

Aus dem Institut für Tierernährung

Ludwig Schmidt
Peter Lebzien

Friedrich Weissbach
Tatjana Hoppe

Methodische Untersuchungen zur Verwendung von n-Alkanen als Marker zur Ermittlung der Futteraufnahme bei Rindern

Veröffentlicht in: Landbauforschung Völkenrode 54(2004)1: 27-34

Braunschweig

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)

2004

Methodische Untersuchungen zur Verwendung von n-Alkanen als Marker zur Ermittlung der Futteraufnahme bei Rindern

Ludwig Schmidt¹, Friedrich Weissbach², Peter Lebzien³ und Tatjana Hoppe⁴

Zusammenfassung

Zur Ermittlung der Wiederfindungsrate von n-Alkanemarkern wurden Bilanzversuche mit 4 pansenfistulierten, trockenstehenden Holstein-Friesian-Kühen durchgeführt. Die Kühe erhielten täglich 7 kg Wiesenheu als alleiniges Futter und 18 Tage lang 1,200 g n-Dotriacontan (C₃₂) als externen Marker. Der Marker wurde in Gelatinekapselform über die Pansenfisteln in den Pansen appliziert. Während der letzten 7 oder 8 Tage wurde der Kot gesammelt und beprobt. Außer dem externen Marker (C₃₂) ist auch das im Heu natürlich vorkommende n-Tritriacontan (C₃₃) im Kot und im Heu gaschromatografisch bestimmt worden.

Die Wiederfindungsraten beider n-Alkane (C₃₂ und C₃₃) waren annähernd gleich und lagen bei 95 %. Bei Verwendung dieser Wiederfindungsrate ergab sich nach den C₃₃-Gehalten im Futter und im Kot eine Verdaulichkeit der organischen Substanz, die gut mit der im Bilanzversuch mit Kühen gemessenen übereinstimmt (76,8 bzw. 76,5 %). Es wird empfohlen, eine Wiederfindungsrate von 95 % für C₃₂ zur Ermittlung der Futteraufnahme bei weidenden Rindern in Verbindung mit einer Schätzung der Verdaulichkeit mittels interner Marker zu verwenden. Zur Schätzung der Verdaulichkeit ist der Kotstickstoffgehalt eine geeignete Alternative für den internen C₃₃-n-Alkanmarker, vor allem auf der Weide.

Schlüsselwörter: Futteraufnahme, Marker, n-Alkane, Verdaulichkeit, Rind

Abstract

Methodical investigations on the use of n-alkanes as markers for estimation of feed intake of cattle

In order to measure the recovery rate of n-alkane markers, balance trials with 4 rumen fistulated non lactating Holstein-Friesian cows were carried out. The cows were fed 7 kg grass hay as the only feed and treated for 18 days with 1.200 g of n-dotriacontane (C₃₂) as an external marker per day. After including the marker in gelatine capsules, it was administered into the rumen via fistula. During the last 7 or 8 days faeces were collected and subsembled. Apart from the external marker (C₃₂), n-tritriacontane (C₃₃) was used as internal marker, which is known to be naturally present in grass hay. The determination of both markers in grass hay and faeces was carried out applying a gaschromatography procedure.

The recovery rates of both n-alkanes (C₃₂ and C₃₃) were nearly the same amounting to 95 %. Using this recovery rate, the organic matter digestibility estimated on the basis of C₃₃ contents in feed and faeces was in good accordance with the digestibility value measured in the balance trial (76,8 % or 76,5 % resp.). It is recommended to use the value of 95 % for the recovery rate of C₃₂ when the feed intake of grazing cattle is estimated together with the estimation of the digestibility by means of an internal marker. For digestibility estimation, the nitrogen content of faeces is proved to be a suitable alternative to the internal C₃₃-n-alkane marker, especially for measurements on pasture.

Key words: feed intake, marker, n-alkanes, digestibility, cattle

¹ Der Verfasser war wissenschaftlicher Mitarbeiter des ehemaligen Instituts für Grünland- und Futterpflanzenforschung der FAL. Anschrift (privat): Franz-Fühmann-Weg 19, 18069 Rostock

² Der Verfasser war Leiter des ehemaligen Instituts für Grünland- und Futterpflanzenforschung der FAL. Anschrift (privat): Gösselweg 12, 18107 Elmenhorst

³ Institut für Tierernährung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

⁴ Die Verfasserin war wissenschaftliche Mitarbeiterin des ehemaligen Instituts für Grünland- und Futterpflanzenforschung der FAL. Anschrift (privat): Möwenweg 19, 26160 Bad Zwischenahn

1 Einleitung und Zielstellung

Seit den Arbeiten von Mayes und Lamb (1984) sowie Mayes et al. (1986) ist die Verwendung von n-Alkanen als Marker zur Ermittlung der Futteraufnahme weithin bekannt. N-Alkane kommen in den kutikulären Wachsschichten der Pflanzen vor und gelten als weitgehend unverdaulich, was ihre Eignung als Markersubstanzen begründet. Die in Frage kommenden Substanzen haben zwischen 25 und 36 C-Atome (Beek et al., 1997, Unal et al., 1997). Dabei ist zu unterscheiden zwischen natürlich als Pflanzenstoffe auftretenden n-Alkanen mit ungerader Anzahl von C-Atomen und synthetisch hergestellten n-Alkanen mit gerader Anzahl von C-Atomen, die in Pflanzen nicht oder nur in geringen Mengen vorkommen. Pflanzeigene n-Alkane können als interne Marker, synthetische (dem Futtermittel zugesetzte) n-Alkane als externe Marker verwendet werden. Zur Ermittlung der Futteraufnahme werden interne und externe Marker kombiniert. Mit internen Markern wird die Verdaulichkeit bzw. Unverdaulichkeit des Futters, mit externen die ausgeschiedene Kotmenge bestimmt. Aus beiden Größen gemeinsam lässt sich die aufgenommene Futtermenge errechnen. Mit welcher Genauigkeit das möglich ist, wurde bisher jedoch noch nicht hinreichend untersucht (Olivan und Osoro, 1995).

Im Rahmen von Versuchen zur extensiven Weidehaltung von Jungrindern und speziell zur selektiven Futteraufnahme unter solchen Weidebedingungen (Schmidt et al., 1999a und 1999b) wurde versucht, die Futteraufnahme der einzelnen Weidetiere mit Hilfe der n-Alkan-Methode nach Mayes et al. (1986) unter Verwendung von n-Dotriacontan (C_{32}) als externen Marker zu messen. In den hier dargestellten vorbereitenden methodischen Untersuchungen, die vom ehemaligen Institut für Grünland und Futterpflanzenforschung gemeinsam mit dem Institut für Tierernährung der FAL durchgeführt wurden, galt es vor allem zu klären, mit welcher Wiederfindungsrate bei Verabreichung dieses Markers an Rinder zu rechnen ist. Zu diesem Zweck wurde ein Versuch mit trockenstehenden, ausschließlich mit Heu gefütterten Kühen durchgeführt. Der Marker ist den Kühen über eine Pansenfistel direkt in den Pansen verabreicht worden. Aus der Bilanz von aufgenommenen und mit dem Kot ausgeschiedenen Markermengen konnte die Wiederfindungsrate berechnet werden. In ähnlicher Weise sollte auch die Wiederfindungsrate des internen, im verfütterten Heu enthaltenen n-Alkanemarkers n-Tritriacontan (C_{33}) ermittelt werden, mit dem Unterschied, dass sich in diesem Falle die verabreichte Markermenge aus dem n-Alkangehalt und der Menge des verfütterten Heus ergab. Unter den Bedingungen der Stallfütterung schien dieser Marker für die Bestimmung der Verdaulichkeit geeignet zu sein; im Hinblick auf die vorgesehenen Weideversuche dagegen weniger, weil n-Alkanbestimmungen im Weidegras wegen der Möglichkeit zur

selektiven Futteraufnahme häufig nicht repräsentativ für das tatsächlich verzehrte Futter sind. Deshalb war zu prüfen, inwieweit die zur Futteraufnahmebestimmung erforderliche Verdaulichkeit auch auf anderem Wege, u. a. mit einer futterprobenunabhängigen Methode ermittelt werden kann. Dazu bot sich die Kotstickstoff-Methode an (Schmidt et al., 1999a), bei der der Stickstoffgehalt des Kotes als Marker benutzt wird.

Das Ziel der Untersuchungen war es, die Eignung des C_{32} -n-Alkans in Verbindung mit verschiedenen internen Markern zur Verdaulichkeitsschätzung für die Ermittlung der Futter- und Energieaufnahme an Rindern zu testen und die Genauigkeit dieser Methode durch den Vergleich mit In-vivo-Ergebnissen zu beurteilen.

2 Material und Methoden

2.1 Tierversuche

Mit 4 trockenstehenden und mit Pansenfisteln versehenen Holstein-Friesian-Kühen wurden 1997 im Versuchsstall des Institutes für Tierernährung der FAL Untersuchungen zur n-Alkan-Wiederfindungsrate und zur In-vivo-Verdaulichkeit von Heu durchgeführt. Durch getrennte Futtertröge und Kotwannen war die quantitative Erfassung der Futter- und Kotmengen bei jedem Einzeltier möglich. Der Harn wurde über Urinale abgeleitet. Jede Kuh erhielt täglich 7 kg Wiesenheu als alleiniges Futter. Mit Ausnahme der Kuh Nr. 4 haben alle Kühe die vorgelegte Heuration immer vollständig verzehrt. Für den Versuch waren eine 14-tägige Vorperiode und eine 10-tägige Hauptperiode vorgesehen. Die ersten 4 Tage der Vorperiode dienten der Gewöhnung an das Futter und die Versuchsbedingungen. Vom 5. Tag der Vorperiode an wurden den Kühen über die Pansenfisteln täglich einmal je 1,200 g n-Dotriacontan (C_{32}) in 10 ml fassenden Gelatinekapselformen in den Pansen verabreicht. Mit dem 15. Versuchstag begann die Hauptperiode und damit die Kotsammlung. Wegen zunehmender Probleme mit den Urinalen (Wundscheuern an der Scheide) ist die Hauptperiode bei den Kühen 1 und 3 auf 8 Tage und bei den Kühen 2 und 4 auf 7 Tage verkürzt worden. Nach Lebzien et al. (2001) reicht jedoch eine 5-tägige Sammelperiode für reproduzierbare Ergebnisse bei Milchkühen aus. Bei Kuh Nr. 2 musste auf die Verwendung des Urinals ganz verzichtet werden. Um die Kotzusammensetzung durch Urin nicht zu verfälschen, wurde in diesem Falle zur chemischen Analyse nur frisch abgesetzter Kot gesammelt. Von den täglichen Gesamtkotmengen jeder Kuh wurden nach guter Durchmischung 5 % als Tageskotprobe abgenommen und tiefgefroren. Nach Beendigung des Versuches sind von den Tageskotproben erneut Teilproben entnommen und – gewichtet nach der Gesamtkotmenge der einzelnen Tage – zu einer Sammelprobe je Tier vereinigt worden. Die Proben wurden bei 60 °C getrocknet und für die chemi-

sche Analyse auf 1 mm Siebdurchgang vermahlen. In diesen Kotsammelproben und in einer Probe des verfütterten Heus erfolgte die Bestimmung der n-Alkan- und der Roh-nährstoffgehalte.

Das an die Kühe verfütterte Heu ist in zwei Verdauungsversuchen nach den Leitlinien für die Bestimmung der Verdaulichkeit von Rohnährstoffen an Wiederkäuern (GfE, 1991) auch an jeweils 4 Schafe verabreicht worden, mit dem Ziel, zur Absicherung der Ergebnisse die In-vivo-Verdaulichkeit nicht nur mit Kühen, sondern vergleichsweise auch mit Schafen zu bestimmen.

2.2 Chemische Analysen und Berechnung der Futter- sowie Energieaufnahme

Die n-Alkan-Analysen wurden nach der im ehemaligen Institut für Grünland- und Futterpflanzenforschung der FAL modifizierte Methode von Mays et al. (1986) durchgeführt.* Das Prinzip der Methode ist durch folgende grundlegenden Untersuchungsschritte gekennzeichnet:

- Extraktion von 3 g Trockenfutter bzw. 1 g Trockenkot mit Petroliumbenzin im Soxlethapparat (6 Stunden bei Futter und 40 Minuten bei Kot),
- Verseifung mit alkoholischer 1-molarer Kalilauge,
- Abtrennung und Reinigung des Unverseifbaren an Kieselgel,
- gaschromatografische Bestimmung des n-Alkans im Unverseifbaren unter Verwendung von n-Tetratriacontan (C₃₄) als internen Standard.

Die Auswahl des externen (C₃₂) und des internen (C₃₃) n-Alkanmarkers erfolgte nach Empfehlungen aus der Literatur (Mayes et al., 1986; Dove und Mayes, 1991). Es wird allgemein davon ausgegangen, dass die Wiederfindungsraten der n-Alkane im Tierversuch mit der Länge der Kohlenstoffatomketten ansteigen und dass die Differenzen zwischen ihnen umso geringer sind, je weniger sie sich in der Anzahl der C-Atome unterscheiden. Zur Berechnung der Futteraufnahme nach der n-Alkan-Methode müssen die je Tier und Tag aufgenommene n-Alkanmenge, der n-Alkangehalt des Kotes, die Wiederfindungsrate (WFR) des n-Alkans und die Verdaulichkeit des Futters bekannt sein.

Die Wiederfindungsrate ergibt sich nach Gleichung 1 wie folgt:

$$(1) \quad \text{WFR [\%]} = 100 \times \frac{\text{TM}_{\text{Kot}}[\text{kg/Tier/Tag}] \times \text{n-Alkangehalt des Kotes [g/kg TM]}}{\text{n-Alkanaufnahme [g/Tier/Tag]}}$$

Bei der Verdaulichkeit wurde von der Verdaulichkeit der organischen Masse (DOM) ausgegangen, weil mehrere alternativ zu prüfende Berechnungs- bzw. Schätzgleichungen auf die Ermittlung der DOM ausgelegt sind.

* Die Autoren danken den Herren Wolfgang Laws und Dirk Hillegeist für umfangreiche methodische Untersuchungen.

Es handelt sich um folgende Schätzverfahren (Varianten), die mit der In-vivo-Verdaulichkeit verglichen werden:

- A) Schätzung nach internem n-Alkanmarker (C₃₃),
- B) Schätzung nach der Cellulase-Methode von Weissbach et al. (1999) unter Verwendung des Gehaltes an enzymunlöslicher organischer Substanz (EULOS),
- C) Schätzung nach verschiedenen Gleichungen der Kotstickstoff-Methode, wobei der Stickstoffgehalt in der organischen Masse (OM) des Kotes als Marker verwendet wird.
 - C₁) Gleichung für Frischgras (Schmidt et al., 1999a), abgeleitet aus 33 Versuchen mit Schafen (ohne Korrekturglied für den jahreszeitlichen Einfluss),
 - C₂) Gleichung für Konservatfutter (Schmidt und Jentsch, 1994), abgeleitet aus 159 Versuchen mit Rindern,
 - C₃) Gleichung für Konservatfutter (unveröffentlicht), abgeleitet aus 168 Versuchen mit Schafen.

Die entsprechenden Schätzgleichungen (Gl.), nummeriert von 2 bis 6, lauten:

Varianten (Gl. Nr.)	Schätzgleichungen*
A (2)	DOM [%] = (AK / AF - 1) × 100 / (AK / AF)
B (3)	DOM [%] = 100 × (940 - XA - 0,62 EULOS - 0,000221 EULOS ²) / (1000 - XA)
C₁ (4)	DOM [%] = 89,55 - 460 / N _{Kot} [g/kg OM]
C₂ (5)	DOM [%] = 90,00 - 513 / N _{Kot} [g/kg OM]
C₃ (6)	DOM [%] = 89,29 - 467 / N _{Kot} [g/kg OM]
*Abkürzungen und Dimensionen:	
AK	= n-Alkangehalt des Kotes [g/kg OM] / 0,01 × WFR,
AF	= n-Alkangehalt des Futters [g/kg OM],
XA	= Rohasche [g/kg TM], EULOS [g/kg TM]

Während die Varianten A und B an die Untersuchung repräsentativer Futterproben gebunden sind, lassen die Varianten C₁, C₂ und C₃ eine futterprobenunabhängige Verdaulichkeitsschätzung zu. Letzteres ist bei Weidetieren mit selektiver Futteraufnahme notwendig. Für die Anwendung der Kotstickstoff-Methode waren Stickstoff- und Rohaschebestimmungen im Kot erforderlich. Stickstoff

wurde im Frischkot, Rohasche im Trockenkot bestimmt (Naumann et al., 1997).

Die Berechnung der Futterraufnahme, hier dargestellt als Aufnahme an organischer Masse je Tier und Tag, erfolgt in zwei Schritten. Im ersten Schritt wird die mit dem Kot ausgeschiedene Menge an organischer Masse (OM) mit Hilfe des externen n-Alkanmarkers (C₃₂) nach Gleichung 7 berechnet:

$$(7) \quad OM_{\text{Kot}} \text{ [kg/Tier/Tag]} = \frac{C_{32}\text{-Gabe [g/Tier/Tag]} \times \text{WFR [\%]} \times 0,01}{C_{32}\text{-Gehalt im Kot [g/kg OM]}}$$

Im zweiten Schritt wird der Verzehr an OM über die berechnete Menge an mit dem Kot abgesetzter OM und die Verdaulichkeit bzw. Unverdaulichkeit des Futters nach Gleichung 8 ermittelt :

$$(8) \quad \text{OM-Verzehr [kg/Tier/Tag]} = \frac{OM_{\text{Kot}} \text{ [kg/Tier/Tag]}}{(1 - 0,01 \text{ DOM [\%]})}$$

Die Gleichungen 7 und 8 lassen sich zu einer Gesamtformel (9) zusammenfassen:

$$(9) \quad \text{OM-Verzehr [kg/Tier/Tag]} = \frac{C_{32}\text{-Gabe [g/Tier/Tag]} \times \text{WFR [\%]} \times 0,01}{C_{32}\text{-Gehalt im Kot [g/kg OM]} \times (1 - 0,01 \text{ DOM [\%]})}$$

Die ermittelte Aufnahme an organischer Masse kann mit Hilfe des Rohaschegehaltes im Futter auf den Trockenmasseverzehr umgerechnet werden. Der Trockenmasseverzehr, multipliziert mit der Energiekonzentration des Futters, ergibt schließlich die Energieaufnahme.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Ergebnisse zur Wiederfindungsrate

Mit Ausnahme der Kuh Nr. 2 wurden bei allen Kühen die n-Alkangehalte in den Kotsammelproben nach Abschluss der 7- bzw. 8-tägigen Hauptperiode bestimmt. Dabei ergab sich die Frage, inwieweit die täglich ausge-

schiedenen n-Alkanmengen nach 10-tägiger Verabreichung des Markers konstant sind, weil davon die Variabilität der ermittelten Wiederfindungsraten abhängt. Am Beispiel der Kuh Nr. 2, bei der die n-Alkangehalte des Kotes und die täglich ausgeschiedenen n-Alkanmengen für jeden einzelnen Tag der 7-tägigen Hauptperiode gesondert bestimmt wurden, soll dieser Frage nachgegangen werden (Tabelle 1).

Beim internen Marker (C₃₃) war die Variabilität der n-Alkanausscheidung sehr gering, wie der Variationskoeffizient (s%) von 2,1 zeigt, da sowohl die Trockenmasseaus-

scheidungen als auch die n-Alkangehalte in diesem Falle von Tag zu Tag nur wenig differierten. Beim externen Marker (C₃₂) streuten die Werte stärker, obwohl die Gehalte im Kot mehr als zweieinhalbmal so hoch waren wie beim internen Marker. Ursache ist die höhere Variabilität (Variationskoeffizient von 6,9) beim C₃₂-Gehalt des

Tabelle 1: Variabilität der täglichen n-Alkangehalte und n-Alkanausscheidungen im Kot (C₃₂ und C₃₃) bei Kuh Nr. 2 während der 7-tägigen Hauptperiode

Tag der Hauptperiode	Frischkot [kg]	TM-Gehalt des Kotes [g/kg]	Kot-TM [kg]	n-Alkangehalt des Kotes		n-Alkanausscheidung	
				C ₃₂	C ₃₃	C ₃₂	C ₃₃
				[g/kg TM]	[g/kg TM]	[g]	[g]
1.	8,452	184,5	1,559	0,688	0,280	1,073	0,437
2.	8,342	185,1	1,544	0,721	0,274	1,113	0,423
3.	8,268	190,3	1,573	0,701	0,280	1,103	0,440
4.	8,072	188,9	1,525	0,757	0,285	1,154	0,435
5.	8,847	177,2	1,568	0,711	0,276	1,115	0,433
6.	7,946	184,1	1,463	0,821	0,283	1,201	0,414
7.	8,459	175,4	1,484	0,796	0,288	1,181	0,427
Mittel 1. - 7.	8,341	183,6	1,531	0,742	0,281	1,136	0,430
s	±0,293	±5,5	±0,043	±0,051	±0,005	±0,046	±0,009
s[%]	3,5	3,0	2,8	6,9	1,8	4,1	2,1

Tabelle 2:

Berechnung der Wiederfindungsrate für den externen n-Alkanmarker Dotriacontan (C₃₂) bei Kühen

Kuh Nr.	n-Alkangabe [g/Tag]	Kotausscheidung			C ₃₂ -Gehalt des Kotes [g/kg TM]	n-Alkan- ausscheidung [g/kg]	Wiederfindungs- rate [%]
		Frischmasse [kg/Tag]	TM-Gehalt des Kotes [g/Tag]	Trockenmasse [kg/Tag]			
1	1,200	9,113	165,1	1,505	0,743	1,118	93,2
2	1,200	8,341	183,6	1,531	0,742	1,136	94,7
3	1,200	9,312	171,8	1,600	0,746	1,193	99,4
4	1,200	8,142	176,7	1,439	0,776	1,116	93,0
Mittel 1 – 4	1,200	8,727	174,3	1,519	0,752	1,141	95,1
s		±0,572	±7,8	±0,067	±0,016	±0,036	±3,0
s[%]		6,6	4,5	4,4	2,1	3,2	3,2

Tabelle 3:

Berechnung der Wiederfindungsrate für den internen n-Alkanmarker Tritriacontan (C₃₃) bei Kühen

Kuh Nr.	n-Alkanaufnahme mit dem Heu*				n-Alkanausscheidung im Kot			Wieder- findungsrate [%]
	Heu [kg/Tag]	TM-Gehalt [g/kg]	TM [kg/Tag]	C ₃₃ [g/Tag]	Kot-TM [kg/Tag]	C ₃₃ -Gehalt [g/kg TM]	C ₃₃ [g/Tag]	
1	7,000	854	5,978	0,464	1,505	0,289	0,435	93,8
2	7,000	854	5,978	0,464	1,531	0,281	0,430	92,7
3	7,000	854	5,978	0,464	1,600	0,282	0,451	97,2
4	5,990	854	5,115	0,397	1,439	0,281	0,404	(101,8)
Mittel 1 – 3	7,000	854	5,978	0,464	1,545	0,284	0,439	94,6
s					±0,049	±0,004	±0,011	±2,3
s[%]					3,2	1,4	2,5	2,4

* C₃₃-Gehalt des Heus = 0,0777 g/kg TM

Kotes. Insgesamt gesehen ist das Ergebnis aber zufriedenstellend. Es zeigt, dass sich nach 10-tägiger Verabreichung der n-Alkane die Ausscheidungen im Kot auf ein weitgehend konstantes Niveau eingependelt haben. Deshalb genügt auch eine einmalige Probenahme je Tag. Malossini et al. (1994) fanden, dass häufigere tägliche Probenahmen die Genauigkeit der Ergebnisse nicht erhöhen. Die Ergebnisse zur Wiederfindungsrate für C₃₂ und C₃₃ sind in den Tabellen 2 und 3 dargestellt.

Für C₃₂ und C₃₃ wurden mittlere Wiederfindungsraten von 95,1 bzw. 94,6 % ermittelt. Bei der Mittelwertbildung für C₃₃ ist das Ergebnis für die Kuh Nr. 4 wegen zu starker Abweichung vom Mittel der anderen Tiere nicht berücksichtigt worden. Dabei wurde von den gleichen methodischen Grundsätzen ausgegangen, wie sie bei der Auswertung von Verdauungsversuchen allgemein üblich sind (Schiemann, 1981). Mit der guten Übereinstimmung der im Mittel gefundenen Wiederfindungsraten für C₃₂- und C₃₃-n-Alkane bestätigen sich Angaben aus der Literatur, nach denen für beide Verbindungen die gleiche Wiederfindungsrate angenommen werden darf (Mayes et al., 1986; Dove und Mayes, 1991). Bei den weiteren Aus-

wertungen wurde im Ergebnis der eigenen Messungen sowohl für C₃₂ als auch für C₃₃ mit einer Wiederfindungsrate von einheitlich 95 % gerechnet. Dieser Wert liegt an der oberen Grenze dessen, was aus der Literatur bekannt ist (Mayes et al., 1986; Piasentier, 1995). Allerdings beziehen sich diese Angaben zur Wiederfindungsrate zumeist auf Versuche mit Schafen.

Bemerkenswert sind die geringen Differenzen in den n-Alkangehalten der Kote von verschiedenen Kühen (Tabellen 2 und 3). Die Variabilität der n-Alkanausscheidungen wird offenbar mehr von den Kotmengen als von den n-Alkangehalten der Kote bestimmt.

3.2 Ergebnisse zur Verdaulichkeit

Die zur Berechnung des Futtermittels benötigten Verdaulichkeitswerte für das verfütterte Heu wurden nach verschiedenen Schätzmethode und zur Validierung der Ergebnisse auch in vivo bestimmt. Auswertbare In-vivo-Versuchsergebnisse lagen von den 4 fistulierten Kühen und zusätzlich von zwei weiteren Versuchen mit je 4 Schafen vor (Tabelle 4).

Unter den Methoden, die nur bei dem Versuch mit Kühen angewendet wurden, sind zwei, bei denen das Futter (Cellulase-Methode) bzw. das Futter und der Kot (interner n-Alkanmarker) untersucht werden müssen und

die sich deshalb mehr für Versuche im Stall und weniger für die Weide eignen. Für Weidetiere sind wegen der möglichen selektiven Futteraufnahme die drei Varianten der Kotstickstoff-Methode besser geeignet.

Tabelle 4:
Verdaulichkeit der organischen Masse (DOM%), Vergleich verschiedener Bestimmungsmethoden

Methoden	Versuchstiere				Mittelwert 1 - 4 ±s	relativ
	1	2	3	4		
In-vivo-Messungen:						
Versuch 1 mit Schafen	74,3	75,5	75,5	74,4	74,9 ±0,7	97,9
Versuch 2 mit Schafen	74,9	74,5	74,1	76,3	74,9 ±0,9	97,9
Versuch mit Kühen	78,2	77,0	75,9	74,9	76,5 ±1,4	100,0
Schätzmethode:						
A) C ₃₃ -n-Alkan-Methode (Gleichung 2)	77,9	76,4	76,4	76,6	76,8 ±0,7	100,4
B) Cellulase-Methode (Gleichung 3)	75,5	75,5	75,5	75,5	75,5	98,7
C) Kot-N-Methode						
C ₁) Gleichung für Frischgras (Gleichung 4)	77,0	74,2	75,2	74,6	75,3 ±1,2	98,4
C ₂) Konservatgleichung Rinder (Gleichung 5)	76,0	72,9	74,0	73,3	74,1 ±1,4	96,9
C ₃) Konservatgleichung Schafe (Gleichung 6)	76,5	73,7	74,7	74,1	74,8 ±1,2	97,8

Tabelle 5:
Bestimmung des Verzehrs der Kühe an organischer Masse (OM) durch Anwendung der n-Alkan-Methode (C₃₂) und verschiedener Möglichkeiten der Verdaulichkeitsermittlung

Berechnungsgrundlagen	Kuh Nr.				Mittelwert 1 - 4 ±s	relativ
	1	2	3	4		
n-Alkangabe (C ₃₂) [g/Tier/Tag]	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	
n-Alkangehalt (C ₃₂) des Kotes [g/kg OM]	0,933	0,897	0,900	0,946	0,919 ±0,024	
OM-Verzehr [kg/Tier/Tag] in vivo	5,494	5,494	5,494	4,701	5,296 ±0,397	100,0
<i>DOM [%] berechnet nach:</i>						
A) C ₃₃ als interner Marker	5,529	5,385	5,367	5,150	5,358 ±0,156	101,5
B) Cellulase-Methode	4,987	5,187	5,170	4,919	5,066 ±0,133	96,0
C) Kot-N-Methode:						
C ₁) Gleichung 4	5,312	4,926	5,108	4,744	5,023 ±0,244	94,8
C ₂) Gleichung 5	5,091	4,690	4,872	4,513	4,792 ±0,248	90,5
C ₃) Gleichung 6	5,199	4,832	5,007	4,653	4,923 ±0,234	92,9

Tabelle 6:

Nach der n-Alkan-Methode berechneter mittlerer Verzehr der Kühe 1-4 an Trockenmasse (TM), organischer Masse (OM) sowie umsetzbarer Energie (ME) und Nettoenergie-Laktation (NEL) aus Heu bei Anwendung von unterschiedlichen Methoden zur Bestimmung der Verdaulichkeit der organischen Masse

Methoden der DOM-Ermittlung	Mittlere DOM [%]	Futtermittelaufnahme		Energieaufnahme*	
		TM [kg/Tier/Tag]	OM [kg/Tier/Tag]	ME [MJ/Tier/Tag]	NEL [MJ/Tier/Tag]
in vivo (Kühe)	76,5	5,765	5,296	60,20	36,27
A) n-Alkan-Methode (C ₃₃ als interner Marker, Gleichung 2)	76,8	5,833	5,358	62,29	37,67
B) Cellulase-Methode (Gleichung 3)	75,5	5,515	5,066	57,19	34,14
C) Kotstickstoff-Methode (Mittel der Varianten C ₁ - C ₃ , Gleichungen 4 - 6)	74,7	5,348	4,913	55,46	33,26

* Energiegehalt des Futters berechnet nach Schmidt et al. (1999a) für die Schätzmethode A und C sowie Weissbach et al. 1999 für die Schätzmethode B

Die für das verfütterte Heu bestimmte mittlere Verdaulichkeit der organischen Masse lag je nach Bestimmungsmethode zwischen 74 und 77 %. Mit Ausnahme der n-Alkan-Methode (C₃₃) führten alle Schätzmethode sowie auch die In-vivo-Versuche mit Schafen zu Verdaulichkeitswerten, die um relativ 1 bis 3 % niedriger sind als die an Kühen in vivo bestimmten Werte.

3.3 Ergebnisse zur Futter- und Energieaufnahme

In Abhängigkeit von der jeweils verwendeten Methode zur Bestimmung bzw. Schätzung der Verdaulichkeit der organischen Masse fallen erwartungsgemäß die Ergebnisse zum Futter- und Energieverzehr unterschiedlich aus (Tabelle 5). Sie liegen im Durchschnitt zwischen 4,8 und 5,4 kg organischer Masse je Kuh und Tag. Bei einem Rohaschegehalt des Heus von 81,4 g/kg TM entspricht das Trockenmasseaufnahmen zwischen 5,2 und 5,9 kg.

Die beste Übereinstimmung mit den in vivo ermittelten Verzehrsleistungen ergab sich bei der Schätzung mit Hilfe des internen n-Alkanmarkers (C₃₃). Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, dass diese Schätzergebnisse wegen der Verwendung der am selben Material in vivo bestimmten Wiederfindungsrate nicht unabhängig von den In-vivo-Werten sind.

Generell etwas niedriger als in vivo fielen die Ergebnisse zur Futtermittelaufnahme aus, wenn die Verdaulichkeit mit Hilfe der an Schafen geeichten Cellulase-Methode oder der verschiedenen Gleichungen der Kotstickstoff-Methode geschätzt wurde. Ursache dafür sind die gegenüber den In-vivo-Werten um relativ 1 bis 3 % geringeren Verdaulichkeiten. Während jedoch die geschätzten DOM-Werte nur geringfügig von dem in vivo mit Kühen

ermittelten Betrag abweichen (Tabelle 4), sind die entsprechenden Unterschiede beim Verzehr an organischer Masse mit -4 bis -10 % wesentlich höher. Das zeigt, dass von den Parametern zur Schätzung des Verzehrs die Verdaulichkeit des Futters am stärksten ins Gewicht fällt.

Ob die hier bei Verwendung der verschiedenen Methoden festgestellte Unterschätzung der Futtermittelaufnahme verallgemeinert werden darf, ist jedoch auf Grund der relativ wenigen Ergebnisse von nur 4 Kühen fraglich, da wesentliche Differenzen in der Verdauung der organischen Masse zwischen Schaf und Rind im mittleren Bereich der Verdaulichkeit nicht zu erwarten sind. Bei den hier gemessenen Unterschieden könnte es sich um zufällige Abweichungen handeln.

Die Energieaufnahme, ausgedrückt in umsetzbarer Energie (ME) und Nettoenergie Laktation (NEL), ist nach Schätzung der Energiegehalte mit Hilfe der für die Kotstickstoff- und Cellulase-Methode entwickelten Schätzgleichungen und Multiplikation der gefundenen Schätzwerte mit dem Trockenmasseverzehr ermittelt und in Tabelle 6 mit den entsprechenden In-vivo-Werten sowie dem Verzehr an Trockenmasse und organischer Masse verglichen worden.

Erwartungsgemäß ergaben sich für die Energieaufnahme in Abhängigkeit von der Verdaulichkeit (DOM) ähnliche Relationen zwischen den Bestimmungsvarianten wie beim Verzehr an Trockenmasse und organischer Masse. Durch zusätzliche Abweichungen im geschätzten Energiegehalt des Futters haben sich die Differenzen zwischen den Schätzmethode und im Vergleich zu den In-vivo-Werten noch geringfügig vergrößert. Mit den täglich verzehrten Energiemengen kann nach den Versorgungsempfehlungen der GfE (2001) der Erhaltungsbedarf einer Kuh von 550 bis 650 kg Lebendmasse gedeckt werden. Sie ent-

sprechen demnach dem Energiebedarf der im Versuch verwendeten trockenstehenden, nichtträchtigen Milchkühe.

Ergebnisse über die Anwendung der n-Alkan-Methode zur Schätzung der Futteraufnahme bei weidenden Junggrindern werden in einer weiteren Arbeit an gleicher Stelle veröffentlicht.

Literatur

- Beek SD, Dado RG, Newman, JA (1997) N-alkanes as dietary markers. *Feed Mix* 5(1):8–11
- Dove H, Mayes RW (1991) The use of plant wax alkanes as marker substances studies of the nutrition of herbivores: a review. *Aust J Agric Res* 42:913–952
- Gesellschaft für Ernährungsphysiologie / Ausschuss für Bedarfsnormen (1991) Leitlinien für die Bestimmung der Verdaulichkeit von Rohrnährstoffen an Wiederkäuern. *J Anim Physiol Anim Nutr* 65:229–234
- Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (2001) Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. DLG-Verlag, Frankfurt a. M., 136 pp
- Lebzien P, Loose K, Flachowsky G (2001) Research note : effect of duration of the collection period on the estimated digestibility in dairy cows. *Arch Anim Nutr* 54(3):261–264
- Malossini F, Bovolenta S, Piasentier E, Valentinotti M (1994) Variability of n-alkane content in a natural pasture and in faeces of grazing dairy cows. *Anim Feed Sci Technol* 50:113–122
- Mayes RW, Lamb CS (1984) The possible use of n-alkanes in herbage as indigestible faecal markers. *Proc Nutr Soc* 43:39 A
- Mayes RW, Lamb CS, Colgrove PM (1986) The use of dosed and herbage n-alkanes as markers for the determination of herbage intake. *J agric Sci Camb* 107:161–170
- Naumann C, Bassler R, Seibold R, Barth C (1997) Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Darmstadt : VDLUFA-Verl, Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik ; 3
- Olivan M, Osoro K (1995) The use of n-alkanes for estimating feed intake in beef cows. *Ann Zootech* 44(Suppl 239)
- Piasentier E, Bovolenta S, Malossini F, Susmehl P (1995) Comparison of n-alkanes or chromium oxide methods for estimation of herbage intake by sheep. *Small Ruminant Res* 18:27–32
- Schiemann R (1981) Methodische Richtlinien zur Durchführung von Verdauungsversuchen für die Futterwertschätzung. *Arch Tierernähr* 31:1–19
- Schmidt L, Jentsch W (1994) Die Schätzung der Verdaulichkeit von Konservatfütterationen für Rinder anhand des Stickstoffgehaltes im Rinderkot. *FBN-Schriftenreihe* 7:179-184
- Schmidt L, Weissbach F, Hoppe T, Kuhla S (1999a) Untersuchungen zur Verwendung der Kotstickstoff-Methode für die Schätzung des energetischen Futterwertes von Weidegras und zum Nachweis der selektiven Futteraufnahme auf der Weide. *Landbauforsch Völkenrode* 49(3)123–135
- Schmidt L, Weissbach F, Hoppe T, Klan A (1999b) Low-input grassland use and pasture management. *Landbauforsch Völkenrode* SH 206:111–123
- Unal Y, Garnsworthy PC, Gorton P (1997) The use of n-alkanes for prediction of intake in dairy cows. In: *Proceedings of the British Society of Animal Science : annual meeting in Scarborough, March 1997.* p 137
- Weissbach F, Kuhla S, Schmidt L, Henkels A (1999) Schätzung der Verdaulichkeit und der Umsetzbaren Energie von Gras und Grasprodukten. *Proc Soc Nutr Physiol* 8:72