- Holechek, J. L., M. Vavra und R. D. Pieper (1982). Botanical composition Ddetermination of range herbivore diets: a review. *Journal of Range Management* 35: 309-315.
- Hulbert, I. A. R., G. R. Iason und R. W. Mayes (2001). The flexibility of an intermediate feeder: dietary selection by moutain hares measured using faecal n-alkanes. *Oecologia* 129: 197-205.
- Jeffree, C. E. (1986). The cuticle, epicuticular waxes and trichomes of plants, with reference to their structure, functions and evolution. In: *Insects and the plant surface*. B. Juniper und T. R. E. Southwood (Ed.). London, Edward Arnold: 23-64.
- Jenks, M. A. und E. N. Ashworth (1999). Plant Epicuticular Waxes: Function, Production, and Genetics. *Horticultural Reviews* 23: 1-68.
- Kelman, W., M. Bugalho und H. Dove (2003). Cuticular wax alkanes and alcohols used as markers to estimate diet composition of sheep. *Biochemical Systematics and Ecology* 31: 919-927.
- Kotb, A. R. und T. D. Luckey (1972). Markers in nutrition. *Nutrition Abstracts and Reviews* 42: 813-845.
- Kunst, L. und A. L. Samuels (2003). Biosynthesis and secretion of plant cuticular wax. *Progress in Lipid Research* 42: 51-80.
- Lantinga, E. A., J. H. Neuteboom und J. A. C. Meijs (2004). Sward methods. In: *Herbage Intake Handbook*. P. D. Penning (Ed.), British Grassland Society: 23-52.
- Laredo, M. A., G. D. Simpson, D. J. Minson und C. G. Orpin (1991). The potential for using n-alkanes in tropical forages as a marker for the determination of dry matter by grazing ruminants. *Journal of Agricultural Science* 117: 355-361.
- Lee, G. J. (2004). Comparison of physical separation and alkane concentrations to estimate the species composition of herbage samples from a pastoral environment. *Animal Production in Australia* 25: 116-119.
- Lee, G. J. und C. M. MacGregor (2004). Comparison of a microhistological analysis of faeces and alkane concentrations of faeces to estimate the botanical composition of the diet of grazing sheep. *Animal Production in Australia* 25: 108-111.
- Lee, G. J. und J. V. Nolan (2003). Sources of variation in n-alkane concentrations in the cuticular wax of two species of pasture plants. *Australian Journal of Agricultural Research* 54: 21-26.

- Lewis, R. M., A. M. Magadlela, N. S. Jessop und G. C. Emmans (2003). The ability of the n-alkane technique to estimate intake and diet choice of sheep. *Animal Science* 77: 319-327.
- Lin, L.-J., H.-L. Luo, Y.-J. Zhang und B. Shu (2006). The effects, in sheep, of dietary plant species and animal live weight on the faecal recovery rates of alkanes and the accuracy of intake and diet composition estimates obtained using alkanes as faecal markers. *Journal of Agricultural Science*: 1-8.
- Lin, L., G. Liu und Y. Zhang (2006). Study of the n-alkane patterns of five dominant forage species of the typical steppe grassland in Inner Mongolia of China. *Journal of Agricultural Science* 144: 159-164.
- Lippke, H. (2002). Estimation of forage intake by ruminants on pasture. *Crop Science* 42: 869-872.
- Malossini, F., S. Bovolenta, E. Piasentier, C. Piras und F. Martillotti (1996). Comparison of n-alkanes and chromium oxide methodes for estimating herbage intake by grazing dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 61: 155-165.
- Malossini, F., S. Bovolenta, E. Piasentier und M. Valentinotti (1994). Variability of n-alkane content in a natural pasture and in faeces of grazing dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 50: 113-122.
- Malossini, F., S. Bovolenta, C. Piras und W. Ventura (1995). Effect of concentrate supplementation on herbage intake and milk yield of dairy cows grazing an alpine pasture. *Livestock Production Science* 43: 119-128.
- Malossini, F., Piasentier, E. und Bovolenta, S. (1990). n-alkane content of some forages. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 53: 405-409.
- Marais, J. P. (2000). Use of markers. In: *Farm Animal Metabolism and Nutrition*. J. P. F. D'Mello (Ed.). Edinburg, CAB International: 255-278.
- Marais, J. P., D. L. Figenschou, P. L. Escott-Watson und L. N. Webber (1996). Administration in suspension-form of n-alkane external markers for dry matter intake and diet selection studies. *Journal of Agricultural Science* 126: 207-210.
- Martins, H., D. A. Elston, R. W. Mayes und J. A. Milne (2002). Assessment of the use of n-alkanes as markers to describe the complex diets of herbivores. *Journal of Agricultural Science* 138: 425-434.
- Mayes, R. W. (1999). The potential of plant-wax compounds as markers for diet digestion and utilization in free-ranging herbivores. In: *Nutritional ecology of herbivores. Satellite symposium: Emerging techniques for studying the nutritional status of free-ranging herbivores*. Dove, H., Coleman, S.W. (Ed.). San Antonio. (CD-ROM).

- Mayes, R. W., N. A. Beresford, C. S. Lamb, C. L. Barnett, B. J. Howard, B.-E. V. Jones, O. Eriksson, K. Hove, O. Pedersen und B. W. Staines (1994). Novel approaches to the estimation of intake and bioavailability of radiocaesium in ruminants grazing forested areas. *The Science of the Total Environment* 157: 289-300.
- Mayes, R. W. und H. Dove (2000). Measurement of dietary nutrient intake in free-ranging mammalian herbivores. *Nutrition Research Reviews* 13: 107-138.
- Mayes, R. W. und A. J. Duncan (1999). New Developments in the use of plant-wax markers to determine intake. In: *Nutritional ecology of herbivores. Satellite symposium: Emerging techniques for studying the nutritional status of free-ranging herbivores.* Dove, H. und Coleman, S. W. (Ed.). San Antonio. (CD-ROM).
- Mayes, R. W. und C. S. Lamb (1984). The possible use of n-alkanes in herbage as indigestible faecal markers. *Proceedings of the Nutrition Society* 43: 39A.
- Mayes, R. W., C. S. Lamb und P. M. Colgrove (1986). Determination of herbage intake of sucking lambs using long-chain n-alkanes as markers. *British Society of Animal Production* 42: 457.
- Mayes, R. W., C. S. Lamb und P. M. Colgrove (1986). The use of dosed and herbage n-alkanes as markers for the determination of herbage intake. *Journal of Agricultural Science* 107: 161-170.
- Mayes, R. W., Lamb, C.S. und Colgrove, P.M. (1988). Digestion and metabolism of dosed even-chain and herbage odd-chain n-alkanes in sheep, Dublin, Ireland, July 4-7, 1988.
- Mayes, R. W., I. A. Wright, C. S. Lamb und A. McBean (1986). The use of long-chain n-alkanes as markers for estimating intake and digestibility of herbage in cattle. *Animal Production* 42: 457.
- McInnis, M. L., M. Vavra und W. C. Krueger (1983). A comparison of four methods used to determine the diets of large herbivores. *Journal of Range Management* 36: 302-306.
- McLennan, S. R. (1999). New techniques for estimating supplement intake by grazing herbivores. In: *Nutritional ecology of herbivores. Satellite symposium: Emerging techniques for studying the nutritional status of free-ranging herbivores.* Dove, H. und Coleman, S. W. (Ed.). San Antonio. (CD-ROM).
- Mitsch, U., M. Bulang, C. Elwert, S. Schäfer und H. H. Swalve (2006). Zur Nutzung von n-Alkanen für die Schätzung der von Rindern auf extensiv bewirtschaftetem

- Grünland selektierten Pflanzen-Artengruppen. Vortragstagung der DGfZ und GfT, Hannover.
- Molina, D. O., I. Matamoros und A. N. Pell (2004). Accuracy of estimates of herbage intake of lactating cows using alkanes: comparison of two types of capsules. *Animal Feed Science and Technology* 114: 241-260.
- Momont, P. A., R. J. Pruitt, R. J. Emerick und R. H. Pritchard (1994). Controlled release chromic oxide and alkaline peroxide lignin marker methods. *Journal of Range Management* 47: 417-423.
- Monks, A., I. Payton und M. Efford (2005). Validation of the n-alkane technique for estimating diet composition, digestibility and dry matter intake in the brushtail possum (*Trichosurus vulpecula*). *Wildlife Research* 32: 321-331.
- Moshtaghi Nia, S. A. und K. M. Wittenberg (2002). Evaluation of n-alkanes as markers for estimation of dry matter intake and digestibility in steers consuming all-forage or forage-concentrate diets. *Canadian Journal of Animal Science* 82: 419-425.
- Naumann, C. und R. Bassler (1976). *VDLUFA-Methodenbuch, Vol. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln*. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Naumann, C. und R. Bassler (1988). 2. Ergänzungslieferung in *VDLUFA-Methodenbuch, Vol. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln*. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Naumann, C. und R. Bassler (1993). 3. Ergänzungslieferung in *VDLUFA-Methodenbuch, Vol. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln*. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Newman, J. A., W. A. Thompson, P. D. Penning und R. W. Mayes (1995). Least-squares estimation of diet composition from n-alkanes in herbage and faeces using matrix mathematics. *Australian Journal of Agricultural Research* 46: 793-805.
- Nielsen, B., S. M. Thamsborg, H. R. Andersen und T. Kristensen (2003). Effect of winter feeding level and season on herbage intake in dairy breed steers on perennial ryegrass/white clover pasture. *British Society of Animal Science* 76: 341-352.
- Nielsen, B., S. M. Thamsborg, H. R. Andersen und T. Kristensen (2004). Herbage intake in danish jersey and danish holstein steers on perennial ryegrass/white clover pasture. *Livestock Production Science* 86: 261-267.
- O'Keefe, N. M. und N. P. McMeniman (1998). The recovery of natural and dosed n-alkanes from the horse. *Animal Production in Australia* 22: 337.

- Ohajuruka, O. A. und D. L. Palmquist (1991). Evaluation of n-alkanes as digesta markers in dairy cows. *Journal of Animal Science* 69: 1726-1732.
- Oliván, M., H. Dove, R. W. Mayes und S. E. Hoebee (1999). Recent developments in the use of alkanes and other plant wax components to estimate intake and diet composition in herbivores. *Revista Portuguesa de Zootecnia* 6: 1-26.
- Oliván, M., L. M. M. Ferreira, R. Celaya und K. Osoro (2007). Accuracy of the n-alkane technique for intake estimates in beef cattle using different sampling procedures and feeding levels. *Livestock Production Science* 106: 28-40.
- Oliván, M. und K. Osoro (1995). The effect of drying treatment on the n-alkane analysis. *Annales de Zootechnie* 44: 238.
- Oliván, M. und K. Osoro (1995). The use of n-alkanes for estimating feed intake in beef cows. *Annales de Zootechnie* 44: 239.
- Oliván, M. und K. Osoro (1999). Effect of temperature on alkane extraction from faeces and herbage. *Journal of Agricultural Science* 132: 305-312.
- Ordankowski, A. L., D. S. Kronfeld, J. L. Holland, B. J. Hargreaves, L. S. Gay, P. A. Harris, H. Dove und D. Sklan (2001). Alkanes as internal markers to estimate digestibility of hay or hay plus concentrate diets in horses. *Journal of Animal Science* 79: 1516-1522.
- Oró, J., D. W. Nooner und S. A. Wikström (1965). Paraffinic hydrocarbons in pasture plants. *Science* 147: 870-873.
- Owens, F. N. und C. F. Hanson (1992). External and internal markers for appraising site and extent of digestion in ruminants. *Journal of Dairy Science* 75: 2605-2617.
- Peiretti, P. G., G. Meineri, N. Miraglia, M. Mucciarelli und D. Bergero (2006). Intake and apparent digestibility of hay plus concentrate diets determined in horses by the total collection of feces and n-alkanes as internal markers. *Livestock Production Science* 100: 189-194.
- Penning, P. D. (2004). Animal-based techniques for estimating herbage intake. In: *Herbage Intake Handbook*. P. D. Penning (Ed.), British Grassland Society: 53-93.
- Piasentier, E., S. Bovolenta und F. Malossini (2000). The n-alkane concentrations in buds and leaves of browsed broadleaf trees. *Journal of Agricultural Science* 135: 311-320.
- Piasentier, E., S. Bovolenta, F. Malossini und P. Sumsel (1995). Comparison of n-alkanes or chromium oxide methods for estimation of herbage intake by sheep. *Small Ruminant Research* 18: 27-32.

- Reeves, M., W. J. Fulkerson, R. C. Kellaway und H. Dove (1996). A comparison of three techniques to determine the herbage intake of dairy cows grazing kikuyu (*pennisetum clandestinum*) pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 36: 23-30.
- Rivera Ferre, M. G., S. A. Edwards, R. W. Mayes, I. Riddoch und F. D. D. Hovell (1999). Estimation of voluntary intake and digestibility of grass by outdoor sows using the n-alkanes technique. *Proceedings of the British Society of Animal Science*: 26.
- Rivera Ferre, M. G., S. A. Edwards, R. W. Mayes, I. Riddoch und F. D. D. Hovell (2001). The effect of season and level of concentrate on the voluntary intake and digestibility of herbage by outdoor sows. *Animal Science* 72: 501-510.
- Roumet, C., C. Picon-Cochard, L. A. Dawson, R. Joffre, R. Mayes, A. Blanchard und M. J. Brewer (2006). Quantifying species composition in root mixtures using two methods: near-infrared reflectance spectroscopy and plant wax markers. *New Phytologist* 170: 631-638.
- Ru, Y. J., Z. H. Miao, P. C. Glatz und M. Choct (2002). Predicting feed intake of fallow deer (*dama dama*) using alkanes as a marker. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 15: 209-212.
- Salt, C. A., R. W. Mayes, P. M. Colgrove und C. S. Lamb (1994). The effect of season and diet composition on the radiocaesium intake by sheep grazing on heather moorland. *Journal of Applied Ecology* 31: 125-136.
- Sandberg, R. E., D. C. Adams, T. J. Klopfenstein und R. J. Grant (2000). N-alkane as an internal marker for predicting digestibility of forages. *Journal of Range Management* 53: 159-163.
- Scaglia, G., H. T. Boland, I. Lopet-Guerrero, R. K. Shanklin und J. P. Fontenot (2005). Use of alkanes to estimate dry matter intake of beef steers grazing high quality pastures. In: *Utilisation of grazed grass in temperate animal systems*. J. Murphy (Ed.): 250.
- Scharch, C. P. und H. Dove (2002). Effects of different proportions of supplement in the diet on the faecal recoveries of n-alkanes. *Grassland Science in Europe*.
- Scharch, C. P., H. Dove und Rodehutschord (2002). Comparison of drying treatments in sample preparation for alkane analysis. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology* 11: 150.
- Sehested, J., K. K. Breinhild, K. Soegaard, L. Vogensen, H. H. Hansen, J. A. Fernández, V. Danielsen und V. F. Kristensen (1999). Use of n-alkanes to estimate grass intake

- and digestibility in sows. In: Nutritional ecology of herbivores. Satellite symposium: Emerging techniques for studying the nutritional status of free-ranging herbivores. Dove, H. und Coleman, S. W. (Ed.). San Antonio. (CD-ROM).
- Sibbald, A. M., G. C. Davidson und R. W. Mayes (2000). Effect of dosing regime on intake estimation using the n-alkane technique in sheep fed pelleted grass meal. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80: 1206-1210.
- Smit, H. J., H. Z. Taweel, B. M. Tas und S. E. Tamminga (2005). Comparison of techniques for estimating herbage intake of grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science* 88: 1827-1836.
- Smith, D. G., R. W. Mayes und J. G. Raats (2001). Effect of species, plant part and season of harvest on n-alkane concentration in the cuticular wax of common rangeland grasses from southern africa. *Australian Journal of Agricultural Research* 52: 875-882.
- Sparks, D. R. und J. C. Malechek (1968). Estimating percentage dry weight in diets using a microscopic technique. *Journal of Range Management* 21: 264-265.
- Sprinkle, J. E., D. D. Kress, D. E. Doornbos, D. C. Anderson, M. W. Tess, B. E. Ansotegui, B. E. Olson und N. J. Roth (1995). Chromic oxide contamination of pasture previously used in marker studies. *Journal of Range Management* 48: 194-197.
- Stevens, D. M., J. B. J. Van Ryssen und J. P. Marais (2002). The use of n-alkane markers to estimate the intake and apparent digestibility of ryegrass and kikuyu by horses. *South African Society for Animal Science* 32: 50-56.
- Sunvold, G. D. und R. C. Cochran (1991). Evaluation of acid detergent lignin, alkaline peroxide lignin, acid insoluble ash, and indigestible acid detergent fiber as internal markers for prediction of alfalfa, bromegrass, and prairie hay digestibility by beef steers. *Journal of Agricultural Science* 69: 4951-4955.
- Tieszen, L. L., D. Hein, S. A. Qvortrup, J. H. Troughton und S. K. Imbamba (1979). Use of  $\delta^{13}C$  values to determine vegetation selectivity in east african herbivores. *Oecologia* 37: 351-359.
- Tulloch, A. P. (1976). Chemistry of waxes of higher plants. In: Chemistry and biochemistry of natural waxes. P. E. Kolattukudy (Ed.). Amsterdam, Elsevier: 235-287.

- Unal, Y. und P. C. Garnsworthy (1999). Estimation of intake and digestibility of forage-based diets in group-fed dairy cows using alkanes as markers. *Journal of Agricultural Science* 133: 419-425.
- Valiente, O. L., P. Delgado, A. De Vega und J. A. Guada (2003). Validation of the n-alkane technique to estimate intake, digestibility, and diet composition in sheep consuming mixed grain: roughage diets. *Australian Journal of Agricultural Research* 54: 693-702.
- Van Dyne, G. M. und D. T. Torell (1964). Development and use of the esophageal fistula: a review. *Journal of Range Management* 17: 7-19.
- Van Soest, P. F., 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. 2. A rapid method for the determination of fibre and lignin. *Journal of the Association of Official Agricultural Chemists*. 46, 829-835.
- Voleski, J. D. und S. W. Coleman (1996). Estimation of botanical composition of esophageal extrusa samples using near infrared reflectance spectroscopy. *Journal of Range Management* 49: 163-166.
- Vulich, S. A. und J. P. Hanrahan (1995). Faecal sampling for the estimation of herbage intake using n-alkanes: evaluation of sample pooling and the use of rectal grab samples. *Journal of Agricultural Science* 124: 79-86.
- Vulich, S. A., J. P. Hanrahan und B. A. Crowley (1995). Modification of the analytical procedures for the determination of herbage and faecal n-alkanes used in the estimation of herbage intake. *Journal of Agricultural Science* 124: 71-77.
- Vulich, S. A., J. P. Hanrahan und E. G. O'Riordan (1993). Pasture Sampling for the estimation of herbage intake using n-alkanes: evaluation of alternative sampling procedures. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* 32: 1-11.
- Vulich, S. A., E. G. O'Riordan und J. P. Hanrahan (1991). Use of n-alkanes for the estimation of herbage intake in sheep: accuracy and precision of the estimates. *Journal of Agricultural Science* 116: 319-323.
- Walker, J. W., E. S. Campbell, C. J. Lupton, C. A. Taylor Jr., D. F. Waldron und S. Y. Landau (2007). Effects of breed, sex and age on the variation and ability of fecal near-infrared reflectance spectra to predict the composition of goat diets. *Journal of Animal Science* 85: 518-526.
- Wilson, H., A. G. Sinclair, F. D. D. Hovell, R. W. Mayes und S. A. Edwards (1999). Validation of the n-alkane technique for measuring herbage intake in sows. *Proceedings of the British Society of Animal Science*: 177.
- Zhang, Y., Y. Togamura und K. Otsuki (2004). Study on the n-alkane patterns in some grasses and factors affecting the n-alkane patterns. *Journal of Agricultural Science* 142: 469-475.



**Tabellenanhang**

Tabelle A-1: Artenzusammensetzung der genutzten Weideflächen im Frühjahr 2004

Fläche	Variante	Versuch	Aufwuchs	Pflanzenspezies	Anteil (%)
K4	b	B04/II (Grassilage)	1	Phleum pratense	38
				Lolium perenne	30
				Poa pratensis	9
				Taraxacum officinale	8
				Trifolium repens	3
				Festuca pratensis	2
				Capsella bursa-pastoris, Lamium purpureum, Stellaria media	10
K5	a	FA04/I	4	Lolium perenne	49
				Dactylis glomerata	13
				Trifolium repens	11
				Phleum pratense	8
				Festuca pratensis	6
				Taraxacum officinale	6
				Agropyron repens	3
				Poa pratensis	2
				Poa trivialis	1
				Rumex obtusifolius, Cirsium arvense	1
6re	b	FA04/I	4	Alopecurus pratensis	30
				Agrostis stolonifera	23
				Poa trivialis	15
				Alopecurus geniculatus	7
				Phalaris arundinacea	7
				Ranunculus repens	5
				Agropyron repens	5
				Taraxacum officinale	3
				Deschampsia cespitosa	2
				Plantago major	1
				Carex species, Trifolium repens	2
				K8	a
Deschampsia cespitosa	11				
Lolium perenne	8				
Alopecurus pratensis	8				
Taraxacum officinale	6				
Ranunculus repens	5				
Festuca pratensis	5				
Poa trivialis	4				
Agropyron repens	4				
Cardamine pratensis	1				
Cerastium arvense, Plantago major, Ranunculus auricomus, Glechoma hederacea, Rumex crispus, Stellaria media, Trifolium repens	10				

Tabelle A-2: Artenzusammensetzung der genutzten Weideflächen im Frühjahr 2005

Fläche	Variante	Versuch	Aufwuchs	Pflanzenspezies	Anteil (%)
K1/2	a	FA05/I B05/II (Grassilage)	1	Lolium perenne	43
				Trifolium repens	24
				Taraxacum officinale	16
				Poa pratensis	8
				Dactylis glomerata	4
				Festuca pratensis	2
				Phleum pratense	2
				Trifolium pratense, Achillea millefolium	1
		FA05/II-III B05/I	2-3	Lolium perenne	53
				Trifolium repens	26
				Poa pratensis	6
				Taraxacum officinale	6
				Festuca pratensis	5
				Phleum pratense, Dactylis glomerata, Achillea millefolium, Plantago lanceolata, Leontodon autumnalis	4
K3/4	b	FA05/I B05/II (Grassilage)	1	Lolium perenne	37
				Trifolium repens	26
				Taraxacum officinale	17
				Poa pratensis	9
				Dactylis glomerata	6
				Phleum pratense	3
				Festuca pratensis	2
				Achillea millefoillum	1
		FA05/II-III B05/I	2-3	Lolium perenne	49
				Trifolium repens	31
				Poa pratensis	7
				Taraxacum officinale	5
				Dactylis glomerata	4
				Festuca pratensis Phleum pratense	3 1

Tabelle A-3: Einzelheiten zu den Versuchstieren der Jahre 2004 und 2005

Versuch	Tier	Herde	Geschlecht	Nummer der Ohrmarke	Lebendmasse (kg)			
					Versuchsbeginn	Versuchsende		
2004								
B04/I	A	a	♀	53022	571	527		
	B		♀	53100	548	513		
	C		♀	53105	493	474		
	D		♀	53109	520	496		
	E		♀	53114	508	481		
	F		♀	53119	554	521		
B04/II	A	b	♀	53022	592	600		
	B		♀	53099	568	575		
	C		♀	53100	580	605		
	D		♀	53111	549	553		
	E		♀	53146	498	515		
FA04/I	A	a	♀	53126	482	n.e.		
	B		♀	53132	487	n.e.		
	C		♀	53135	477	n.e.		
	D		♀	53139	506	n.e.		
	E		♀	53147	483	n.e.		
	F		♀	53151	524	n.e.		
	A	b	♀	53086	620	n.e.		
	B		♀	53116	488	n.e.		
	C		♀	53129	495	n.e.		
	D		♀	53136	507	n.e.		
	E		♀	53140	523	n.e.		
	F		♀	53113	610	n.e.		
	2005							
	B05/I		A	a	♀	63479	542	525
B		♀	63520		503	500		
C		♀	63542		542	528		
D		b	♀	63451	497	498		
E			♀	63482	526	522		
F			♀	63526	532	497		
B05/II	A	a	♀	63479	590	585		
	B		♀	63520	552	555		
	C		♀	63542	594	582		
	D	b	♀	63451	538	550		
	E		♀	63482	581	587		
	F		♀	63502	535	518		
FA05/I	A	a	♀	63457	540	n.e.		
	B		♀	63499	516	n.e.		
	C		♀	63504	571	n.e.		
	D		♂	63444	420	n.e.		

♀ = weiblich, ♂ = männlich, n.e. = nicht ermittelt

Fortsetzung Tabelle A-3

Versuch	Tier	Herde	Geschlecht	Nummer der Ohrmarke	Lebendmasse (kg)			
					Versuchsbeginn	Versuchsende		
FA05/I	E	a	♂	63514	485	n.e.		
	F		♂	63524	504	n.e.		
FA05/I	A	b	♂	63536	537	n.e.		
	B		♀	63488	513	n.e.		
	C		♀	63523	569	n.e.		
	D		♀	63510	550	n.e.		
	E		♂	62123	412	n.e.		
	F		♂	63516	501	n.e.		
	FA05/II		A	a	♀	63494	568	n.e.
B		♂	62095		508	n.e.		
C		♂	23750		521	n.e.		
D		♀	63509		505	n.e.		
E		♂	62122		539	n.e.		
F		♂	62129		491	n.e.		
A		b	♀	63434	552	n.e.		
B			♀	63503	576	n.e.		
C			♂	62094	460	n.e.		
D			♂	49938	451	n.e.		
E			♂	49980	482	n.e.		
F			♂	62121	529	n.e.		
FA05/III			A	a	♂	63444	530	n.e.
			B		♂	63514	585	n.e.
	C	♂	63524		603	n.e.		
	D	♂	62095		548	n.e.		
	E	♂	62122		597	n.e.		
	F	♂	62129		551	n.e.		
	A	b	♂	63516	593	n.e.		
	B		♂	62094	526	n.e.		
	C		♂	62121	581	n.e.		
	D		♂	62123	520	n.e.		
	E		♂	49938	510	n.e.		
	F		♂	49980	540	n.e.		

♀ = weiblich, ♂ = männlich, n.e. = nicht ermittelt

Tabelle A-4: Deklarierte Zusammensetzung der Mineral-Lecksteine

Zusammensetzung	Inhaltsstoffe in %	Zusatzstoffe in mg/kg
Natriumchlorid	Natrium 37	Mangan 1000
Calcium-Magnesiumcarbonat	Calcium 2	Zink 1000
Spurenelementvormischung	Magnesium 6	Eisen 300
	Phosphor 0	Jod 50
		Kobalt 40
		Selen 10

Tabelle A-5: Mengen sowie analysierte Gehalte an Trockensubstanz, Rohnährstoffen und Detergentienfaser von Futter, Futterresten und Koten der Tiere aus den Verdaulichkeitsuntersuchungen

Versuch	Tier	Herde	Futter									
			kg	T g/kg	XA	XP	XL g/kg T	XF	NDF	ADF		
B04I	A	a	173	210	112	159	30	261	455	281		
	B		227	215	102	165	28	244	475	282		
	C		210	204	109	163	29	252	499	280		
	D		213	203	106	155	30	251	469	291		
	E		222	222	107	163	35	245	474	278		
	F		270	216	109	157	32	242	449	276		
B04II	A	b	116	456	113	112	27	280	484	294		
	B		143	456	113	112	27	280	484	294		
	C		145	456	113	112	27	280	484	294		
	D		134	456	113	112	27	280	484	294		
	E		127	456	113	112	27	280	484	294		
B05I	A	a	151	349	83	120	25	289	487	313		
	B		188	334	84	122	26	287	477	294		
	C		189	347	79	110	31	288	486	313		
	D	b	206	293	83	147	29	269	456	287		
	E		211	310	79	138	32	267	471	272		
	F		166	299	85	144	30	256	455	288		
B05II	A	a	108	412	107	116	27	286	474	346		
	B		84	412	107	116	27	286	474	346		
	C		122	412	107	116	27	286	474	346		
	D	b	137	334	105	129	28	305	511	354		
	E		141	334	105	129	28	305	511	354		
	F		129	334	105	129	28	305	511	354		

Fortsetzung Tabelle A-5

Versuch	Tier	Herde	Futterrest									
			kg	T	XA	XP	XL	XF	NDF	ADF		
			g/kg	g/kg	g/kg T							
B04/I	A	a	26	313	122	162	37	247	451	291		
	B		25	383	116	159	36	260	444	271		
	C		21	461	122	162	36	230	502	264		
	D		23	362	127	173	41	239	491	285		
	E		23	403	118	163	37	247	467	273		
	F		15	476	119	158	35	244	456	279		
B04/II	A	b	10	591	120	119	28	288	494	326		
	B		9	562	112	112	29	290	497	308		
	C		11	602	109	126	36	273	469	308		
	D		10	632	110	124	30	276	473	326		
	E		12	597	111	123	34	278	466	316		
	F		25	435	88	136	28	293	471	317		
B05/I	A	a	27	488	84	133	31	287	499	336		
	B		29	487	82	133	30	274	477	352		
	C		33	450	82	135	32	280	488	307		
	D	b	29	432	81	142	35	253	476	286		
	E		27	472	86	147	32	264	479	311		
	F		11	439	106	111	24	310	537	336		
B05/II	A	a	1	669	115	118	29	271	468	305		
	B		4	554	106	120	26	264	470	315		
	C		0									
	D	b	0									
	E		0									
	F		3	495	96	104	23	330	573	376		

Fortsetzung Tabelle A-5

Versuch	Tier	Herde	Kot									
			kg	T	XA	XP	XL	XF	NDF	ADF		
B04/I	A	a	49	171	195	169	86	221	431	255		
	B		88	161	194	163	89	244	386	269		
	C		88	142	207	177	79	224	391	247		
	D		86	132	201	154	82	240	404	266		
	E		107	132	197	160	79	232	407	260		
	F		143	131	190	159	72	239	423	266		
B04/II	A	b	84	172	203	162	49	235	406	250		
	B		123	150	202	158	48	248	413	257		
	C		113	154	199	160	57	249	401	249		
	D		106	155	204	158	53	251	407	242		
	E		113	136	205	167	67	249	389	232		
B05/I	A	a	89	168	136	154	41	296	514	379		
	B		126	159	137	149	44	305	516	362		
	C		99	181	145	150	48	307	508	367		
	D	b	107	156	148	148	52	318	500	348		
	E		111	160	153	145	52	303	497	361		
	F		85	149	158	157	53	295	515	355		
B05/II	A	a	85	165	195	153	36	246	471	281		
	B		75	164	193	155	42	254	463	279		
	C		99	173	195	166	43	231	446	256		
	D	b	118	145	180	138	26	282	515	295		
	E		120	150	179	133	22	276	521	303		
	F		98	152	192	144	28	266	490	296		

Tabelle A-6: Analyisierte Gehalte an Trockensubstanz (aus lufttrockener, bei 65°C über 24h getrockneter Substanz), Rohnährstoffen und Detergentienfasern von Futter und Kot der Tiere aus den Untersuchungen zur Futteraufnahme im Jahr 2005

Versuch	Tier	Herde	Futter						
			T	XA	XP	XL	XF	NDF	ADF
			g/kg	g/kg T					
FA05/I	A-F	a	920	112	145	26	208	352	227
	A-F	b	913	99	141	28	213	359	233
FA05/II	A-F	a	938	112	151	26	218	432	246
	A-F	b	931	121	152	24	233	425	255
FA05/III	A-F	a	967	115	161	24	234	437	277
	A-F	b	940	128	160	23	220	384	281
Kot									
FA05/I	A	a	931	252	188	78	218	341	207
	B	a	932	272	178	63	198	340	227
	C	a	938	310	163	61	194	329	191
	D	a	937	297	165	73	203	327	194
	E	a	940	275	165	80	219	340	218
	F	a	930	268	182	71	217	343	188
	A	b	933	272	168	61	192	371	221
	B	b	937	296	167	59	172	332	206
	C	b	932	265	172	67	196	339	199
	D	b	948	388	150	58	158	286	173
	E	b	930	178	165	64	233	427	239
	F	b	931	271	173	56	214	343	190
FA05/II	A	a	946	270	164	73	248	369	240
	B	a	952	308	135	48	250	375	240
	C	a	947	236	149	67	236	393	259
	D	a	947	293	150	70	201	383	231
	E	a	949	225	153	56	241	450	263
	F	a	961	293	140	61	199	380	241
	A	b	951	294	131	43	220	395	240
	B	b	957	303	145	51	253	383	228
	C	b	949	265	147	54	249	418	255
	D	b	953	258	135	52	240	433	264
	E	b	961	231	139	58	241	449	267
	F	b	979	206	145	55	244	454	295
FA05/III	A	a	949	235	163	72	266	412	309
	B	a	943	210	166	78	235	410	301
	C	a	940	210	158	69	250	432	314
	D	a	941	244	159	74	232	427	274
	E	a	939	200	154	68	290	505	339
	F	a	940	232	161	68	255	448	300
	A	b	951	239	152	65	238	422	297
	B	b	943	243	157	75	224	387	275
	C	b	943	247	153	73	257	430	302

Fortsetzung Tabelle A-6

Versuch	Tier	Herde	T	XA	XP	XL	XF	NDF	ADF
			g/kg	g/kg T					
FA05/III	D	b	946	229	149	75	229	445	273
	E	b	947	224	162	86	253	439	280
	F	b	944	216	148	76	266	462	308

Tabelle A-7: Mengen sowie absolute Trockensubstanzgehalte von Futter und Kot nach Gefriertrocknung (GF) bzw. Ofentrocknung bei 65 und 105 °C

Versuch	Tier	Herde	Futtermittelvorgabe						Kot			
			kg		T (GF)	T (65°C)	T (105°C)	kg		T (GF)	T (65°C)	T (105°C)
			g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	
B05/I	A	a	151	349	342	350	89	168	173	178		
	B		188	334	342	343	126	159	163	164		
	C		189	347	340	344	99	181	189	185		
	D	b	206	293	284	297	107	156	164	160		
	E		211	310	300	304	111	160	162	163		
	F		166	299	293	295	85	149	153	155		
B05/II	A	a	108	412	420	423	85	165	167	169		
	B		84	412	420	423	75	164	161	163		
	C		122	412	420	423	99	173	174	175		
	D	b	137	334	352	338	118	145	150	151		
	E		141	334	352	338	120	150	155	160		
	F		129	334	352	338	98	152	158	161		

Tabelle A-8: Analytierte Alkankonzentrationen (mg/kg T) in Einzelpflanzen

Spezies	Aufwuchs	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36
Lolium perenne	1	13,0	29,1	4,6	160,0	9,8	209,7	4,1	81,4	6,9	u.M.
	2a	11,1	29,0	5,0	136,8	10,2	189,0	4,6	93,3	8,8	u.M.
	2b	58,2	122,3	6,4	273,5	13,5	288,8	6,2	82,9	8,2	2,4
	3	9,6	24,9	6,2	152,1	13,8	272,4	9,6	146,8	14,4	2,8
Festuca pratensis	4	7,3	20,9	5,1	134,0	13,2	281,6	10,0	186,8	19,0	2,8
	1	8,2	30,2	9,2	216,2	11,0	267,4	3,2	46,0	2,3	u.M.
	2a	8,6	31,2	10,1	227,0	11,8	266,8	3,7	52,6	5,7	u.M.
	2b	78,2	137,3	10,4	341,0	16,9	395,4	5,5	61,8	6,9	2,7
Poa pratensis	3	3,9	27,0	12,8	177,8	16,5	342,2	9,4	127,7	12,8	2,9
	4	2,9	27,5	9,9	163,7	13,0	288,2	7,1	108,9	12,8	3,0
	1	67,9	97,8	5,8	294,6	6,9	229,6	6,9	128,5	15,3	2,6
	2	7,2	13,7	u.M.	155,1	1,2	197,0	u.M.	61,2	1,3	1,4
Phleum pratense	3	6,5	9,1	u.M.	92,6	3,1	219,6	3,3	82,5	3,5	2,7
	4	11,8	10,5	u.M.	39,3	u.M.	91,2	u.M.	26,6	1,7	2,7
	1	17,0	24,7	u.M.	12,5	u.M.	5,3	u.M.	3,3	u.M.	2,4
	2a	17,2	24,0	u.M.	12,4	u.M.	5,4	u.M.	4,0	u.M.	2,5
Dactylis glomerata	2b	28,0	41,9	2,9	55,5	2,3	25,4	1,7	6,3	u.M.	2,5
	3	14,4	53,1	1,7	30,9	u.M.	11,4	u.M.	5,1	u.M.	2,5
	4	18,2	32,0	u.M.	15,1	u.M.	12,9	u.M.	15,1	3,7	2,9
	1	24,7	13,9	u.M.	18,3	u.M.	29,3	u.M.	26,2	u.M.	2,1
Dactylis glomerata	2a	22,3	12,4	u.M.	14,8	u.M.	25,2	u.M.	22,5	u.M.	2,1
	2b	19,3	17,4	u.M.	30,2	u.M.	39,2	1,7	24,1	u.M.	2,7
	3	12,7	11,8	u.M.	15,9	u.M.	28,8	u.M.	20,5	u.M.	2,8
	4	8,4	8,8	u.M.	12,5	u.M.	23,2	u.M.	18,0	u.M.	2,7

u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 500 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals; 1, 2, 3, 4 = jeweiliger Aufwuchs; 2a, 2b = verschiedene Zeitpunkte innerhalb des 2. Aufwuchses

Fortsetzung Tabelle A-8

Spezies	Aufwuchs	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36
Trifolium repens	1	13,5	39,8	5,0	130,3	8,0	90,3	3,8	6,1	u.M.	1,4
	2	13,5	38,3	6,9	200,4	13,9	209,1	7,4	17,2	u.M.	2,6
	3	12,2	32,8	6,5	184,0	16,6	245,8	10,3	22,0	u.M.	2,6
Taraxacum officinale	1	15,0	68,2	15,0	138,8	6,3	49,0	2,6	9,0	u.M.	2,7
	2	5,5	5,3	u.M.	28,2	u.M.	32,8	u.M.	9,6	u.M.	2,9
	3	8,1	8,8	u.M.	10,2	u.M.	7,8	u.M.	1,9	u.M.	2,5

u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 500 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals; 1, 2, 3, 4 = jeweiliger Aufwuchs; 2a, 2b = verschiedene Zeitpunkte innerhalb des 2. Aufwuchses

Tabelle A-9: Verdaulichkeitsuntersuchung B04/I; Konzentrationen der Alkane (mg/kg T) in Futter (Gras) und Futterresten nach Gefriertrocknung (GF) sowie im Kot nach Gefriertrocknung und Trocknung im Ofen bei 65 und 105°C

Tier	Tag	Trocknung	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36
			Futter									
A	1	GF	5,3	20,4	14,2	155,6	16,2	341,8	10,3	140,0	u.M.	u.M.
	2	GF	7,8	30,7	6,4	151,6	18,2	302,3	12,8	115,3	19,8	u.M.
	3	GF	10,7	27,2	6,9	151,9	10,7	298,1	5,3	73,6	u.M.	u.M.
	4	GF	8,9	19,6	7,3	97,0	6,3	184,6	n.n	61,7	u.M.	u.M.
	5	GF	4,1	19,2	7,0	113,7	9,8	225,8	n.n	109,0	u.M.	u.M.
	6	GF	5,5	17,1	4,3	98,5	12,0	229,4	7,0	130,3	15,0	u.M.
B	1	GF	4,4	27,3	8,7	140,0	17,3	299,7	9,0	134,2	u.M.	u.M.
	2	GF	10,2	26,4	5,6	152,3	16,0	306,9	10,9	114,4	14,8	u.M.
	3	GF	11,4	24,4	5,9	135,2	8,6	252,6	u.M.	52,3	u.M.	u.M.
	4	GF	8,4	20,3	8,8	115,7	8,1	226,0	u.M.	92,7	u.M.	u.M.
	5	GF	5,9	18,3	7,5	123,5	9,8	241,2	u.M.	98,9	u.M.	u.M.
	6	GF	6,5	25,0	7,9	102,1	8,2	215,3	u.M.	59,9	u.M.	u.M.
C	1	GF	6,3	28,5	7,3	172,5	16,8	289,3	8,5	142,4	u.M.	u.M.
	2	GF	6,1	20,1	5,8	117,7	11,6	255,4	8,1	123,3	14,6	u.M.
	3	GF	11,0	20,7	6,0	91,4	6,0	156,3	n.n	40,8	u.M.	u.M.
	4	GF	8,3	22,0	8,2	112,4	8,6	206,3	n.n	61,7	u.M.	u.M.
	5	GF	6,4	20,5	6,1	118,4	14,9	301,7	10,5	132,9	16,7	u.M.
	6	GF	6,0	22,3	6,8	100,2	7,2	180,9	u.M.	69,9	u.M.	u.M.
D	1	GF	6,6	22,2	5,3	122,8	12,4	266,3	7,8	128,9	14,0	u.M.
	2	GF	8,5	18,3	3,3	116,6	7,8	185,9	u.M.	98,0	u.M.	u.M.
	3	GF	7,5	16,6	4,2	80,6	4,8	148,0	u.M.	40,2	u.M.	u.M.
	4	GF	11,2	25,1	8,4	123,9	8,7	227,6	u.M.	71,2	u.M.	u.M.
	5	GF	5,7	20,9	6,9	111,8	8,6	209,7	u.M.	76,1	u.M.	u.M.
	6	GF	10,0	25,2	8,2	89,6	6,4	139,1	u.M.	38,0	u.M.	u.M.

u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 300 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals

Fortsetzung Tabelle A-9

Tier	Tag	Trocknung	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36
Futter												
E	1	GF	7,8	22,6	5,9	118,0	10,9	247,2	8,1	116,0	u.M.	u.M.
	2	GF	7,7	21,3	6,2	119,8	7,6	224,6	u.M.	65,1	u.M.	u.M.
	3	GF	11,4	22,7	6,0	100,1	6,1	173,0	u.M.	48,4	u.M.	u.M.
	4	GF	7,5	24,5	8,9	124,0	8,9	219,1	u.M.	69,0	u.M.	u.M.
	5	GF	6,1	19,4	4,9	108,5	9,8	240,7	6,4	117,7	u.M.	u.M.
	6	GF	6,2	18,8	5,4	106,9	9,8	230,5	6,0	111,5	u.M.	u.M.
F	1	GF	7,2	20,4	3,8	102,6	9,9	235,4	7,0	114,5	12,1	u.M.
	2	GF	6,8	19,6	11,5	133,1	9,1	259,0	4,2	92,5	u.M.	u.M.
	3	GF	8,6	20,5	6,3	93,3	5,4	173,8	u.M.	62,6	u.M.	u.M.
	4	GF	6,3	17,0	6,0	113,0	6,3	212,2	u.M.	81,8	u.M.	u.M.
	5	GF	5,4	19,7	8,2	124,6	13,5	251,4	7,1	122,1	12,0	u.M.
	6	GF	5,3	17,7	6,9	81,3	6,0	147,0	u.M.	58,8	u.M.	u.M.
Futterreste												
A		GF	8,1	23,7	6,9	117,4	9,3	235,2	2,1	79,2	5,6	u.M.
B		GF	9,9	22,3	7,2	118,1	12,2	259,9	5,7	73,7	4,5	u.M.
C	1-6	GF	10,3	23,9	6,9	117,2	11,3	238,3	6,6	71,7	5,4	u.M.
D		GF	8,3	20,6	1,5	114,1	8,2	203,9	u.M.	70,9	u.M.	u.M.
E		GF	10,4	23,9	6,1	106,5	8,4	201,9	u.M.	65,9	u.M.	u.M.
F		GF	9,3	21,8	5,8	98,9	4,8	185,0	u.M.	59,3	u.M.	u.M.
Kot												
A		GF	19,7	56,5	u.M.	296,3	21,4	626,6	226,8	247,1	27,6	202,4
B	1-6	GF	20,1	51,1	u.M.	248,7	15,0	496,9	136,9	164,2	u.M.	119,0
C		GF	17,7	46,1	u.M.	220,5	12,1	407,8	163,3	132,3	u.M.	143,8
D		GF	21,5	60,0	2,8	257,2	15,9	464,1	176,7	163,8	u.M.	153,9

u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 500 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals

Fortsetzung Tabelle A-9

Tier	Tag	Trocknung	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36
							Kot					
E	1-6	GF	19,0	47,9	u.M.	230,2	13,6	455,6	157,9	165,7	15,3	137,6
F		GF	18,7	47,5	1,4	226,8	15,7	429,8	120,8	152,8	13,9	101,2
A	1-6	65°C	23,5	64,5	4,3	328,0	25,3	688,8	254,1	267,6	u.M.	214,8
B		65°C	23,3	57,5	u.M.	271,5	18,1	538,4	158,0	178,9	u.M.	126,7
C		65°C	23,1	56,0	2,2	261,4	16,4	477,0	182,0	156,4	u.M.	153,9
D		65°C	22,7	56,5	2,2	274,2	16,6	500,7	172,0	183,6	u.M.	150,9
E		65°C	21,3	52,7	u.M.	246,1	14,1	482,8	168,8	172,8	7,1	142,7
F		65°C	22,0	52,6	8,1	236,7	22,5	453,8	124,5	161,8	16,7	104,3
A	1-6	105°C	22,1	60,7	14,5	303,2	35,9	655,4	252,6	265,8	39,0	231,6
B		105°C	23,5	57,2	10,4	263,6	28,2	539,2	155,5	185,9	22,9	136,4
C		105°C	22,3	53,9	u.M.	246,6	14,2	449,5	174,4	145,2	u.M.	151,2
D		105°C	21,4	54,1	u.M.	266,4	15,5	488,3	177,1	180,7	u.M.	154,6
E		105°C	21,2	52,8	u.M.	249,8	14,2	494,8	172,0	179,1	u.M.	149,3
F		105°C	19,3	50,0	u.M.	241,3	11,9	458,7	124,5	161,5	u.M.	103,5

u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 500 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals

Tabelle A-10: Verdaulichkeitsuntersuchung B04/II; Konzentrationen der Alkane (mg/kg T) in Futter (Grassilage) und Futterresten nach Gefriertrocknung (GF) sowie im Kot nach Gefriertrocknung und Trocknung im Ofen bei 65 und 105°C

Tier	Tag	Trocknung	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36
Futter												
A-E	1	GF	27,8	52,7	10,8	198,7	11,6	241,6	u.M.	100,4	u.M.	u.M.
	2	GF	25,6	39,8	7,1	216,8	9,7	260,6	u.M.	100,3	u.M.	u.M.
	3	GF	15,3	44,6	8,8	196,6	9,2	231,8	u.M.	94,5	u.M.	u.M.
	4	GF	23,4	59,0	9,2	212,7	10,3	226,7	u.M.	69,1	u.M.	u.M.
	5	GF	27,3	61,8	9,6	215,8	12,1	238,6	u.M.	81,0	u.M.	u.M.
	6	GF	21,4	48,9	6,5	171,5	8,5	215,3	u.M.	79,5	u.M.	u.M.
A-E	1	65°C	27,3	51,4	7,8	200,9	10,6	250,5	6,5	105,9	11,6	5,1
	2	65°C	21,0	50,7	9,4	203,6	10,0	247,1	5,8	87,8	9,2	4,4
	3	65°C	35,8	60,9	9,4	189,6	12,2	229,8	6,7	102,3	10,7	5,2
	4	65°C	21,6	55,7	10,7	189,3	12,0	208,6	6,7	63,3	6,6	5,4
	5	65°C	25,6	59,2	10,5	192,7	10,2	223,3	5,9	78,4	8,2	4,6
	6	65°C	23,6	57,4	11,8	205,7	11,9	236,4	6,7	80,4	8,3	4,8
A-E	1	105°C	26,7	50,3	5,6	179,0	11,0	243,2	5,7	120,4	u.M.	u.M.
	2	105°C	16,8	51,6	5,6	198,9	9,0	229,1	u.M.	85,3	u.M.	u.M.
	3	105°C	15,0	40,4	4,9	197,5	8,4	255,1	u.M.	92,7	u.M.	u.M.
	4	105°C	15,1	49,1	11,4	188,6	13,4	222,2	7,3	73,7	8,1	5,1
	5	105°C	17,7	46,9	9,2	178,2	11,5	214,8	6,2	68,6	7,0	5,3
	6	105°C	16,4	43,3	9,0	177,0	12,3	220,6	7,4	84,8	9,2	4,9
Futterreste												
A-E	1-6	GF	28,6	63,3	11,9	208,2	12,3	238,9	6,9	81,4	8,5	5,4
	1-6	GF	25,7	62,2	12,1	199,8	11,9	213,1	6,4	65,5	6,9	4,7
	1-6	GF	26,3	62,1	11,3	207,3	11,3	224,4	6,3	77,0	7,7	4,7
	1-6	GF	27,4	64,4	11,8	202,7	11,6	226,9	6,3	78,1	8,1	4,8
	1-6	GF	25,8	57,4	10,6	191,9	11,1	219,1	6,4	78,5	8,0	4,9
	1-6	GF	25,8	57,4	10,6	191,9	11,1	219,1	6,4	78,5	8,0	4,9

u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 500 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals

Fortsetzung Tabelle A-10

Tier	Tag	Trocknung	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36
							Kot					
A		GF	42,0	133,6	21,9	553,9	28,1	655,7	201,4	233,2	12,0	174,8
B		GF	42,0	129,1	20,7	510,8	26,6	594,3	126,0	200,4	10,6	117,6
C	1-6	GF	42,5	133,9	20,2	536,7	26,3	620,0	136,2	215,1	u.M.	107,3
D		GF	41,1	131,9	20,2	527,9	26,3	607,6	167,0	207,6	10,2	140,3
E		GF	43,5	130,4	18,6	519,7	24,9	608,3	203,6	212,7	u.M.	181,4
A		65°C	42,4	134,7	20,7	555,5	28,1	657,2	209,7	235,3	21,0	182,1
B		65°C	44,4	136,1	24,7	526,5	32,2	603,9	144,6	205,9	20,0	118,7
C	1-6	65°C	42,2	133,7	21,1	530,0	27,0	610,0	137,4	212,0	9,0	108,6
D		65°C	43,6	137,2	21,8	531,9	27,8	610,0	165,1	207,3	16,7	140,4
E		65°C	43,7	131,3	18,7	519,1	25,2	601,5	199,9	206,1	9,2	168,8
A		105°C	38,9	126,3	20,3	532,5	28,2	642,9	216,1	235,0	23,8	188,7
B		105°C	39,9	128,6	20,8	510,4	27,5	589,4	139,3	200,5	19,8	123,0
C	1-6	105°C	38,3	125,8	20,1	517,0	26,4	601,5	134,4	210,3	19,1	119,0
D		105°C	35,5	124,3	20,1	509,8	26,5	588,7	160,2	200,8	17,7	140,6
E		105°C	34,3	117,7	16,5	490,9	22,7	578,8	196,6	197,9	8,2	168,5

u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 300 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals

Tabelle A-11: Verdaulichkeitsuntersuchung B05/I; Konzentrationen der Alkane (mg/kg T) in Futter (Gras) und Kot nach Gefriertrocknung (GF) und Trocknung im Ofen bei 65 und 105°C, sowie in Futterresten nach Gefriertrocknung

Tier	Herde	Tage	Trocknung	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36
Futter													
A	a	1-6	GF	29,5	56,6	9,4	274,7	22,6	452,0	10,8	76,2	6,0	u.M.
B			GF	26,7	53,3	10,2	278,7	23,7	468,0	11,4	84,6	7,2	u.M.
C			GF	25,9	52,9	9,5	272,4	23,1	459,3	10,9	73,6	5,8	u.M.
D	b	1-6	GF	23,0	42,7	8,6	222,5	17,2	393,1	8,2	81,9	u.M.	u.M.
E			GF	24,7	44,5	8,2	221,0	16,8	383,7	8,0	79,4	5,8	u.M.
F			GF	23,6	43,6	8,9	240,7	18,8	412,8	9,1	85,7	6,5	u.M.
A	a	1-6	65°C	29,5	57,0	9,8	279,0	23,0	441,2	11,6	71,8	5,7	u.M.
B			65°C	26,0	51,0	9,9	270,8	23,0	452,7	10,9	79,6	6,6	u.M.
C			65°C	28,1	55,3	9,5	284,6	23,8	482,2	11,6	76,9	6,4	u.M.
D	b	1-6	65°C	25,3	47,3	8,5	243,0	19,0	404,8	9,7	78,4	u.M.	u.M.
E			65°C	25,9	46,4	7,4	223,7	16,7	391,1	8,7	84,6	6,8	u.M.
F			65°C	25,1	46,4	7,5	247,0	18,7	424,0	9,6	88,4	6,9	u.M.
A	a	1-6	105°C	27,3	58,6	10,4	302,7	26,4	484,6	13,5	71,9	u.M.	u.M.
B			105°C	21,0	47,8	9,4	268,8	24,5	458,1	12,8	72,3	6,3	u.M.
C			105°C	25,0	55,1	9,7	286,2	25,3	467,9	13,0	69,6	5,5	u.M.
D	b	1-6	105°C	19,8	41,6	8,5	219,8	18,5	380,6	9,4	75,1	5,9	u.M.
E			105°C	23,1	45,7	8,2	227,8	17,5	394,3	8,8	83,5	6,2	u.M.
F			105°C	24,7	48,3	9,9	251,6	21,3	420,2	10,5	81,4	7,0	u.M.
Futterreste													
A	a	1-6	GF	32,9	68,2	12,8	368,5	33,3	549,7	17,5	67,8	u.M.	u.M.
B			GF	31,7	64,8	12,3	374,0	33,1	561,0	17,3	68,5	u.M.	u.M.
C			GF	32,7	68,1	12,8	378,5	34,2	564,4	17,7	65,4	u.M.	u.M.

u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 500 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals

Fortsetzung Tabelle A-11

Tier	Herde	Tage	Trocknung	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36
				Futterreste									
D	b	1-6	GF	30,9	55,2	9,9	250,1	21,0	426,5	10,1	70,4	u.M.	u.M.
E			GF	30,1	57,0	9,7	264,2	21,3	439,9	10,7	73,5	u.M.	u.M.
F			GF	28,4	51,5	8,9	261,6	21,8	427,3	11,0	70,6	u.M.	u.M.
				Kot									
A	a	1-6	GF	45,5	107,6	20,8	638,1	57,6	1088,3	169,0	143,9	10,5	143,4
B			GF	52,4	115,7	20,8	638,5	56,9	1079,0	140,6	147,1	10,7	121,0
C			GF	54,5	120,1	22,3	673,1	59,9	1138,2	152,3	151,1	10,9	128,0
D	b	1-6	GF	55,5	113,2	20,0	585,9	50,1	1031,7	157,8	178,8	12,7	133,3
E			GF	55,8	113,5	20,7	570,0	48,9	1028,2	144,3	184,3	13,3	118,6
F			GF	47,5	102,8	19,0	569,4	49,3	1046,8	215,3	189,3	14,0	198,9
A	a	1-6	65°C	48,9	112,7	21,3	648,1	58,5	1092,3	174,0	143,4	9,9	140,4
B			65°C	55,8	118,7	21,6	655,1	58,6	1093,6	140,0	148,4	10,3	112,8
C			65°C	51,7	117,1	21,1	651,2	58,4	1114,9	147,6	150,1	10,7	124,0
D	b	1-6	65°C	55,5	113,1	19,7	585,2	49,9	1029,6	157,1	179,1	12,9	181,0
E			65°C	55,0	108,8	19,7	554,4	46,7	999,3	136,4	177,7	13,3	114,1
F			65°C	51,5	108,3	20,0	574,7	50,0	1032,6	214,0	183,0	13,4	184,7
A	a	1-6	105°C	45,4	111,4	21,6	658,3	60,0	1127,2	175,5	149,8	10,7	147,2
B			105°C	46,8	115,0	21,3	650,1	58,7	1095,4	148,1	147,9	10,9	113,9
C			105°C	49,2	117,7	21,6	666,6	59,9	1147,7	154,5	155,1	12,0	132,0
D	b	1-6	105°C	46,5	97,7	17,6	505,7	43,5	934,5	128,6	167,2	12,1	113,1
E			105°C	47,0	107,1	19,9	573,7	49,8	1025,2	160,3	178,6	13,1	136,5
F			105°C	48,8	105,8	19,9	591,3	51,5	1090,7	239,5	198,1	15,0	208,7

u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 500 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals

Tabelle A-12: Verdaulichkeitsuntersuchung B05/II; Konzentrationen der Alkane (mg/kg T) in Futter (Grassilage) und Kot nach Gefriertrocknung (GF) und Trocknung im Ofen bei 65 und 105°C, sowie in Futterresten nach Gefriertrocknung

Tier	Herde	Tage	Trocknung	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36
Futter													
A-C	a	1-6	GF	39,7	66,6	7,6	194,2	10,3	273,5	6,1	68,2	6,3	u.M.
D-F	b		GF	43,2	71,1	6,9	207,3	10,9	314,5	5,7	88,8	8,2	u.M.
A-C	a		65°C	43,3	69,4	7,7	202,7	11,1	282,6	5,4	66,6	5,8	u.M.
D-F	b		65°C	40,4	69,2	7,7	199,8	10,6	300,9	5,5	86,7	8,0	u.M.
A-C	a		105°C	35,9	67,7	7,5	202,3	11,8	285,6	6,1	67,1	5,9	u.M.
D-F	b		105°C	37,8	69,1	7,4	204,6	11,3	309,4	5,9	85,1	7,8	u.M.
Futterreste													
A	a	1-6	GF	45,0	70,3	7,9	199,2	10,6	283,4	4,7	68,4	5,0	u.M.
B			GF	42,5	69,2	8,0	191,3	10,7	252,2	5,1	55,5	4,4	u.M.
C			GF	41,9	69,8	8,0	211,9	12,3	285,7	u.M.	64,3	u.M.	u.M.
F			GF	45,7	72,7	6,9	189,0	10,4	297,9	u.M.	86,0	7,6	u.M.
Kot													
A	a	1-6	GF	74,1	146,1	16,1	477,2	25,9	708,6	165,8	176,4	16,3	161,9
B			GF	72,1	142,6	16,3	464,6	26,2	658,6	129,7	152,7	13,5	113,3
C			GF	78,1	156,7	14,0	492,4	27,0	715,9	154,5	180,4	16,0	144,7
D			GF	81,0	155,0	13,7	451,3	24,5	722,3	125,5	217,9	21,3	117,9
E			GF	74,3	146,2	12,9	449,1	24,8	730,5	138,3	217,6	21,1	129,8
F			GF	74,9	144,6	12,7	448,4	24,4	731,4	207,0	213,5	18,8	184,6
A	a	1-6	65°C	82,3	159,8	17,8	518,0	28,7	758,8	191,3	188,3	16,8	177,1
B			65°C	82,9	160,1	18,2	510,8	28,9	710,9	132,4	163,3	14,9	123,0
C			65°C	80,1	161,6	17,3	527,0	29,7	761,8	176,9	187,1	16,9	159,6
D			65°C	90,6	176,1	15,4	499,5	26,5	790,2	146,1	239,7	22,0	128,0
E			65°C	79,3	160,8	12,7	472,7	25,6	764,2	141,6	234,9	21,5	130,7
F			65°C	82,5	162,7	14,7	485,3	26,0	790,9	207,1	233,4	21,9	201,4

u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 500 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals

Fortsetzung Tabelle A-12

Tier	Herde	Tage	Trocknung	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36
								Kot					
A			105°C	70,1	142,5	15,4	484,8	26,4	726,9	187,9	182,9	16,5	175,0
B	a	1-6	105°C	81,4	159,4	18,1	510,0	29,2	716,0	140,3	166,6	15,5	126,6
C			105°C	76,4	164,3	17,4	530,2	30,1	776,4	181,0	194,9	17,5	159,8
D			105°C	73,1	152,0	12,7	464,3	25,8	761,7	145,7	234,3	22,1	132,7
E	b	1-6	105°C	65,8	143,2	12,8	438,1	24,1	723,7	137,8	220,1	19,9	126,2
F			105°C	69,1	151,3	14,7	473,1	25,9	787,1	222,5	231,3	21,6	203,7



Tabelle A-14: Mittels Bilanzierung ermittelte Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe (%)

Versuch	Tier	Herde	Verdaulichkeit							
			T	OS	XP	XL	XF	NDF	ADF	
B04/I	A	a	70,2	73,1	68,2	7,6	75,2	71,8	72,8	
	B		65,4	69,1	66,2	-17,6	64,9	72,3	67,3	
	C		65,4	69,3	62,5	0,2	69,7	72,8	69,7	
	D		68,7	72,2	68,3	7,3	70,3	72,8	71,5	
	E		65,3	68,9	66,0	21,3	67,0	70,3	67,6	
	F		64,1	67,4	63,6	18,2	64,6	66,1	65,3	
B04/II	A	b	69,3	72,4	55,2	44,9	74,1	74,2	73,4	
	B		69,3	72,4	56,8	45,6	72,8	73,8	73,1	
	C		70,6	73,5	57,5	36,5	73,9	75,8	75,0	
	D		70,2	73,2	57,5	41,7	73,3	75,0	75,2	
	E		69,5	72,6	54,0	22,1	72,9	75,6	75,6	
	F		63,4	65,6	51,1	38,1	62,4	61,8	55,6	
B05/I	A	a	58,9	61,2	48,1	26,6	56,4	55,0	47,0	
	B		64,4	67,0	47,8	44,7	62,6	63,0	56,6	
	C		62,9	65,5	63,6	31,4	55,4	58,3	53,7	
	D		66,2	69,0	64,4	44,7	62,2	64,3	54,7	
	E		64,9	67,8	61,2	38,0	59,2	59,5	55,5	
	F		64,3	67,8	53,2	52,2	69,0	63,9	71,1	
B05/II	A	a	63,6	67,1	51,4	42,1	67,8	64,5	70,8	
	B		64,3	67,8	48,8	42,4	71,3	66,4	73,7	
	C		62,5	65,7	60,2	65,3	65,4	62,2	68,8	
	D		61,8	65,0	60,6	70,2	65,4	61,1	67,3	
	E		64,5	67,9	60,6	65,1	68,9	65,8	70,2	
	F									

Tabelle A-15: Gegenüberstellung von mittels Bilanzierung und Alkanen ermittelter Verdaulichkeiten der Trockensubstanz (%)

Versuch	Tier	Herde	T - Verdaulichkeit				
			Bilanzierung	C27	C29	C31	C33
B04/I	A	a	70,2	72,8	74,1	75,1	78,1
	B		65,4	70,8	71,6	71,9	73,4
	C		65,4	71,8	72,6	71,4	68,5
	D		68,7	80,5	80,0	80,0	81,0
	E		65,3	77,6	78,7	79,0	80,1
	F		64,1	79,4	78,8	78,2	77,7
B04/II	A	b	69,3	88,5	89,1	89,4	89,7
	B		69,3	89,6	89,7	89,8	89,6
	C		70,6	89,7	89,9	89,9	90,0
	D		70,2	89,5	89,7	89,6	89,6
	E		69,5	90,7	90,8	90,9	91,1
B05/I	A	a	63,4	78,3	79,4	80,7	82,5
	B		58,9	81,2	79,3	80,1	81,3
	C		64,4	80,2	79,0	79,7	82,6
	D	b	62,9	80,6	81,2	80,8	81,6
	E		66,2	80,4	81,4	81,8	83,2
	F		64,9	79,5	80,4	81,4	82,9
B05/II	A	a	64,3	85,4	85,6	85,9	86,2
	B		63,6	85,0	85,2	84,9	84,1
	C		64,3	85,7	85,3	85,3	85,8
	D	b	62,5	84,5	84,0	83,8	84,0
	E		61,8	83,0	83,3	83,4	83,4
	F		64,5	82,6	83,1	83,2	82,9

Tabelle A-16: Geschätzte Futterraufnahmen (kg T/Tier und Tag) auf Basis der Verhältnisse einzelner Alkane zueinander

Versuch	Tier	Herde	Futterraufnahme							
			27:32	29:32	31:32	33:32	27:36	29:36	31:36	33:36
FA04/I	A	a	14,0	19,8	21,7	23,7	15,4	21,3	23,2	25,0
	B		14,8	19,4	21,1	24,2	16,3	20,9	22,6	25,6
	C		15,9	19,2	20,1	23,9	17,0	20,2	21,1	24,7
	D		12,6	15,9	17,4	19,5	15,0	18,7	20,3	22,7
	E		17,4	23,1	27,8	29,6	17,3	22,2	26,2	27,7
	F		15,1	20,0	22,4	27,0	16,9	22,1	24,5	29,0
	A	b	16,1	18,0	20,4	18,6	16,1	18,0	20,4	18,7
	B		14,2	14,8	16,5	15,6	13,3	13,9	15,4	14,6
	C		13,5	14,5	15,7	15,1	13,2	14,2	15,4	14,8
	D		15,0	17,1	18,5	17,9	14,1	16,1	17,4	16,8
	E		17,0	18,3	20,4	19,4	17,3	18,6	20,7	19,8
	F		21,9	24,4	27,1	25,5	22,2	24,8	27,6	25,9
FA05/I	A	a	9,2	7,4	6,7	7,6	10,4	8,4	7,6	8,6
	B		8,0	7,1	6,8	8,3	9,1	8,2	7,8	9,5
	C		8,3	7,4	7,3	9,0	10,0	9,0	8,9	10,9
	D		5,7	4,9	4,6	5,2	6,3	5,4	5,0	5,7
	E		7,0	6,3	5,9	6,8	7,9	7,1	6,7	7,7
	F		7,5	6,2	5,9	6,9	8,6	7,1	6,7	7,9
	A	b	6,1	6,3	6,4	7,5	7,0	7,3	7,4	8,6
	B		5,8	5,9	5,9	7,1	6,4	6,5	6,6	7,9
	C		6,4	6,4	6,4	7,5	7,2	7,2	7,2	8,5
	D		7,4	7,4	7,3	8,8	8,6	8,7	8,5	10,2
	E		6,3	6,5	6,6	8,1	7,3	7,5	7,6	9,3
	F		6,3	6,4	6,2	7,1	7,0	7,1	7,0	8,0
FA05/II	A	a	7,6	7,7	8,0	10,7	7,6	7,7	8,1	10,4
	B		12,8	9,4	8,9	9,2	11,0	8,4	8,0	8,2
	C		10,7	9,2	9,4	10,6	10,3	9,1	9,2	10,3
	D		9,5	8,4	8,5	10,5	9,2	8,3	8,4	10,1
	E		14,7	11,3	11,6	11,3	15,1	12,1	12,3	12,1
	F		12,5	8,7	8,9	10,9	12,2	8,8	9,0	10,8
	A	b	9,5	9,2	9,9	11,0	9,1	8,8	9,4	10,3
	B		8,9	9,4	10,3	11,4	8,9	9,4	10,2	11,1
	C		7,5	8,3	9,2	10,6	7,7	8,5	9,4	10,7
	D		10,7	9,1	9,4	10,0	10,2	8,9	9,1	9,7
	E		8,0	8,9	9,7	10,8	7,9	8,8	9,5	10,4
	F		12,1	11,2	11,6	11,1	11,4	10,7	11,0	10,6
FA05/III	A	a	13,9	13,0	12,7	13,5	12,9	12,9	12,2	12,0
	B		15,7	14,0	12,8	12,9	14,1	14,1	12,9	11,9
	C		12,6	12,1	12,1	13,2	12,6	12,6	12,2	12,2
	D		12,4	11,5	10,3	9,9	11,9	11,9	11,1	10,1
	E		16,4	15,4	14,8	15,1	15,9	15,9	15,1	14,7
	F		13,3	12,5	12,7	14,7	13,7	13,7	13,0	13,1

Fortsetzung Tabelle A-16

Versuch	Tier	Herde	Futterraufnahme							
			27:32	29:32	31:32	33:32	27:36	29:36	31:36	33:36
FA05/III	A	b	13,1	15,0	15,4	14,7	13,0	14,6	14,9	14,3
	B		10,8	12,2	11,9	11,6	10,7	11,9	11,6	11,4
	C		14,9	17,1	17,0	13,3	14,9	16,7	16,6	13,5
	D		12,5	14,0	15,7	17,5	12,4	13,7	15,0	16,4
	E		11,0	12,1	11,4	11,7	10,7	11,6	11,0	11,3
	F		8,6	10,2	10,5	10,0	11,6	13,4	13,7	13,2
B04/I	A	a	4,9	5,1	5,2	6,1	4,7	5,0	5,0	5,8
	B		6,8	7,0	7,1	7,5	6,9	7,1	7,1	7,5
	C		5,5	5,6	5,4	4,9	5,4	5,6	5,4	4,9
	D		6,6	6,5	6,5	6,8	6,9	6,7	6,7	7,1
	E		6,0	6,4	6,5	6,9	5,9	6,3	6,4	6,7
	F		8,9	8,7	8,4	8,2	9,3	9,0	8,7	8,6
B04/II	A	b	7,4	7,8	8,0	8,3	7,4	7,8	7,9	8,2
	B		11,5	11,6	11,6	11,4	10,6	10,7	10,7	10,5
	C		11,0	11,2	11,2	11,3	12,0	12,3	12,2	12,4
	D		8,8	9,0	9,0	8,9	9,1	9,2	9,2	9,1
	E		7,2	7,3	7,4	7,5	6,9	7,0	7,1	7,2
B05/I	A	a	5,8	6,1	6,6	7,5	5,9	6,2	6,6	7,3
	B		8,5	7,6	7,9	8,5	8,0	7,3	7,5	8,0
	C		8,1	7,5	7,8	9,4	7,9	7,4	7,7	8,9
	D	b	7,7	8,0	7,9	8,2	7,8	8,1	7,9	8,2
	E		8,2	8,7	8,9	9,8	8,4	8,9	9,1	9,8
	F		4,8	5,1	5,4	5,9	4,7	4,9	5,1	5,6
B05/II	A	a	6,6	6,7	6,9	7,1	6,4	6,5	6,7	6,8
	B		8,5	8,6	8,4	7,9	8,9	9,1	8,8	8,4
	C		7,8	7,5	7,6	7,9	7,7	7,5	7,5	7,8
	D	b	9,9	9,5	9,4	9,5	9,4	9,1	9,0	9,1
	E		8,3	8,5	8,5	8,5	8,1	8,2	8,2	8,3
	F		5,3	5,4	5,5	5,4	5,6	5,8	5,8	5,7

Tabelle A-17: Konzentrationen (mg/kg T) der Bolusalkane C32 und C36 im Kot vom 17. bis 24. Tag nach Eingabe der Boli

Tier	Tag	Zeit	FA04/I		B04/II		
			C32	C36	C32	C36	
A	17	morgens	106,0	73,0	164,2	133,0	
		abends	132,0	75,9	144,1	106,8	
	18	morgens	133,7	111,1	142,7	113,8	
		abends	159,1	94,3	145,8	97,3	
	19	morgens	171,6	117,2	148,9	97,0	
		abends	154,7	126,5	80,8	44,9	
	20	morgens	145,5	116,8	34,0	17,9	
		abends	118,7	87,1	21,2	9,0	
	21	morgens	77,2	47,9	16,3	u.M.	
		abends	36,2	22,1	12,5	u.M.	
	22	morgens	16,7	u.M.	21,7	u.M.	
		abends	20,8	11,3	13,0	u.M.	
	23	morgens	8,8	u.M.	u.M.	u.M.	
		abends	8,7	u.M.	13,5	u.M.	
	24	morgens	7,8	u.M.	14,5	u.M.	
	B	17	morgens	124,3	85,4	141,0	118,9
			abends	149,3	122,6	115,1	u.M.
		18	morgens	157,9	101,8	113,4	82,3
abends			127,1	82,8	105,1	80,1	
19		morgens	150,7	118,5	116,6	93,6	
		abends	16,2	u.M.	109,2	82,1	
20		morgens	130,4	107,6	31,6	16,1	
		abends	142,4	117,4	71,3	38,1	
21		morgens	168,4	155,4	112,5	70,9	
		abends	143,0	120,6	25,1	13,5	
22		morgens	83,9	64,2	16,4	u.M.	
		abends	33,9	25,5	14,8	u.M.	
23		morgens	21,8	12,8	15,0	u.M.	
		abends	10,1	u.M.	12,1	u.M.	
24	morgens	13,9	u.M.	13,5	u.M.		
C	17	morgens	124,5	85,2	125,1	87,1	
		abends	128,6	88,8	115,9	87,5	
	18	morgens	155,6	137,0	104,5	73,8	
		abends	177,5	148,2	126,2	87,5	
	19	morgens	170,9	137,3	132,7	108,4	
		abends	166,8	150,8	135,5	116,6	
	20	morgens	139,1	115,8	139,2	120,6	
		abends	152,3	138,3	139,9	107,0	
	21	morgens	155,7	116,1	151,5	115,7	
			abends	144,1	126,3	87,1	63,8

u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 500 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals

Fortsetzung Tabelle A-17

Tier	Tag	Zeit	FA04/I		B04/II		
			C32	C36	C32	C36	
C	22	morgens	78,3	55,8	49,0	32,0	
		abends	14,2	u.M.	33,0	16,7	
	23	morgens	21,4	10,6	18,5	u.M.	
		abends	17,6	u.M.	12,0	u.M.	
	24	morgens	14,2	u.M.	11,5	u.M.	
	D	17	morgens	155,9	127,3	153,0	143,9
abends			128,2	106,8	137,5	101,7	
18		morgens	139,1	130,1	162,5	124,4	
		abends	147,6	119,2	142,1	111,9	
19		morgens	106,3	83,0	96,4	63,1	
		abends	119,3	99,3	50,7	29,9	
20		morgens	140,5	94,6	24,4	12,9	
		abends	113,0	103,1	17,7	u.M.	
21		morgens	136,9	118,6	16,8	u.M.	
		abends	136,9	114,6	13,7	u.M.	
22		morgens	60,3	43,4	16,1	u.M.	
		abends	37,8	26,9	15,1	u.M.	
23		morgens	22,9	12,3	15,1	u.M.	
		abends	17,7	u.M.	15,5	u.M.	
24		morgens	13,6	u.M.	12,1	u.M.	
E		17	morgens	140,0	104,8	21,7	9,5
			abends	140,8	120,2	17,6	7,4
		18	morgens	132,1	101,5	14,3	u.M.
	abends		122,7	77,4	14,9	u.M.	
	19	morgens	106,1	84,8	13,0	u.M.	
		abends	114,2	75,4	12,1	u.M.	
	20	morgens	109,6	84,7	13,2	u.M.	
		abends	91,8	61,9	12,9	u.M.	
	21	morgens	67,5	41,0	12,4	u.M.	
		abends	37,2	17,7	12,8	u.M.	
	22	morgens	17,8	u.M.	16,2	u.M.	
		abends	13,4	u.M.	15,4	u.M.	
	23	morgens	8,8	u.M.	15,4	u.M.	
		abends	10,9	u.M.	14,7	u.M.	
24	morgens	8,6	u.M.	13,7	u.M.		
F	17	morgens	128,8	108,8	n.e.	n.e.	
		abends	100,6	86,8	n.e.	n.e.	
	18	morgens	109,5	78,0	n.e.	n.e.	
		abends	137,9	118,0	n.e.	n.e.	
	19	morgens	100,6	67,6	n.e.	n.e.	
		abends	107,8	81,1	n.e.	n.e.	

n.e. = nicht ermittelt, u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 500 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals

Fortsetzung Tabelle A-17

Tier	Tag	Zeit	FA04/I		B04/II	
			C32	C36	C32	C36
F	20	morgens	88,9	70,3	n.e.	n.e.
		abends	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
	21	morgens	63,6	44,4	n.e.	n.e.
		abends	42,8	25,1	n.e.	n.e.
	22	morgens	18,1	u.M.	n.e.	n.e.
		abends	0,0	u.M.	n.e.	n.e.
	23	morgens	10,1	u.M.	n.e.	n.e.
		abends	9,1	u.M.	n.e.	n.e.
	24	morgens	9,9	u.M.	n.e.	n.e.

n.e. = nicht ermittelt, u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 500 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals

Tabelle A-18: Untersuchung zur Futteraufnahme FA04/I; Konzentrationen der Alkane (mg/kg T) in Gras, Grassilage und Kot

Tier	Herde	Tag	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36
Gras												
A-F	a	1	8,6	16,5	3,9	57,9	7,7	105,6	4,9	56,0	6,7	3,6
		2	8,0	17,8	4,9	57,5	7,7	103,9	5,8	57,9	7,1	3,5
		3	9,0	19,3	5,1	68,6	8,8	133,4	6,4	70,0	8,0	3,5
		4	8,2	19,3	3,6	65,4	8,3	126,6	5,9	68,9	8,0	3,2
		5	9,8	20,3	3,5	61,0	7,0	116,5	4,1	61,2	6,5	3,5
		6	8,3	15,7	3,3	61,6	6,9	117,1	5,0	62,6	6,9	3,4
		7	9,7	20,1	7,4	85,3	11,7	173,3	8,7	108,2	13,1	3,5
A-F	b	1	5,6	14,2	3,6	62,5	7,7	119,4	5,2	55,3	6,6	3,1
		2	7,0	15,0	5,2	71,8	9,1	140,2	6,9	75,8	8,5	3,5
		3	6,1	16,3	0,8	77,8	8,8	142,6	6,0	68,6	8,3	3,2
		4	7,0	17,7	0,0	82,8	9,4	155,1	6,6	80,1	9,6	3,3
		5	7,2	15,1	3,6	69,9	8,1	128,3	5,0	72,7	8,3	3,3
		6	14,5	22,6	3,6	68,6	5,7	111,3	3,6	54,6	6,8	1,7
		7	7,0	16,0	4,0	82,2	9,4	148,4	6,7	82,0	9,5	3,2
Grassilage												
A-F	b	1	18,2	22,0	3,7	64,0	3,0	82,8	2,6	32,8	3,9	3,4
		2	19,1	21,9	2,6	44,5	2,3	70,3	1,1	19,4	1,3	3,4
		3	18,0	20,8	3,8	57,4	3,4	93,4	3,0	37,3	4,7	3,4
		4	15,2	19,9	3,9	61,3	4,1	108,7	3,5	49,3	5,8	3,5
		5	16,5	19,7	3,9	62,6	3,8	94,3	3,2	49,0	5,7	3,5
		6	18,2	27,2	4,3	75,6	4,6	117,9	3,9	54,1	7,0	3,1
		7	12,2	27,3	6,0	105,5	7,0	157,0	4,4	61,9	6,8	2,6
Kot												
A	a	1	21,5	62,7	11,2	238,4	18,5	471,7	109,3	223,6	17,1	88,6
		2	19,9	57,7	10,8	238,8	17,9	479,6	118,7	232,7	20,3	83,7

u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 500 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals

Fortsetzung Tabelle A-18

Tier	Herde	Tag	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36
A	a	3	19,6	59,1	10,9	244,0	17,0	495,6	102,7	237,1	17,2	89,5
		4	31,4	67,5	20,2	260,4	28,5	519,5	112,0	268,6	30,1	91,9
		5	24,6	61,9	19,0	239,7	26,6	494,0	132,8	254,1	27,9	95,4
		6	25,0	62,3	20,8	275,5	32,3	569,4	121,8	322,0	33,4	101,4
		7	25,0	61,8	21,8	277,7	33,6	583,0	128,4	319,2	34,4	104,0
B	a	1	21,2	65,7	10,1	219,8	15,2	437,0	92,2	221,0	17,8	61,4
		2	18,9	54,2	9,2	219,8	15,6	448,8	97,9	232,0	20,9	67,3
		3	20,4	62,8	9,2	233,0	15,6	472,0	125,7	246,8	22,1	87,0
		4	28,6	61,6	18,4	220,0	24,5	432,8	104,1	233,1	24,5	98,1
		5	29,9	64,5	20,5	229,0	26,9	450,4	99,6	238,3	27,2	91,9
		6	26,2	62,3	21,7	262,1	31,8	541,6	133,9	310,1	33,6	98,7
		7	21,9	58,4	23,3	262,9	32,8	549,3	124,4	297,8	35,0	111,7
C	a	1	24,0	72,3	11,6	219,5	15,1	413,3	113,5	207,8	13,7	99,1
		2	25,5	65,3	10,1	241,5	16,8	485,0	105,0	251,0	18,9	82,6
		3	30,8	82,7	28,8	255,4	41,0	466,0	132,5	242,0	23,0	93,9
		4	36,5	76,3	22,8	253,2	28,0	483,1	107,3	266,4	29,4	101,1
		5	30,0	71,1	19,6	227,7	25,7	447,8	134,4	244,5	26,4	93,7
		6	28,7	66,7	23,2	299,2	36,3	608,4	125,5	366,2	40,2	98,1
		7	25,7	66,3	21,6	303,7	34,7	633,5	138,9	362,6	38,5	124,3
D	a	1	27,2	78,3	10,8	246,8	17,1	470,0	121,6	226,7	17,1	85,4
		2	25,6	69,0	10,0	238,8	17,2	473,0	137,2	239,2	20,5	114,3
		3	18,3	55,0	8,8	219,2	15,5	450,5	129,1	225,6	19,6	92,8
		4	28,7	65,6	19,4	240,8	27,4	492,7	144,3	253,8	28,5	112,0
		5	24,8	60,0	17,0	223,0	23,9	454,6	115,9	241,2	27,2	103,0
		6	27,4	60,9	20,8	265,3	32,3	550,7	160,4	323,1	34,2	97,5

u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 500 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals

Fortsetzung Tabelle A-18

Tier	Herde	Tag	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36	
							Kot						
D	a	7	27,3	71,2	22,7	294,4	35,3	617,5	145,7	346,0	37,5	105,3	
E	a	1	25,7	71,9	11,1	246,8	17,7	481,5	104,7	246,2	16,9	91,9	
		2	26,5	77,0	9,5	243,9	16,6	473,3	103,6	235,9	18,3	70,5	
		3	22,1	65,3	11,4	256,8	18,6	539,3	116,1	262,6	22,9	142,5	
		4	29,8	64,0	20,1	248,2	27,7	511,0	105,1	272,9	30,1	86,2	
		5	28,1	62,7	19,2	246,3	27,3	513,4	109,6	270,6	29,3	96,7	
		6	30,1	70,1	28,0	304,4	42,3	856,6	129,0	377,4	40,9	88,6	
		7	29,3	68,5	24,8	298,5	37,5	623,2	94,4	350,3	39,0	78,6	
F	a	1	u.M.	67,0	u.M.	231,4	u.M.	463,0	109,2	249,6	u.M.	93,3	
		2	27,8	66,6	14,1	253,7	23,8	521,0	115,8	277,5	u.M.	92,7	
		3	25,7	64,8	12,1	239,5	19,1	507,8	100,8	269,6	25,8	79,4	
		4	29,2	69,2	15,4	247,4	24,4	506,9	117,8	271,7	28,3	92,5	
		5	24,0	60,8	14,2	231,8	22,1	459,9	105,9	248,1	24,5	79,6	
		6	22,4	57,4	15,5	254,2	28,4	536,9	126,5	320,6	35,0	92,4	
		7	22,8	61,4	18,1	278,0	32,2	592,4	124,7	344,3	37,2	90,6	
A	b	1	40,9	62,6	u.M.	181,5	u.M.	319,2	105,8	96,9	u.M.	91,4	
		2	32,6	51,9	u.M.	148,0	u.M.	273,6	108,2	83,5	u.M.	73,4	
		3	45,8	64,4	7,4	172,4	9,8	311,8	110,9	115,5	12,6	90,9	
		4	45,4	58,5	5,6	158,6	8,0	295,5	121,0	107,7	11,9	113,7	
		5	46,9	68,3	10,5	213,8	13,0	369,5	105,5	163,0	18,2	94,5	
		6	33,8	66,1	9,4	225,8	14,4	383,1	112,8	158,1	18,0	105,7	
		7	37,1	82,1	19,2	376,8	21,1	573,2	132,1	186,1	20,4	119,0	
B	b	1	39,3	65,9	u.M.	174,8	u.M.	310,1	104,5	106,2	u.M.	106,8	
		2	33,4	53,7	u.M.	154,9	u.M.	280,1	100,5	90,9	u.M.	87,0	
		3	53,6	64,7	10,8	180,8	10,2	327,3	140,2	126,4	13,8	136,6	

u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 500 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals

Fortsetzung Tabelle A-18

Tier	Herde	Tag	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36
			Kot									
B	b	4	46,0	57,8	10,1	159,5	9,3	302,4	142,1	114,7	11,8	124,4
		5	49,2	78,1	13,1	225,1	13,5	393,8	173,0	176,1	20,7	144,6
		6	41,4	65,6	10,3	224,2	14,4	387,8	167,2	172,6	19,2	149,2
		7	34,9	93,7	20,4	384,4	22,5	559,7	132,0	181,6	22,0	127,6
C	b	1	44,7	77,7	6,3	201,5	7,2	328,1	163,9	115,3	8,1	112,2
		2	37,1	63,4	u.M.	175,3	u.M.	301,2	170,4	110,0	9,9	143,9
		3	43,5	63,9	6,7	173,2	8,7	299,4	128,6	115,8	12,3	123,7
		4	43,1	60,4	9,6	168,4	9,2	291,3	138,8	111,7	12,2	127,3
		5	46,5	68,3	8,1	209,9	11,8	350,5	117,1	155,6	16,3	125,4
		6	33,7	62,5	9,4	208,7	12,5	357,5	115,2	150,0	15,5	113,7
		7	36,3	85,5	19,0	373,1	20,4	546,2	148,7	167,7	16,2	124,2
D	b	1	36,2	62,5	u.M.	209,1	u.M.	358,2	124,2	128,4	u.M.	114,8
		2	34,9	59,1	u.M.	185,9	u.M.	323,5	121,7	106,2	8,5	108,6
		3	48,2	67,1	7,8	188,2	10,2	337,5	148,2	130,6	14,9	127,9
		4	43,9	63,2	8,2	184,1	11,3	326,7	128,2	132,2	14,8	124,8
		5	45,2	74,6	9,9	248,8	15,0	421,5	152,8	198,3	23,1	137,0
		6	33,4	69,1	10,1	255,5	15,5	430,5	124,8	192,9	20,9	112,7
		7	30,4	78,8	17,2	356,3	20,2	531,5	116,5	174,9	17,8	103,8
E	b	1	46,0	65,4	u.M.	180,4	u.M.	316,9	112,3	98,2	u.M.	76,4
		2	43,9	62,7	u.M.	158,5	u.M.	283,2	108,7	94,4	u.M.	85,7
		3	40,7	61,2	6,2	165,6	8,7	288,8	92,0	109,2	0,0	89,7
		4	37,6	60,8	7,6	160,5	9,0	283,2	98,3	108,0	9,8	97,1
		5	41,1	67,7	8,0	207,0	12,0	348,1	105,0	156,9	14,8	98,9
		6	38,7	64,5	9,2	212,9	12,4	364,9	139,1	164,4	17,7	108,1
		7	35,3	83,9	17,1	371,8	20,9	558,8	117,6	179,4	19,7	105,4

u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 500 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals

Fortsetzung Tabelle A-18

Tier	Herde	Tag	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36
							Kot					
F	b	1	40,1	58,5	u.M.	166,2	u.M.	285,1	73,1	95,6	u.M.	52,9
		2	41,6	59,7	u.M.	159,1	u.M.	280,7	83,0	92,7	u.M.	75,0
		3	44,9	62,3	6,1	166,1	8,5	288,7	84,4	105,1	12,4	76,4
		4	44,9	62,9	5,6	179,2	8,9	312,7	102,7	119,1	13,1	80,1
		5	44,8	71,8	9,8	221,2	12,4	368,2	94,6	162,2	17,4	72,7
		6	36,1	69,1	8,0	240,5	13,0	406,0	94,5	167,0	17,6	85,5
		7	29,4	76,8	11,4	350,0	18,7	529,2	81,0	166,9	17,3	84,0

u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 500 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals

Tabelle A-19: Untersuchung zur Futteraufnahme FA05/I; Konzentrationen der Alkane (mg/kg T) in Gras und Kot

Tier	Herde	Tag	Zeit	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36	
				Futter										
A-F	a	1	morgens	15,7	31,8	u.M.	131,2	7,5	166,3	u.M.	68,0	u.M.	u.M.	
			abends	15,6	28,2	5,6	120,6	7,5	165,8	75,9	76,2	u.M.	u.M.	
		2	morgens	13,3	27,1	u.M.	121,0	7,4	165,6	u.M.	71,4	u.M.	8,3	u.M.
			abends	12,6	23,9	u.M.	109,6	7,4	160,2	u.M.	78,2	u.M.	8,4	u.M.
		3	morgens	12,7	25,4	u.M.	120,3	7,4	175,2	u.M.	80,3	u.M.	8,4	u.M.
			abends	12,1	24,4	u.M.	108,7	7,1	173,2	u.M.	74,4	u.M.	7,8	u.M.
		4	morgens	11,5	24,8	u.M.	118,0	6,9	161,2	u.M.	71,5	u.M.	7,7	u.M.
	abends		11,2	23,5	u.M.	111,6	6,1	153,6	u.M.	69,6	u.M.	7,5	u.M.	
	5	morgens	13,0	25,4	u.M.	108,6	6,8	157,1	u.M.	83,6	u.M.	9,3	u.M.	
		abends	12,3	26,5	u.M.	108,1	6,1	138,6	u.M.	57,5	u.M.	6,3	u.M.	
	6	morgens	14,5	30,1	5,9	142,4	7,7	176,0	u.M.	59,1	u.M.	6,5	u.M.	
		abends	14,2	30,4	5,9	140,1	8,5	191,8	u.M.	82,1	u.M.	8,6	u.M.	
	7	morgens	13,8	25,8	u.M.	107,4	6,5	149,6	u.M.	66,3	u.M.	6,9	u.M.	
		abends	16,4	31,7	u.M.	117,5	6,6	169,8	u.M.	55,7	u.M.	5,9	u.M.	
1		morgens	15,8	31,2	u.M.	143,4	6,7	170,7	u.M.	64,5	u.M.	7,3	u.M.	
		abends	14,1	30,3	u.M.	148,2	6,7	171,6	u.M.	61,8	u.M.	6,5	u.M.	
2		morgens	18,3	32,7	u.M.	155,4	7,0	190,5	u.M.	77,3	u.M.	8,3	u.M.	
		abends	14,9	29,8	u.M.	158,1	6,7	197,7	u.M.	72,7	u.M.	7,3	u.M.	
3	b	morgens	17,6	34,7	5,1	170,4	7,5	212,3	u.M.	78,9	u.M.	7,9	u.M.	
		abends	14,0	28,5	u.M.	146,9	6,3	185,0	u.M.	72,0	u.M.	7,1	u.M.	
4		morgens	15,8	31,7	u.M.	177,5	7,2	232,5	u.M.	83,5	u.M.	7,8	u.M.	
		abends	15,4	31,1	u.M.	154,6	6,7	191,2	u.M.	71,2	u.M.	7,6	u.M.	
5		morgens	18,0	30,9	u.M.	169,9	6,0	208,0	u.M.	70,9	u.M.	6,3	u.M.	
		abends	14,0	35,1	u.M.	134,3	7,9	155,1	u.M.	66,2	u.M.	6,6	u.M.	

u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 500 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals

Fortsetzung Tabelle A-19

Tier	Herde	Tag	Zeit	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36	
								Futter						
		6	morgens	17,0	37,2	u.M.	121,7	8,0	156,0	5,1	78,2	8,9	u.M.	
			abends	15,0	32,7	u.M.	122,2	7,4	165,1	u.M.	75,9	8,2	u.M.	
		7	morgens	20,1	40,5	u.M.	160,0	9,1	197,6	u.M.	82,3	8,7	u.M.	
			abends	18,9	41,1	u.M.	160,1	8,7	190,5	u.M.	82,5	9,1	u.M.	
								Kot						
		1	morgens	36,3	87,5	12,6	364,1	17,1	441,1	173,0	154,4	9,9	139,4	
			abends	37,9	90,0	13,2	385,2	16,9	469,3	172,9	164,0	10,3	138,3	
		2	morgens	37,6	86,8	10,1	357,8	17,7	450,6	183,2	167,9	9,7	151,1	
			abends	42,9	99,4	11,1	342,6	17,4	425,9	153,8	157,3	13,0	135,6	
		3	morgens	37,8	89,0	13,4	379,6	17,1	463,3	168,1	164,4	13,3	140,7	
			abends	35,8	90,5	14,2	380,2	17,0	465,0	158,6	162,9	9,3	133,3	
		4	morgens	26,1	67,1	13,9	309,1	18,6	401,5	156,4	150,9	14,3	143,1	
			abends	39,6	87,7	15,5	383,5	21,6	456,3	155,7	159,4	15,0	140,6	
		5	morgens	35,0	90,3	11,7	376,2	17,5	438,0	159,7	144,7	7,6	154,3	
			abends	46,2	115,3	13,8	426,7	21,1	489,7	167,6	155,5	13,1	157,3	
		6	morgens	39,6	98,9	14,3	434,2	19,8	510,6	192,2	168,7	15,4	194,7	
			abends	44,0	104,1	14,2	428,7	19,3	496,3	149,8	160,9	13,2	134,3	
		7	morgens	35,8	97,3	10,8	400,3	20,1	479,4	172,8	158,3	0,0	151,9	
			abends	49,6	121,3	13,1	493,9	22,9	615,6	195,2	207,3	15,9	169,1	
		1	morgens	26,3	66,8	11,0	309,0	14,7	401,8	161,4	155,1	6,9	142,6	
			abends	34,4	84,0	12,6	381,5	18,7	499,2	205,4	197,5	16,9	163,9	
		2	morgens	26,3	69,9	9,5	325,0	17,0	439,1	163,0	176,1	16,9	146,5	
			abends	27,8	72,8	8,7	323,6	15,1	441,7	156,7	178,7	11,2	134,1	
		3	morgens	31,1	75,3	12,0	356,2	16,6	467,6	173,0	179,0	15,6	162,0	
			abends	27,6	70,5	10,5	337,0	16,3	447,4	193,0	170,4	14,7	181,6	

u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 500 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals



Fortsetzung Tabelle A-19

Tier	Herde	Tag	Zeit	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36
								Kot					
		2	morgens	30,9	74,8	7,6	321,4	14,5	428,9	237,8	168,6	13,9	210,7
			abends	24,2	63,3	9,5	293,7	16,7	406,3	224,8	167,3	15,8	222,7
		3	morgens	30,8	78,9	10,0	320,9	15,8	407,9	241,2	155,0	11,6	192,8
			abends	21,4	59,4	11,0	269,4	13,1	345,8	173,9	128,2	11,5	147,8
		4	morgens	22,7	48,7	10,1	242,5	15,4	330,4	202,7	128,3	14,6	173,4
	9		abends	32,6	70,3	12,6	315,1	18,1	371,7	194,4	122,7	13,8	176,8
		5	morgens	28,1	70,2	9,0	292,9	13,6	352,9	153,3	112,5	10,1	193,5
			abends	35,1	87,1	9,7	358,4	16,6	426,1	220,4	136,8	11,4	206,7
		6	morgens	35,3	84,7	13,4	380,4	17,4	453,6	261,0	138,6	12,6	235,3
			abends	39,1	94,3	15,2	406,7	18,2	481,3	229,0	145,7	12,5	207,3
		7	morgens	32,7	80,1	14,7	355,3	17,8	435,2	183,9	137,1	11,9	173,2
			abends	39,0	102,6	16,4	413,4	20,7	511,3	256,6	165,2	15,0	220,2
		1	morgens	36,3	87,1	16,2	392,0	24,1	507,6	194,3	196,3	20,5	192,4
			abends	29,7	70,5	11,2	339,0	15,8	461,5	236,2	178,9	13,7	171,1
		2	morgens	28,1	73,5	8,3	336,1	16,0	467,9	211,7	190,2	17,4	191,3
			abends	25,3	65,4	7,6	300,9	14,7	426,8	179,3	178,3	15,7	164,1
		3	morgens	24,7	60,0	9,3	291,1	13,9	387,9	189,9	147,2	0,0	148,4
			abends	29,4	76,6	12,3	356,9	16,9	467,4	212,7	174,8	10,4	192,2
		4	morgens	21,7	59,8	13,0	309,5	18,5	435,9	219,7	165,5	16,4	242,3
	9		abends	30,5	83,2	13,2	383,9	21,1	435,6	168,5	136,4	12,7	143,1
		5	morgens	32,9	90,6	11,0	387,9	17,8	444,9	162,4	136,1	u.M.	149,1
			abends	33,7	92,4	11,4	376,9	18,4	432,6	151,5	136,7	u.M.	127,1
		6	morgens	34,2	88,0	13,9	404,0	18,2	472,7	191,8	150,7	9,8	138,6
			abends	39,2	98,6	15,7	444,3	20,8	518,1	194,6	166,8	12,5	187,9
		7	morgens	32,0	89,9	12,7	425,3	22,1	551,7	190,3	174,6	16,8	157,0
			abends	40,1	99,8	15,5	426,6	21,7	550,0	157,2	181,9	15,8	145,4

Fortsetzung Tabelle A-19

Tier	Herde	Tag	Zeit	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36	
								Kot						
		1	morgens	37,1	89,2	13,1	407,3	20,5	513,6	251,3	181,8	16,4	170,9	
			abends	47,9	116,0	15,6	415,1	20,9	524,2	216,8	188,3	16,5	170,2	
		2	morgens	37,6	82,5	12,7	345,5	20,0	463,2	202,2	175,0	15,7	179,8	
			abends	29,0	62,6	10,9	276,8	17,1	391,2	97,8	151,6	16,2	84,5	
		3	morgens	32,7	72,1	8,5	331,8	14,8	440,8	206,7	163,0	9,3	183,7	
			abends	32,8	76,1	11,6	345,3	15,6	451,1	210,4	168,4	14,1	216,0	
F	9	4	morgens	22,0	58,6	8,6	273,6	16,0	372,8	216,0	140,3	11,3	218,0	
			abends	42,8	93,4	11,0	390,5	17,9	463,0	197,1	168,1	13,0	157,4	
		5	morgens	35,7	85,4	10,6	345,8	16,1	405,1	167,7	140,6	12,2	159,2	
			abends	42,3	107,6	12,4	414,5	20,5	490,6	195,5	173,1	16,4	189,3	
		6	morgens	31,8	83,2	11,6	383,2	16,4	460,7	182,3	151,9	10,7	139,0	
			abends	39,8	97,8	13,7	432,3	20,9	524,1	180,4	177,2	10,8	165,6	
		7	morgens	43,8	101,6	12,6	434,3	20,9	552,5	208,5	190,4	16,9	177,2	
			abends	45,4	108,1	17,6	443,3	23,6	566,1	176,6	202,3	17,7	155,4	
		1	morgens	41,9	93,0	11,5	443,3	17,0	557,8	195,6	202,2	18,1	178,1	
			abends	40,7	89,1	10,8	427,5	17,2	555,6	176,0	206,6	16,4	147,4	
		2	morgens	37,8	84,7	u.M.	427,2	u.M.	560,6	152,3	202,1	u.M.	154,7	
			abends	33,7	72,1	9,1	341,1	13,3	451,3	123,3	166,9	13,6	113,0	
A	10	3	morgens	37,7	83,5	10,9	411,3	17,2	551,3	157,2	195,7	16,2	136,7	
			abends	40,0	87,5	13,5	435,9	18,1	541,7	142,4	193,0	17,3	120,8	
		4	morgens	29,5	66,6	9,0	356,2	15,8	473,7	127,6	173,7	12,4	98,1	
			abends	38,5	99,2	14,1	434,5	22,3	519,7	189,8	187,0	16,0	150,2	
		5	morgens	36,3	97,3	12,7	426,4	19,1	512,0	216,9	189,1	15,7	205,9	
			abends	37,6	99,1	13,3	411,5	18,4	491,6	268,3	185,4	17,1	174,0	

Fortsetzung Tabelle A-19

Tier	Herde	Tag	Zeit	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36
A	10	6	morgens	42,9	108,6	12,0	425,5	19,8	536,8	176,8	203,3	17,8	164,0
			abends	32,3	91,1	9,8	390,8	17,7	489,6	205,4	184,6	16,8	188,9
		7	morgens	30,9	84,9	10,3	363,0	18,8	480,6	162,2	178,3	15,7	132,3
			abends	40,1	114,3	16,7	464,2	25,6	602,2	197,7	234,7	21,7	168,5
		1	morgens	39,6	92,8	9,4	421,8	16,1	535,0	162,8	196,9	16,4	144,3
			abends	38,3	83,5	10,2	419,4	15,8	536,0	185,3	197,5	15,9	160,0
2	morgens	37,7	94,7	10,6	416,6	15,7	523,3	173,3	185,9	12,8	148,8		
	abends	31,4	71,9	9,3	373,6	13,8	482,4	153,2	179,3	14,6	151,0		
3	morgens	36,2	72,1	12,8	391,1	17,6	548,8	251,1	194,9	17,8	220,8		
	abends	34,6	70,8	11,2	367,3	16,6	493,2	187,5	174,8	15,4	146,7		
4	morgens	22,1	57,7	8,3	313,0	13,5	426,1	159,6	154,5	14,0	149,5		
	abends	34,5	94,9	13,9	413,7	21,4	498,6	146,2	181,8	16,5	136,7		
5	morgens	36,3	101,0	13,6	439,9	20,1	530,2	195,9	203,5	18,9	185,1		
	abends	41,8	115,4	15,1	459,6	22,5	547,3	193,2	221,7	18,3	156,7		
6	morgens	36,3	106,9	12,3	428,3	20,7	526,5	212,0	209,8	18,4	197,5		
	abends	36,8	98,1	16,5	398,5	21,4	489,6	194,4	197,6	19,1	171,3		
7	morgens	45,6	125,8	12,1	474,2	21,7	591,2	247,5	228,4	16,6	217,0		
	abends	45,1	129,0	12,4	501,1	22,0	644,2	231,1	247,3	22,2	213,0		
1	morgens	41,4	98,3	11,6	427,7	20,6	529,6	147,7	190,9	15,3	174,8		
	abends	39,0	96,5	9,9	375,8	16,2	443,0	138,3	162,5	14,0	124,0		
2	morgens	40,0	96,1	10,1	439,8	16,3	547,5	204,8	193,1	15,0	154,5		
	abends	45,8	105,7	10,4	477,3	17,6	599,9	196,6	214,8	15,2	176,2		
3	morgens	35,7	77,6	11,9	406,9	18,0	537,7	170,4	193,0	18,3	141,6		
	abends	34,4	75,9	11,3	376,5	17,4	505,5	140,5	181,3	16,5	119,7		

Fortsetzung Tabelle A-19

		Kot												
C	4	morgens	28,3	70,5	9,0	348,7	15,2	457,4	136,9	164,9	14,4	122,0		
		abends	43,1	106,5	15,3	440,4	22,4	525,6	167,9	193,9	15,6	135,3		
	5	morgens	38,2	97,9	13,2	432,1	19,3	523,4	172,4	194,2	16,3	154,1		
		abends	43,8	109,3	14,6	462,6	21,2	562,3	218,8	214,2	18,3	167,8		
	6	morgens	37,9	97,7	9,4	406,8	18,0	519,1	207,0	204,6	u.M.	189,8		
		abends	43,4	111,1	15,9	430,1	22,0	543,0	176,1	217,9	20,5	162,1		
	7	morgens	40,6	99,3	14,1	403,6	20,6	524,9	210,6	211,6	20,5	179,3		
abends		44,5	119,4	15,9	468,1	23,5	581,1	237,6	228,0	22,6	212,9			
D	1	morgens	43,9	96,8	10,7	449,0	16,8	556,6	183,0	198,9	15,2	160,4		
		abends	38,6	87,2	8,3	407,1	16,4	498,3	145,6	188,1	15,0	135,9		
	2	morgens	36,3	84,0	7,7	364,3	13,1	441,5	102,9	160,3	11,6	89,3		
		abends	36,7	83,1	10,1	393,9	14,1	487,1	143,9	176,6	15,2	118,9		
	3	morgens	33,7	79,8	10,9	396,9	17,2	521,9	138,7	183,0	15,0	117,9		
		abends	30,6	70,5	10,0	346,3	15,2	447,1	96,0	164,1	15,6	77,5		
	4	morgens	18,3	48,6	7,4	246,0	11,7	321,0	95,8	120,0	12,3	82,6		
abends		28,2	76,5	10,6	333,4	16,8	405,7	113,2	153,8	15,1	99,8			
5	morgens	31,2	83,7	12,4	374,5	16,8	445,7	139,1	169,0	12,4	105,1			
	abends	33,4	91,2	11,5	392,3	17,8	460,1	133,6	181,6	15,2	104,6			
6	morgens	24,8	73,7	8,9	305,5	14,4	368,4	146,1	150,7	0,0	121,7			
	abends	32,5	89,4	12,5	352,1	19,0	421,5	145,6	172,2	18,2	120,9			
7	morgens	43,1	122,9	13,4	469,7	24,3	576,2	186,3	231,5	20,8	163,3			
	abends	43,3	118,9	11,3	446,3	20,7	554,9	165,2	217,6	18,8	144,5			
E	1	morgens	44,2	92,9	11,3	436,1	15,8	544,6	165,5	206,7	17,2	156,2		
		abends	46,7	95,4	12,8	424,0	15,5	540,6	162,2	202,6	10,5	130,4		

Fortsetzung Tabelle A-19

Tier	Herde	Tag	Zeit	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36		
Kot															
E	10	2	morgens	43,6	82,5	10,2	385,9	14,4	514,8	167,5	194,7	15,2	170,1		
			abends	40,9	76,3	8,4	348,3	13,2	469,2	132,6	178,1	12,9	114,3		
		3	morgens	43,5	80,8	10,7	386,0	17,8	530,2	176,3	206,4	17,6	137,0		
			abends	38,1	74,7	12,8	381,0	17,7	530,4	164,0	205,1	18,0	138,0		
		4	morgens	25,5	56,7	6,8	278,4	11,9	384,6	125,5	144,3	9,4	97,0		
			abends	35,3	81,3	13,3	314,1	17,1	382,3	118,6	150,2	14,1	101,7		
		5	morgens	38,1	89,9	11,2	343,5	14,3	404,8	157,2	153,8	10,7	111,7		
			abends	41,0	97,5	11,5	356,5	15,8	418,1	141,0	169,5	15,1	122,8		
		6	morgens	38,2	100,8	13,1	359,9	17,9	430,1	181,0	175,0	16,9	167,3		
			abends	48,5	118,5	13,1	404,9	21,0	489,4	163,5	193,3	17,6	132,3		
		7	morgens	46,4	111,0	15,8	468,6	20,3	575,2	208,0	228,6	22,8	185,4		
			abends	59,5	152,2	14,5	511,0	29,7	671,8	210,1	266,9	21,9	183,2		
		F	10	1	morgens	32,9	76,7	11,1	392,9	14,4	491,4	137,0	179,8	13,6	137,8
					abends	39,3	89,5	12,1	440,4	16,6	561,3	160,4	205,4	9,3	160,5
2	morgens			31,5	69,9	9,2	350,7	12,5	449,0	145,2	164,0	8,3	137,8		
	abends			35,4	80,0	10,1	340,7	13,2	435,6	159,7	154,4	u.M.	142,0		
3	morgens			35,2	73,8	11,1	389,1	16,8	512,5	185,5	180,8	16,0	180,3		
	abends			33,8	75,9	7,8	366,1	12,0	483,4	153,7	173,1	9,3	139,0		
4	morgens			30,2	62,1	10,0	333,3	15,9	449,0	174,9	165,3	14,6	145,6		
	abends			35,6	91,4	14,1	393,9	20,3	472,5	171,2	167,4	16,4	128,7		
5	morgens			31,8	89,0	10,9	391,6	16,0	456,7	178,3	157,3	8,4	134,6		
	abends			41,5	115,8	14,2	488,8	24,3	557,3	193,6	193,7	8,8	145,8		
6	morgens			38,4	114,3	16,7	455,3	23,5	534,1	200,1	202,4	20,5	194,7		
	abends			44,0	113,4	17,7	436,2	23,9	502,0	177,9	189,5	19,1	151,0		
7	morgens			40,6	111,6	16,3	442,9	22,9	511,2	179,6	186,0	18,2	163,6		
	abends			44,1	109,9	14,9	427,6	20,9	505,0	203,8	179,2	17,8	169,6		

Tabelle A-20: Untersuchung zur Futteraufnahme FA05/II; Konzentrationen der Alkane (mg/kg T) in Gras und Kot

Tier	Herde	Tag	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36
Futter												
A-F	a	1	20,4	43,1	4,9	152,5	9,1	227,1	5,1	86,5	8,8	u.M.
		2	20,6	45,9	4,6	153,7	9,3	208,1	4,9	85,2	8,9	u.M.
		3	17,2	37,7	4,4	138,9	9,2	206,8	4,6	80,6	8,0	u.M.
		4	17,6	38,3	4,2	145,9	8,7	211,5	4,4	81,9	8,6	u.M.
		5	20,1	42,9	4,6	155,3	8,7	222,7	4,9	81,9	8,3	u.M.
		6	17,5	37,5	4,2	153,5	9,8	232,2	5,7	97,2	11,0	u.M.
		7	14,1	29,1	4,4	140,6	9,8	231,2	4,9	99,7	10,4	u.M.
A-F	b	1	27,5	52,6	4,8	178,1	8,3	218,5	4,6	76,0	7,4	u.M.
		2	27,9	50,7	4,5	165,6	6,8	199,5	4,0	65,6	6,4	u.M.
		3	17,5	38,3	3,9	149,6	6,4	210,3	3,9	73,1	7,0	u.M.
		4	14,9	33,7	3,7	137,1	6,6	192,9	3,8	67,7	6,5	u.M.
		5	18,9	42,3	4,2	145,5	6,7	188,0	4,0	66,6	6,4	u.M.
		6	16,1	32,8	3,7	163,7	7,9	238,6	4,2	90,0	8,6	u.M.
		7	15,7	37,0	4,2	147,7	8,1	210,4	4,3	80,0	8,0	u.M.
Kot												
A	a	1-7	43,4	103,4	14,6	461,2	32,6	689,3	169,1	251,5	28,9	153,7
		1-7	65,2	157,8	16,3	526,8	30,6	718,1	160,7	209,0	22,4	161,8
		1-7	57,7	146,0	18,1	561,6	37,2	814,4	174,1	257,9	28,7	159,7
		1-7	48,2	117,5	14,9	461,3	30,7	669,4	155,7	228,5	25,7	144,0
		1-7	63,4	164,5	17,3	577,6	37,0	843,3	149,6	233,8	24,5	123,1
		1-7	53,9	149,2	16,0	474,8	31,4	698,0	155,5	235,0	27,2	138,7
A	b	1-7	54,6	137,9	13,5	478,9	26,6	694,3	151,0	216,4	22,2	141,8
		1-7	49,8	119,4	12,8	459,7	26,4	681,9	145,4	214,1	22,1	131,9
		1-7	68,4	149,4	14,4	519,9	28,5	746,2	176,0	233,8	24,4	155,6
		1-7	63,7	159,2	16,1	550,7	30,1	787,9	174,2	238,1	24,4	162,4
		1-7	60,0	150,5	15,2	552,9	31,6	792,2	160,0	230,6	22,9	149,1
		1-7	69,1	176,2	15,8	583,4	32,8	810,8	156,0	223,8	22,7	142,5

u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 500 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals

Tabelle A-21: Untersuchung zur Futteraufnahme FA05/III; Konzentrationen der Alkane (mg/kg T) in Gras und Kot

Tier	Herde	Tag	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36
Futter												
A-F	a	1	7,8	17,5	5,4	90,1	8,6	151,5	4,1	60,8	6,2	u.M.
		2	8,4	18,0	5,8	97,3	10,1	182,9	6,6	90,5	9,8	u.M.
		3	7,5	18,7	6,3	101,9	10,0	175,3	5,1	72,3	7,4	u.M.
		4	7,7	19,5	6,8	105,7	10,8	182,0	4,8	70,7	7,0	u.M.
		5	8,3	20,4	6,9	109,2	11,0	198,7	6,6	90,6	9,2	u.M.
		6	7,7	19,1	6,1	96,8	10,5	184,4	6,7	87,3	9,0	u.M.
		7	8,0	19,2	6,7	99,7	11,3	191,3	7,4	94,2	9,8	u.M.
A-F	b	1	7,8	19,5	6,4	101,8	10,1	166,4	5,1	71,8	7,3	u.M.
		2	8,1	20,2	6,4	107,6	10,4	189,2	5,3	74,0	6,4	u.M.
		3	8,3	19,5	6,6	107,8	10,8	172,3	6,0	62,8	5,7	u.M.
		4	8,3	20,7	6,9	116,9	11,1	177,9	4,8	55,6	0,0	u.M.
		5	8,4	22,2	6,9	120,0	12,1	196,3	6,2	77,5	7,5	u.M.
		6	7,7	19,4	6,7	104,7	10,5	182,2	6,2	78,2	7,9	u.M.
		7	8,1	19,8	6,3	103,5	10,1	188,1	5,9	87,0	8,6	u.M.
Kot												
A	a	1-7	21,5	54,6	16,2	315,9	31,7	544,8	110,8	181,6	18,6	99,4
		1-7	22,4	58,2	13,7	326,2	32,0	527,6	107,1	168,6	17,2	97,0
		1-7	22,1	57,8	13,6	344,0	35,0	600,6	127,6	204,8	21,2	107,7
		1-7	23,0	56,7	13,4	324,7	30,3	516,5	126,5	159,3	16,1	111,6
		1-7	22,5	57,2	13,1	334,0	33,2	567,7	101,7	183,2	18,9	84,6
		1-7	20,8	54,3	12,5	315,9	32,0	558,3	114,2	200,9	20,8	93,4
A	b	1-7	21,1	61,5	16,8	355,4	33,4	615,7	109,1	188,8	19,0	91,5
		1-7	21,3	62,8	16,7	361,9	34,3	604,5	121,9	177,1	17,5	102,8
		1-7	21,6	63,5	17,1	366,1	35,3	649,0	106,7	195,8	19,6	90,0
		1-7	21,3	61,1	15,4	345,2	33,7	597,4	121,5	200,9	20,4	102,9
		1-7	21,4	60,3	15,7	351,4	33,1	591,9	155,1	186,0	19,2	106,4
		1-7	21,6	60,8	16,5	364,9	34,3	634,0	121,7	194,6	19,6	101,1

u.M. = unterhalb der definierten Messgrenze von 500 Flächeneinheiten des gaschromatographischen Signals

Tabelle A-22: Geschätzte Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe (%) auf der Basis von Alkanen

Versuch	Tier	Herde	OM				XP			
			C27	C29	C31	C33	C27	C29	C31	C33
FA05/I	A	a	79,3	74,4	71,6	74,8	68,0	60,5	56,2	61,1
	B		75,8	72,9	71,7	76,7	63,8	59,5	57,6	65,2
	C		75,8	72,9	72,6	77,7	64,9	60,8	60,3	67,7
	D		75,7	71,8	69,8	73,5	65,1	59,4	56,6	61,9
	E		76,6	73,8	72,3	76,0	67,3	63,5	61,4	66,5
	F		78,2	73,9	72,3	76,3	66,8	60,2	57,7	63,8
	A	b	71,2	72,3	72,6	76,5	57,5	59,1	59,5	65,4
	B		73,0	73,4	73,6	77,9	59,1	59,7	60,0	66,4
	C		72,8	72,7	72,6	76,8	59,2	59,0	58,9	65,3
	D		74,4	74,5	74,0	78,4	59,8	60,0	59,1	66,0
	E		65,8	66,6	67,0	73,2	55,9	56,9	57,5	65,5
	F		71,2	71,7	70,9	74,6	56,0	56,8	55,6	61,2
FA05/II	A	a	73,2	73,6	73,9	71,5	64,5	65,1	65,4	62,3
	B		83,4	78,1	76,2	67,5	80,9	74,9	72,7	62,7
	C		80,2	77,4	76,9	71,0	77,1	73,9	73,4	66,5
	D		77,2	74,5	74,0	69,6	71,5	68,1	67,5	62,1
	E		82,1	77,7	77,3	67,5	79,3	74,1	73,7	62,3
	F		82,0	75,2	75,1	70,5	79,0	71,1	70,9	65,6
	A	b	76,8	75,7	77,5	74,4	75,0	73,9	75,8	72,4
	B		73,5	75,0	77,4	74,4	68,0	69,8	72,7	69,1
	C		77,7	76,7	78,2	75,3	74,2	73,1	74,9	71,4
	D		78,9	77,8	79,2	75,5	77,7	76,6	78,1	74,2
	E		76,8	77,1	78,6	73,8	75,7	76,0	77,5	72,5
	F		79,6	77,6	78,4	72,1	78,4	76,3	77,1	70,5
FA05/III	A	a	74,3	72,8	71,5	61,7	69,9	68,1	66,6	55,1
	B		75,1	72,8	69,6	57,4	71,2	68,5	64,8	50,8
	C		74,9	74,1	73,2	64,9	72,6	71,7	70,7	61,6
	D		75,6	73,8	70,2	56,8	71,8	69,7	65,6	50,1
	E		74,3	73,0	71,3	60,2	72,9	71,5	69,7	58,0
	F		74,0	72,6	72,0	65,2	70,2	68,6	67,9	60,1
	A	b	72,2	75,1	76,0	68,8	69,7	72,9	73,9	66,0
	B		72,9	75,7	75,7	66,9	69,5	72,6	72,6	62,8
	C		73,4	76,1	77,5	70,3	70,6	73,6	75,2	67,2
	D		71,6	74,0	74,9	70,3	70,2	72,7	73,7	68,8
	E		71,1	74,3	74,6	67,8	67,2	70,9	71,2	63,4
	F		71,0	75,0	76,0	68,8	70,2	74,3	75,4	68,0
			XL				XF			
FA05/I	A	a	26,1	8,8	-1,2	10,1	74,2	68,1	64,7	68,6
	B		29,1	20,6	16,9	31,8	71,9	68,5	67,1	73,0
	C		27,5	18,9	17,8	33,1	71,0	67,5	67,1	73,2
	D		14,6	0,7	-6,2	6,7	69,9	65,0	62,6	67,2
	E		12,2	2,0	-3,6	10,0	69,8	66,3	64,3	69,0
	F		27,7	13,3	8,0	21,3	72,5	67,0	65,0	70,0

Fortsetzung Tabelle A-22

Versuch	Tier	Herde	XL				XF			
			C27	C29	C31	C33	C27	C29	C31	C33
FA05/I	A	b	22,0	24,9	25,7	36,5	67,8	69,0	69,3	73,8
	B		26,8	27,9	28,4	40,0	72,1	72,5	72,7	77,1
	C		20,0	19,5	19,3	31,8	69,4	69,2	69,1	73,9
	D		22,6	22,9	21,3	34,5	72,1	72,2	71,6	76,4
	E		14,2	16,1	17,3	32,8	59,1	60,0	60,5	67,9
	F		28,8	30,0	28,1	37,2	64,3	64,9	63,9	68,5
FA05/II	A	a	9,0	10,4	11,3	3,2	62,9	63,4	63,8	60,5
	B		60,5	48,0	43,6	22,8	75,5	67,8	65,1	52,2
	C		41,2	32,9	31,5	13,9	75,0	71,4	70,8	63,3
	D		22,8	13,7	12,0	-2,6	73,6	70,5	69,9	64,9
	E		56,2	45,2	44,5	20,3	77,3	71,6	71,3	58,7
	F		47,3	27,4	26,9	13,5	79,4	71,6	71,4	66,2
	A	b	47,3	44,9	49,0	41,8	72,8	71,5	73,7	69,9
	B		27,6	31,8	38,3	30,1	63,7	65,8	69,0	64,9
	C		39,4	36,7	40,9	32,8	71,5	70,3	72,3	68,5
	D		44,9	42,2	45,8	36,2	74,2	72,9	74,6	70,1
	E		35,3	36,0	40,1	26,8	72,6	72,9	74,6	69,0
	F		47,7	42,7	44,7	28,6	76,3	74,0	74,9	67,7
FA05/III	A	a	10,4	5,0	0,4	-33,6	66,1	64,1	62,4	49,5
	B		7,9	-0,8	-12,6	-57,6	72,0	69,3	65,7	52,0
	C		19,0	16,4	13,5	-13,5	70,0	69,0	67,9	57,9
	D		10,4	4,0	-9,1	-58,2	71,5	69,5	65,4	49,7
	E		18,6	14,5	9,1	-26,1	64,7	62,9	60,6	45,4
	F		14,4	9,7	7,7	-14,8	67,4	65,6	64,8	56,3
	A	b	11,9	21,1	24,0	1,3	65,5	69,1	70,3	61,4
	B		-0,5	9,8	9,9	-22,6	68,3	71,5	71,5	61,3
	C		3,6	13,4	18,5	-7,6	64,0	67,7	69,5	59,8
	D		-2,1	6,4	9,7	-6,9	66,7	69,5	70,5	65,1
	E		-19,5	-6,2	-5,2	-33,4	62,7	66,8	67,1	58,4
	F		-5,1	9,4	13,0	-12,9	61,1	66,4	67,8	58,2
			NDF				ADF			
FA05/I	A	a	76,2	70,6	67,4	71,0	77,6	72,4	69,4	72,8
	B		71,6	68,2	66,7	72,7	70,6	67,0	65,5	71,7
	C		70,9	67,4	67,0	73,1	73,8	70,7	70,3	75,8
	D		71,5	66,8	64,5	68,9	73,8	69,6	67,4	71,4
	E		72,3	69,0	67,2	71,5	72,4	69,2	67,5	71,7
	F		74,3	69,2	67,3	72,0	78,2	73,9	72,3	76,3
	A	b	63,1	64,5	64,9	70,0	66,2	67,5	67,9	72,5
	B		68,1	68,6	68,8	73,8	69,5	70,0	70,2	75,0
	C		68,6	68,4	68,3	73,2	71,6	71,4	71,3	75,8
	D		70,0	70,1	69,5	74,6	72,1	72,2	71,6	76,4
	E		55,4	56,4	57,0	65,1	61,6	62,5	63,0	69,9
	F		66,0	66,6	65,7	70,0	71,0	71,5	70,7	74,4

Fortsetzung Tabelle A-22

Versuch	Tier	Herde	NDF				ADF			
			C27	C29	C31	C33	C27	C29	C31	C33
FA05/II	A	a	72,1	72,6	72,9	70,4	68,2	68,7	69,0	66,2
	B		81,5	75,6	73,5	63,8	79,2	72,7	70,3	59,4
	C		79,0	76,0	75,5	69,3	75,8	72,3	71,8	64,5
	D		74,5	71,5	70,9	66,1	73,1	69,9	69,3	64,2
	E		78,6	73,3	72,9	61,1	78,1	72,6	72,3	60,2
	F		80,1	72,5	72,4	67,3	77,9	69,4	69,2	63,6
	A	b	73,1	71,9	74,0	70,3	72,8	71,5	73,7	69,9
	B		69,9	71,6	74,4	70,9	70,2	71,9	74,6	71,2
	C		73,8	72,7	74,5	71,0	73,3	72,1	73,9	70,4
	D		74,5	73,2	74,9	70,5	74,1	72,8	74,5	70,0
	E		72,0	72,4	74,1	68,4	72,3	72,6	74,4	68,7
	F		75,9	73,5	74,5	67,1	73,8	71,3	72,3	64,3
FA05/III	A	a	72,0	70,3	68,9	58,2	66,8	64,8	63,1	50,5
	B		73,8	71,3	68,0	55,1	69,7	66,8	62,9	48,1
	C		72,2	71,4	70,4	61,1	68,2	67,2	66,0	55,5
	D		72,0	70,0	65,9	50,5	71,7	69,7	65,6	50,1
	E		67,2	65,6	63,4	49,2	65,3	63,5	61,2	46,2
	F		69,3	67,6	66,9	58,8	67,6	65,9	65,1	56,6
	A	b	65,0	68,7	69,8	60,8	66,3	69,9	71,0	62,3
	B		68,5	71,7	71,8	61,6	69,4	72,5	72,5	62,7
	C		65,5	69,0	70,8	61,4	66,8	70,2	71,9	62,9
	D		62,8	65,9	67,2	61,1	68,9	71,5	72,5	67,4
	E		62,9	67,0	67,3	58,6	67,6	71,2	71,5	63,9
	F		61,2	66,5	67,9	58,3	64,6	69,5	70,7	62,0

Tabelle A-23: Kalkulierte Wiederfindungen (%) aus den Alkankonzentrationen nach Ofentrocknung bei 65 und 105 °C

Versuch	Tier	Herde	C25	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C35	C36
65°C												
B05/I	A	a	66,6	81,5	93,2	99,5	113,5	103,5	96,1	76,3	52,2	90,2
	B		93,7	103,0	96,4	110,9	118,8	106,0	100,5	73,3	49,6	96,3
	C		74,1	87,0	94,2	97,3	108,0	93,2	96,3	71,3	49,0	97,0
	D	b	97,2	103,9	100,5	99,1	111,6	105,6	97,7	89,5	0,0	131,7
	E		79,2	88,9	104,1	92,9	107,3	94,3	87,5	72,7	55,7	85,8
	F		79,9	89,9	105,4	87,8	104,9	90,1	102,5	71,0	51,7	100,3
B05/II	A	a	67,9	81,9	81,6	90,5	90,8	95,3	103,3	100,7	101,1	104,4
	B		65,5	78,9	80,4	86,1	88,8	85,8	89,6	83,5	87,5	93,2
	C		65,5	82,4	79,2	92,1	94,8	95,4	114,7	99,3	99,7	115,3
	D	b	82,6	93,9	73,8	92,2	92,5	96,9	97,2	102,0	101,4	94,6
	E		73,4	87,0	61,7	88,6	90,5	95,1	98,0	101,4	100,4	100,7
	F		71,5	82,2	66,5	84,6	85,5	91,6	120,6	93,9	95,3	129,5
105°C												
B05/I	A	a	68,1	76,9	85,6	89,4	94,8	93,2	95,3	79,1	0,0	96,9
	B		107,3	109,9	102,7	111,7	109,0	104,8	102,7	82,7	55,3	98,1
	C		79,8	84,7	91,5	95,0	97,7	96,3	95,6	80,5	60,9	101,3
	D	b	108,7	98,7	82,7	90,2	92,3	95,7	77,8	81,3	56,9	80,3
	E		77,8	88,2	89,5	92,7	106,6	94,6	102,9	73,4	59,8	103,3
	F		77,8	83,4	72,0	88,5	90,5	96,8	114,2	85,9	57,6	114,7
B05/II	A	a	72,1	75,5	73,5	85,4	78,4	90,8	101,4	97,5	98,4	104,3
	B		82,0	84,8	86,6	90,6	88,6	89,9	95,4	88,9	94,3	97,3
	C		75,3	85,4	81,2	92,3	89,5	95,6	116,0	101,9	100,7	115,8
	D	b	74,5	84,9	66,8	87,5	88,3	95,0	97,2	106,2	108,8	98,6
	E		69,9	83,3	69,7	86,0	85,8	94,0	98,1	103,9	102,1	100,4
	F		68,3	81,6	74,1	85,7	85,0	94,4	132,1	101,0	102,4	134,0

### **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation „Untersuchungen zur Futteraufnahme und Futterselektion weidender Rinder unter Nutzung von *n*-Alkanen“ selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Ebenso erkläre ich, dass mit dieser wissenschaftlichen Arbeit noch keine vergeblichen Promotionsversuche unternommen wurden.

Des Weiteren erkläre ich, dass keine Strafverfahren gegen mich anhängig sind.

Halle/Saale, den 10.08.2007

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich ein paar Worte an all diejenigen richten, die mir mit Hilfe, Rat aber auch Kritik zur Seite gestanden und somit wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Für die Überlassung des Themas, das in mich gesetzte Vertrauen sowie die fachliche und wissenschaftliche Betreuung, gilt mein besonderer Dank Herrn **Prof. Dr. M. RodehutsCORD**.

Ein weiterer besonderer Dank gilt Frau **Dr. J. Boguhn**, die bei jeder Art von Fragen und Problemen stets hilfsbereit und mit offenem Ohr da war. Ihre Unterstützung und das Vertrauen in meine Person hat mich sowohl in meiner Arbeit am Institut als auch persönlich sehr geprägt. Danke, dass Du mir immer zugehört hast. Ich wünsche dir ganz viel Glück bei allem was kommen mag.

Herrn **Dr. C. Elwert** danke ich in Zusammenhang mit dieser Arbeit für die Einarbeitung sowie die fachliche Unterstützung.

Weiterhin danke ich allen Mitarbeitern des Zentrums für Tierhaltung und Technik in Iden, ohne deren Hilfe ein reibungsloser Ablauf der Versuche nicht möglich gewesen wäre. Mein spezieller Dank für ihre Unterstützung gilt dabei **Dr. G. Heckenberger, E. Ebert, W. Wartenberg, H. Berkau, H. Zarwel, E. Zarwel, und L. Rose**.

In diesem Zusammenhang möchte ich auch **U. Mitsch** erwähnen, die, durch das gemeinsame Bearbeiten eines Co-Projektes, mein regelmäßiger Begleiter auf den Versuchsflächen war. Ich danke ihr und ihrer Familie für die Gastfreundschaft und die interessanten abendlichen Gespräche.

Für die fachlichen Diskussionen und die stete Hilfsbereitschaft danke ich meiner Arbeitsgruppe. Auch die gemeinsamen Grill- und Bowlingabende mit **Dr. H. Kluth, Dr. M. Bulang, T. Baumgärtel, M. Witzig, R. Hempel, C. Ganzer, Dr. M.R. Rezvani, Dr. A. Dieckmann, R. Krüger und B. Hildebrand** werden mir in guter Erinnerung bleiben.

Weiterhin gilt mein Dank den technischen Mitarbeitern **I. Rapp**, **H. Lehmann**, **A. Schmidt**, **I. Günther** und **N. Marcus** ohne deren Hilfe ich einige Sonderschichten im Labor hätte einlegen müssen. Ich danke ebenso den Mitarbeitern **K. Isaak** und **N. Lauch**.

Meiner Freundin **C. Birkenfeld** möchte ich, neben den fachlichen Gesprächen, vor allem für die tolle Zeit in Halle und alle unsere gemeinsamen Tage und Abende danken. Sie hat sowohl das Studentenleben als auch meine Arbeit im Institut sehr geprägt und stand immer mit Rat und Tat an meiner Seite. Danke Carmen, pass gut auf Dich und den Kurzen auf.

Auch allen anderen privaten Wegbegleitern möchte ich auf diesem Weg danken. Mein besonderer Dank gilt dabei **D. Möller**, **K. Gransalke**, **K. Neudeck**, **A. Becker** und **S. Gabriel**, die mich auf diesem Weges begleitet, immer unterstützt sowie an mich geglaubt haben. Danke auch für einen immerwährenden Gedankenaustausch und dass mir gezeigt wurde, dass es sich lohnt auch mal in andere Richtungen zu denken.

Meiner **Familie** bin ich sehr dankbar für die Unterstützung, die ich in der ganzen Zeit meiner Ausbildung erfahren habe. Sie haben mich immer spüren lassen wie stolz sie sind und mir mit ihrer Liebe die Kraft gegeben alles zu meistern und jeden Berg zu erklimmen. Danke, dass ihr immer für mich da seid.

Letztendlich danke ich auf diesem Weg allen die mich in der Zeit, in der diese Arbeit entstanden ist, begleitet und an mich geglaubt haben. Vielen Dank an alle Mitarbeiter des Instituts für Agrar- und Ernährungswissenschaften, die direkt oder indirekt zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben und namentlich nicht erwähnt wurden.

**Lebenslauf****Persönliche Daten**

Name: Linda Peters  
Geburtstag: 21.07.1980  
Geburtsort: Magdeburg  
Nationalität: deutsch

**Ausbildung**

1987 – 1990      Grundschule in Wanzleben  
1990 – 1993      Grund- und Sekundarschule in Magdeburg  
1993 – 1999      Humboldt-Gymnasium in Magdeburg  
07 / 1999      Abschluss: Abitur (Note: 1,7)  
1999 – 2004      Studium der Agrarwissenschaften an der Landwirtschaftlichen  
Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
04 / 2004      Abschluss: Diplom (Dipl.-Ing. agr.) (Note = 1,7)  
Diplomarbeit zum Thema: „Auswirkungen eines Zusatzes von Phytase  
zum Futter für Puten“  
2004 – 2007      Promotionsstudentin am Institut für Agrar- und Ernährungs-  
wissenschaften an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der  
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
seit 04 / 2007      Referendariat am Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des  
Landes Sachsen-Anhalt