

Riswicker Ergebnisse 2/2006

Bestimmung der Verdaulichkeit von Mischrationen bei variierendem Ernährungsniveau

Versuch 1: Verdaulichkeit einer
grassilagereichen TMR

Versuch 2: Verdaulichkeit von
maissilagereicher TMR bei
unterschiedlichen Häcksellängen der
Maissilage

Dr. Martin Pries, Annette Menke, Ref. 41, Münster;

**Hendrik van de Sand, Wilfried Beeker, LWZ Haus Riswick,
Kleve**

Einleitung

Für die Energiebestimmung in den Futtermitteln ist die Kenntnis der Verdaulichkeit der Nährstoffe unbedingte Voraussetzung. Standardmäßig werden Hammel, gefüttert auf Erhaltungsbedarf, zur Verdaulichkeitsmessung eingesetzt (GfE, 2001). Dabei wird unterstellt, dass die Verdaulichkeitswerte aus dem Hammelversuch weitestgehend auch für die Verdauungsverhältnisse höherleistender Milchkühe gelten.

Schon seit längerem ist bekannt, dass die Verdaulichkeit des Futters bei steigender Futteraufnahme zurückgeht. Ursächlich hierfür ist vor allem die geringere Verweilzeit der Ingesta im Pansen (Flachowsky, u.a., 2004).

Trotz der grundsätzlichen Kenntnis der Verdaulichkeitsdepression bei höherer Futteraufnahme wird bei Rationsplanungen und –kalkulationen auch für hochleistende Milchkühe der bei Fütterung auf Erhaltungsniveau bestimmte Energiewert verwandt. In Anwendung ist damit ein statisches Modell, welches den verminderten Energiegehalt aufgrund reduzierter Verdaulichkeit bei höherem Ernährungsniveau (EN) nicht berücksichtigt. Die Anwendung eines dynamischen Zusatzes mit in Abhängigkeit von der Fettaufnahme variierenden Energiewerten scheiterte bisher am Fehlen exakter Werte für die Verdaulichkeitsdepression.

Im vorliegenden Beitrag werden die Ergebnisse aus zwei Verdaulichkeitsmessungen vorgestellt, die parallel an Schafen bei EN 1 und Kühen mit EN > 3,5 durchgeführt wurden. Damit soll zur Quantifizierung des Verdaulichkeitsrückgangs bei höherer Futteraufnahme beigetragen werden. Zukünftig sollen weitere Messungen erfolgen.

Versuch 1: Bestimmung der Verdaulichkeit einer grassilagereichen TMR bei Hammeln und Kühen

Material und Methode

Die Messung der Verdaulichkeit erfolgte im Landwirtschaftszentrum Haus Riswick, Kleve, an einer dort erstellten Totalen Mischration (TMR). Die komponentenmäßige Zusammensetzung, bezogen auf die Trockenmasse, zeigt die Tabelle 1. Der aus den Analysen der Einzelkomponenten errechnete Gehalt an Rohnährstoffen und Energie ist in der Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 1: Zusammensetzung der TMR

Komponenten	Anteil, % bezogen auf TM
Grassilage, 7B, 2004	45,0
Maissilage 2S, 2004	15,3
Pressschnitzelsilage	10,8
KF (160 g nXP, 6,7 MJ NEL/kg)	28,9

Tabelle 2: Kalkulierte Nährstoffgehalte der TMR für 30 kg Milch

		Nährstoffgehalte
TM	g/kg	461
Rohasche	g/kg TM	84
Rohprotein	g/kg TM	152
Rohfaser	g/kg TM	196
SW		1,68
NDF	g/kg TM	404
ADF	g/kg TM	217
nXP	g/kg TM	150
RNB	g/kg TM	5,9
NEL	MJ/kg TM	6,7
ME	MJ/kg TM	11,1
Ca	g/kg TM	6,5
P	g/kg TM	3,6
Na	g/kg TM	1,6
K	g/kg TM	19,6
Mg	g/kg TM	2,2

Der kalkulierte Energiegehalt der TMR beträgt 6,71 MJ NEL/kg TM, womit die empfohlene Versorgung einer Kuh mit 30 kg Milchleistung gemäß DLG-Empfehlungen erreicht wird. Auch die anderen Nährstoffgehalte wurden entsprechend der DLG-Vorgaben für dieses Leistungsniveau optimiert.

Verdaulichkeitsbestimmung mit Milchkühen

Zur Messung der Verdaulichkeit bei den Kühen wurden vier hochleistende Tiere in Einzelhaltung in einem Boxenlaufstall mit planbefestigter Lauffläche gehalten. Die Lauffläche war mit einer weichen Gummimatte versehen. Jeder Kuh standen etwa 12 m² zusätzlich zur hochverlegten Liegebox zur Verfügung. Nach einer zweitägigen Eingewöhnung wurde über fünf Tage der Kot tierindividuell nach jeder Absetzung gesammelt. Von der täglichen Kotmenge wurde nach Homogenisierung mittels Quirl eine Teilprobe von 5 % entnommen und eingefroren. Nach der Sammelperiode wurden diese Teilproben zusammengefügt, homogenisiert und eine Probe für die Untersuchung bei der LUFA NRW erstellt.

Die Adaptionsfütterung für die TMR erfolgte über einen Zeitraum von 10 Tagen. Während dieser Zeit befanden sich die Kühe in einem Boxenlaufstall mit perforierter Lauffläche. Die tierindividuelle Futteraufnahme wurde hier über Einzeltrogverwiegung ermittelt. Sowohl in der Anfütterungs- als auch in der Kotsammelphase wurde die TMR ad libitum vorgelegt. Während der Kotsammelphase wurde von der TMR-Vorlage täglich eine Probe entnommen und analysiert. Aus den fünf Einzelergebnissen wurde für die Verdaulichkeitsberechnung eine Durchschnittsprobe berechnet. Trockensubstanzaufnahmen sowie die Milchmengen der Kühe wurden täglich tierindividuell erfasst. Zur Berechnung der ECM-Mengen wurden die gemittelten Milchhaltsstoffe der Milchkontrollen vom 23.05. und 05.06.2005 verwendet.

Verdaulichkeitsbestimmung mit Hammeln

Für die Prüfung am Hammel wurde am dritten Tag der Kotsammelperiode des Kuhfütterungsversuches die TMR portionsweise abgepackt und eingefroren. Nach einer zweiwöchigen Anfütterung wurden Kot und Futter über sieben Tage quantitativ erfasst. Die Futterportionen waren so bemessen, dass eine TM-Aufnahme von etwa 950 g pro Hammel und Tag gewährleistet ist und eine Versorgung in Höhe des Erhaltungsbedarfs (EN = 1,0) erreicht wird. Es wurden fünf Hammel eingesetzt.

In beiden Fütterungsversuchen wurden die Proben von Kot und Futter in der LUFA NRW, Münster, analysiert. Das Vorgehen orientiert sich dabei an den Vorgaben des VDLUFA. Auf Basis der verdaulichen Roh Nährstoffe wurden die Gehalte an ME und NEL nach Maßgabe der GfE (2001) kalkuliert. Unter Berücksichtigung der Gär säuregehalte erfolgte eine Korrektur der Trockenmasse nach Vorgaben von Weißbach und Kuhla (1995). Zusätzlich erfolgte eine Energieschätzung aus den Roh Nährstoffen der Futterration nach Maßgabe der GfE (2004).

Versuchsablauf

Sowohl im Kuh- wie auch im Hammelversuch konnte die TMR wie vorgesehen geprüft werden. Probleme in der Futteraufnahme traten nicht auf. Auch wurden keine Auffälligkeiten oder Veränderungen im Kuh- und Hammelkot festgestellt.

Ergebnisse

Die Tabelle 3 zeigt die TM-Aufnahmen und Milchmengen der im Versuch eingesetzten Milchkühe sowie das aus dem Energiebedarf für die jeweilige Milchmenge abgeleitete Ernährungsniveau (EN).

Tabelle 3: Lebendmasse, Trockenmasseaufnahme, Milchmenge und Ernährungsniveau der Kühe

Kuh Nr.:	Lebendmasse, kg	TM-Aufnahme kg/Tag	ECM kg/Tag	Ernährungsniveau*
63	730	21,1	26,9	3,1
952	652	20,1	28,5	3,5
982	687	22,3	33,2	3,8
985	746	23,6	33,1	3,6
Mittelwert	704	21,8	30,4	3,5

* x-fache des Erhaltungsbedarfs

= (Erhaltungsbedarf, MJ NEL/Tag + ECM, kg/Tag x 3,28) / Erhaltungsbedarf, MJ NEL/Tag

Mit 21,8 kg wird im Mittel der vier Kühe eine hohe TM-Aufnahme während der Kot-sammelphase erreicht. Auf Grund der Lebendmassen und der Milchmengen errech-

net sich ein Ernährungsniveau von durchschnittlich 3,5 bei einer Spanne von 3,1 bis 3,8.

Die Tabelle 4 informiert über die analysierten Nährstoffgehalte der TMR sowie die ermittelten Verdaulichkeiten und die daraus berechneten Energiegehalte für den Hammel- und Kuhversuch.

Tabelle 4: Gegenüberstellung der Ergebnisse aus den Verdauungsversuchen Hammel und Kühe

Nährstoffgehalte TMR		Hammel n = 1	Kühe n = 5
TM	g/kg	432	435
Rohasche	g/kg TM	83	84
Rohprotein	g/kg TM	149	159
Rohfett	g/kg TM	32	39
Rohfaser	g/kg TM	188	167
Gasbildung	ml/200 mg TM	54,0	55,5
ELOS	% TM	75,3	-
pH-Wert		4,3	4,4
NH ₃ -N am Ges. N,	%	2,7	3,8
Milchsäure	g/kg TM	55	32
Buttersäure	g/kg TM	n.b.	n.b.
Essigsäure	g/kg TM	9	5
Propionsäure	g/kg TM	4	n.b.
Ethanol	g/kg TM	8	6
Verdaulichkeiten, %			
		n = 5	n = 4
OS		80,0 ± 0,6	73,2 ± 0,3
XL		67,7 ± 1,3	67,8 ± 3,0
XF		79,1 ± 2,0	65,9 ± 0,6
OR		80,8 ± 0,4	75,2 ± 0,4
ME	MJ/kg TM	11,32 ± 0,08	10,54 ± 0,02
NEL	MJ/kg TM	6,94 ± 0,06	6,34 ± 0,01

n.b. = nicht bestimmbar

Die analysierten Nährstoffgehalte liegen nahe an den in Tabelle 2 dargestellten kalkulierten Nährstoffgehalten. Ein Vergleich der Nährstoffgehalte aus dem Hammel- und Kuhversuch zeigt ebenfalls bezüglich Trockensubstanz, Rohasche sowie Rohprotein eine gute Übereinstimmung. Die Werte für Rohfett und Rohfaser differieren in einer Größenordnung von gut 10 %, die durch Analysenspielräume und Schwierig-

keiten in einer repräsentativen Probenahme und Probenaufbereitung einer TMR begründet sein können.

Gärsäuren und pH-Werte liegen entsprechend der verwendeten Ausgangssilagen auf dem zu erwartenden Niveau. Etwas geringere Gehalte an Gärsäuren werden für die Kuh-TMR ausgewiesen.

Die Verdaulichkeit der Organischen Substanz wird am Hammel mit 80,0 % und an den Kühen mit 73,2 % ermittelt. Eine größere Differenz ergibt sich in der Verdaulichkeit der Rohfaserfraktion zugunsten der Hammel.

Die Differenzen in der Verdaulichkeit führen auch zu unterschiedlichen Energiebestimmungen. Im Kuhversuch ergibt sich ein Energiegehalt von 6,34 MJ NEL/kg TM und im Hammelversuch von 6,93 MJ NEL/kg TM.

Diskussion

Ein Vergleich wichtiger Nährstoffparameter der kalkulierten Ration mit den Analysewerten der im Hammel- und Kuhversuch gefütterten Rationen lässt eine weitgehende Übereinstimmung erkennen. Hieraus folgt, dass die Mischvorgaben erfüllt und des Weiteren die verschiedenen Komponenten im Rahmen der Rationsberechnung weitgehend korrekt bewertet wurden.

Zwischen den im Hammelversuch ermittelten und dem kalkulierten Energiewert besteht nur ein geringer Unterschied in Höhe von 0,23 MJ/NEL je kg TM. Die üblichen Toleranzen bei der Energetischen Futterwertprüfung betragen beispielsweise $\pm 0,25$ MJ/NEL je kg Frischmasse. Die gute Vergleichbarkeit zwischen kalkulierten und am Hammel bestimmten Energiegehalt lässt auch den Schluss zu, dass von einer Additivität der Energiegehalte der einzelnen Futtermittel ausgegangen werden kann und keine Wechselwirkungen zwischen den Futtern bestehen.

In der vorliegenden Untersuchung bestehen mit 6,8 %-Punkten erhebliche Unterschiede in der Verdaulichkeit der Organischen Substanz zugunsten des Hammelversuches. Nach Steingäß et al. (1994) bestehen zwischen Rind und Schaf bei gleichem Ernährungsniveau keine wesentlichen Unterschiede in der Verdaulichkeit der Organischen Substanz. Gegebenenfalls auftretende Unterschiede in der Verdaulichkeit zwischen Rind und Schaf sind nicht zuletzt in der differierenden Kauintensität zu-

gunsten des Schafes zu sehen. Deshalb kann insbesondere bei körnerreichen Silagen mit ungenügender Kornzerkleinerung eine bessere Verdaulichkeit beim Schaf beobachtet werden.

Körnerreiche Maissilage wurde in diesem Versuch jedoch nur zu 15,4 % auf Basis der TM eingesetzt, so dass der Aspekt der höheren Kauaktivität beim Schaf zu vernachlässigen ist. Vielmehr sind die Differenzen in der Verdaulichkeit mit dem unterschiedlichen Ernährungsniveau zu begründen.

In der Tabelle 5 sind die wichtigsten Ergebnisse der beiden Fütterungsversuche zusammengefasst, die Differenzen kalkuliert und je EN-Stufenänderung berechnet worden.

Tabelle 5: Vergleich der Verdaulichkeiten (VQ) und EN-Stufen aus dem Hammel- und Kuhversuch

		Hammel n = 5 EN = 1	Kühe n = 4 EN = 3,5	Differenz Kühe - Hammel	Änderung je EN-Stufe
VQ	OS, %	80,0	73,2	- 6,8	- 2,7
	XF, %	79,1	65,9	- 13,2	- 5,3
	OR, %	80,8	75,2	- 5,6	- 2,2
NEL,	MJ/kg TM	6,94	6,34	- 0,60	- 0,24
ME,	MJ/kg TM	11,32	10,54	- 0,78	- 0,31

Ein Einfluss des Ernährungsniveaus (EN) auf die Verdaulichkeit der Organischen Substanz ist umfangreich beschrieben. Radke et. al (2003) fütterten vergleichbare Rationen an Schafe (EN: ca. 1,4) und Milchkühe (EN: 2,7 – 5,0) und ermittelten einen signifikanten Rückgang der Verdaulichkeit. Der Rückgang betrug 3,18 %-Punkte je EN für die Organische Substanz bzw. 3,21 %-Punkte je EN für die Energie. Der Rückgang der Rohfaserverdaulichkeit war mit 4 bzw. 5 %-Punkten je EN in der Versuchsserie 2 besonders deutlich. Diese Ergebnisse stehen in guter Übereinstimmung mit dem vorliegenden Versuch, in dem die Depression der Verdaulichkeit der Organischen Substanz 2,7 %-Punkte je EN beträgt. Ähnlich wie bei Radke ist auch hier die Rohfaserverdaulichkeit mit 5,3 %-Punkten je EN besonders stark reduziert.

Im vorliegenden Versuch ergibt sich bei höherem Ernährungsniveau ein deutlich reduzierter Energiegehalt von -0,60 MJ NEL bzw. von -0,78 MJ ME je kg TM. Jedoch

gehen nach den Ergebnissen von Windisch et al. (1991) und Tine et al. bei intensiverer Fütterung und gleichzeitig höherem Kraftfutteranteil die Energieverluste über den Harn und über die Methanausscheidungen deutlich zurück, so dass trotz Abnahme der Verdaulichkeit keine wesentlichen Unterschiede im ME bzw. NEL-Gehalt bei höherem Ernährungsniveau bestehen. Die geringeren Methanausscheidungen bei höheren Kraftfuttergaben erklären sich vor allem über einen erhöhten Propion- und reduzierten Essigsäureanfall im Pansen. Die Bildung von Propionsäure ist im Vergleich zu Essigsäure mit deutlich weniger Methanproduktion verbunden ist.

In den Empfehlungen der GfE zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder (2001) wird einer möglicherweise vorhandenen Depression der metabolisierbaren Energie bei zunehmender Ernährungsintensität dadurch Rechnung getragen, dass zum kalkulierten Energiebedarf ein linearer Zuschlag von 0,1 MJ NEL je kg Milch vorgenommen wird. Für eine Milchleistung von 40 kg bedeutet dies zum Beispiel eine um 4 MJ NEL/Tier/Tag erhöhte Energiezufuhr im Vergleich zu den tatsächlichen Energieausscheidungen über die Milch.

Im Energiesystem des NRC (2001) werden entsprechende Abschläge bei den Futtermitteln vorgenommen, so dass die Futterwerttabellen Angaben zur verdaulichen Energie (EN = 1) sowie zur Nettoenergie bei EN 3 bzw. 4 enthalten. Dieses Vorgehen hat unterschiedliche Futterwerte für ein Futtermittel in einer Herde zur Folge (z.B. Trockensteher mit EN = 1 und Frischmelker mit 40 kg Milch EN = 4). In der NRC-Futterwerttabelle werden beispielsweise für Maissilage die folgenden vier Energieangaben gemacht: DE 1 x = 12,5 MJ/kg; ME 3 x = 9,74 MJ/kg; NEL 3 x = 6,06 MJ/kg; NEL 4 x = 5,77 MJ/kg. In Abhängigkeit der Fütterungsintensität müssen im Rahmen der Rationsberechnung die entsprechenden Werte berücksichtigt werden.

Im vorliegenden Versuch konnten die Energieausscheidungen über Harn und Gärgase nicht ermittelt werden, so dass Aussagen über die Notwendigkeit von Bedarfszuschlägen oder Futterwertabschlägen bei einem höheren EN nicht möglich sind. Einen Hinweis auf möglicherweise geringere Energieverluste über Harn und Gärgase liefert ein Vergleich der Energieaufnahme mit der –abgabe für Erhaltung und Leistung mit den Daten aus dem Kuhversuch (Tabelle 6). Unterstellt sind hierbei Gewichtskonstanz und keine Veränderungen in der Zusammensetzung der Körpermasse.

Tabelle 6: Energiebilanz im Kuhversuch

Energieaufnahme MJ NEL/Kuh/Tag	Energieverbrauch für		Differenz MJ NEL/Kuh/Tag
	Erhaltung	Leistung	
	MJ NEL/Kuh/Tag		
138,1	40,0	99,8	-1,7

Die Energieabgabe übertrifft die Energieaufnahme um 1,7 MJ NEL je Tier und Tag. Wird eine ausgeglichene Energiebilanz unterstellt, dann würden die geringeren Energieverluste über Harn und Gärgase 1,7 MJ NEL je Kuh und Tag betragen. Dies macht je kg TM-Futteraufnahme 0,08 MJ NEL aus. Unter diesen Annahmen würde sich im Kuhversuch ein Energiegehalt von 6,42 MJ NEL je kg TM ergeben.

Der Energiegehalt einer TMR kann nach den Vorgaben der GfE (2004) auch aus den Rohnährstoffgehalten geschätzt werden. Ein Vergleich der geschätzten NEL-Gehalte mit den aus den Verdauungsversuchen mit Hammeln und Kühen bestimmten Energiewerten befindet sich in der Tabelle 7.

Tabelle 7: Vergleich von geschätzten und über Verdauungsversuche an Hammeln und Kühen bestimmten Energiegehalte, NEL/kg TM

	Hammel EN = 1	Kuh EN = 3,5
VQ	6,94	6,34
TMR-Schätzformel	6,71	7,16
Kalkulation	6,71	6,71

Es besteht eine gute Übereinstimmung zwischen den aus der Verdaulichkeitsprüfung am Hammel bestimmten und dem aus den Rohnährstoffen der Hammelration geschätzten Energiegehalt. Zudem bestätigt die Schätzformel den im Rahmen der Rationsplanung kalkulierten NEL-Gehalt. Im Kuhversuch bestehen große Differenzen zwischen der Energieschätzung und –bestimmung (0,82 MJ NEL/kg TM). Die höheren Analysebefunde für Rohfett und Rohprotein in der Kuh-TMR sind ursächlich für die große Differenz. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die TMR-Schätzformel aus Hammelversuchen mit EN ca. 1 abgeleitet wurde.

Folgende Ergebnisse können festgehalten werden:

In einem parallelen Fütterungsversuch mit Hammeln und höherleistenden Milchkühen wurde die Verdaulichkeit einer Totalen Mischration gemessen. Es bestanden nur geringe Unterschiede zwischen den im Rahmen der Rationsberechnung kalkulierten und in der LUFA NRW analysierten Roh Nährstoffgehalten. Die qualitative Beurteilung der Ausgangskomponenten sowie die Erstellung der Mischration wurden demnach korrekt vorgenommen.

Die Verdaulichkeit der Organischen Substanz betrug im Hammelversuch 80,0 %, woraus sich ein Energiegehalt von 6,94 MJ NEL/kg TM ergibt, der sich unter Berücksichtigung üblicher Toleranzen in Übereinstimmung mit dem berechneten Energiegehalt befindet. Eine Additivität der Nährstoffe war somit gegeben.

Im Kuhversuch führte die intensivere Ernährung zu einer Depression der Verdaulichkeit der Organischen Substanz um 6,8 %-Punkten gegenüber der am Schaf gemessenen Verdaulichkeit. Je EN verringerte sich die Verdaulichkeit um 2,7 %-Punkte. Dieses Ergebnis befindet sich in guter Übereinstimmung mit Angaben aus früheren Untersuchungen. Ein besonders hoher Rückgang zeigte sich in der Rohfaserverdaulichkeit.

Versuch 2: **Bestimmung der Verdaulichkeit von zwei maissilagereichen TMRen mit unterschiedlichen Häcksellängen der eingesetzten Maissilagen an Kühen und Hammeln**

Einleitung:

Die optimale Häcksellänge für Silomais ist derzeit stark in Diskussion. Bisher vorliegende Ergebnisse deuten auf eine höhere Futteraufnahme bei kürzer gehäckselten (5 – 8 mm) Silagen hin (Mahlkow-Nerge, 2005; Junck et al, 2005). Eine höhere Futteraufnahme ist in aller Regel mit einer höheren Passagerate und abnehmender Verdaulichkeit der Organischen Substanz verbunden. Konkrete Informationen über die Verdaulichkeit von TMR-Rationen mit unterschiedlichen Häcksellängen der verwendeten Maissilagen liegen aus dem deutschsprachigen Raum bisher nicht vor. Für fundierte Empfehlungen zur optimalen Häcksellänge ist die Kenntnis der Verdaulichkeit aber ein wichtiges Kriterium.

Im vorliegenden Beitrag wird über die parallele Verdaulichkeitsmessung zweier Totaler Mischrationen mit unterschiedlichen Häcksellängen (**5 mm und 21 mm**) der eingesetzten Maissilage an Hammeln und hochleistenden Milchkühen berichtet.

Material und Methode

Die Messung der Verdaulichkeit erfolgte im Landwirtschaftszentrum Haus Riswick, Kleve, an den dort erstellten Totalen Mischrationen (TMR). Die komponentenmäßige Zusammensetzung, bezogen auf die Trockenmasse, zeigt die Tabelle 8. Der aus den Analysen der Einzelkomponenten errechnete Gehalt an Rohnährstoffen und Energie ist in der Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 8: Zusammensetzung der TMR

Komponenten	Anteil, % bezogen auf TM
Grassilage, 2. Schnitt 2004	9,3
Maissilage 2005	52,4
Proteinergänzer	17,1
KF (160 g nXP, 6,7 MJ NEL/kg)	19,0
Propylenglykol	1,1
Futterkalk	0,7
Viehsalz	0,25
Spur-a-vit	0,16

Grundlage der Rationsberechnung sind die DLG-Empfehlungen zur TMR-Fütterung von frischmelken Kühen mit einer Leistung von 10.000 kg Milch (DLG 1/2001). Auch die anderen Nährstoffgehalte wurden entsprechend der DLG-Vorgaben für dieses Leistungsniveau optimiert. Die Rationen **TMR kurz** und **TMR lang** unterscheiden sich nur in der Häcksellänge (**5 mm und 21 mm**) der eingesetzten Maissilagen. Der kalkulierte Energiegehalt der TMR beträgt 7,18 MJ NEL/kg TM. Es errechnet sich ein Gehalt von etwa 150 g Rohfaser, 250 g NDF und 115 g ADF je kg TM, womit die Vorgaben für die Versorgung mit den Faserfraktionen nur knapp erreicht werden. Auch der Strukturwert von 1,1 liegt am unteren Level der Empfehlungen.

Tabelle 9: Kalkulierte Nährstoffgehalte der TMR für 39 kg Milch

		Nährstoffgehalte
TM	g/kg	526
Rohasche	g/kg TM	67
Rohprotein	g/kg TM	174
Rohfaser	g/kg TM	149
SW		1,10
NDF	g/kg TM	250
ADF	g/kg TM	115
nXP	g/kg TM	174
RNB	g/kg TM	0,19
NEL	MJ/kg TM	7,18
Ca	g/kg TM	6,2
P	g/kg TM	4,2
Na	g/kg TM	1,7
K	g/kg TM	15,0

Die Bestimmung der Partikelgrößenverteilung für die gefütterten Rationen wurde im Institut für Landtechnik der Uni Bonn vorgenommen. Zum Einsatz kam ein Siebturm

mit sieben Rundlochsieben sowie die Schüttelbox der Pennsylvania State University. Nähere methodische Hinweise zur Partikelfraktionierung finden sich bei Leurs (2006).

Verdaulichkeitsbestimmung mit Milchkühen

Kotsammelphase: 17.10 bis 21.10.2005

Zur Messung der Verdaulichkeit wurden aus einem laufenden Fütterungsversuch, in dem die obige TMR mit den beiden Häcksellängenvarianten gefüttert wurden, je vier hochleistende Kühe aus jeder Futtergruppe ausgewählt und in Einzelhaltung in einem Boxenlaufstall mit planbefestigter Lauffläche aufgestellt. Die Auswahl der Kühe erfolgte in erster Linie nach der ECM-Menge. Die Lauffläche war mit einer weichen Gummimatte versehen. Jeder Kuh standen etwa 12 m² zusätzlich zur hochverlegten Liegebox zur Verfügung. Nach einer dreitägigen Eingewöhnung wurde über fünf Tage der Kot tierindividuell nach jeder Absetzung gesammelt. Von der täglichen Kotmenge wurde nach Homogenisierung mittels Quirl eine Teilprobe von 5 % entnommen und eingefroren. Nach der Sammelperiode wurden diese Teilproben zusammengefügt, homogenisiert und eine Probe für die Untersuchung bei der LUFA NRW erstellt.

Eine Adaptionfütterung für die TMR war auf Grund des laufenden Versuchs nicht erforderlich. Im Versuch befanden sich die Kühe in einem Boxenlaufstall mit perforierter Lauffläche. Die tierindividuelle Futteraufnahme wurde hier über Einzeltrogverwiegung ermittelt.

Während der Kotsammelphase wurde die TMR ad libitum vorgelegt, täglich eine Probe entnommen und analysiert. Aus den fünf Einzelergebnissen wurde für die Verdaulichkeitsberechnung eine Durchschnittsprobe berechnet.

Trockensubstanzaufnahmen sowie die Milchmengen der Kühe wurden täglich tierindividuell erfasst. Zur Berechnung der ECM-Mengen wurden die gemittelten Milchhaltsstoffe der Milchkontrollen vom 10.10., 21.10 und 25.10. verwendet.

Verdaulichkeitsbestimmung mit Hammeln

Versuchszeitraum: 11.10. bis 02.11.2005

Für die Prüfung am Hammel wurde am 11.10.2005 mit der Anfütterung der **TMR kurz** und **TMR lang** begonnen. Die Futter für die Sammelperiode wurden am 20.10. aus dem Fütterungsversuch Häcksellänge portionsweise abgepackt und eingefroren. Der weitere Ablauf ist auf Seite 3 beschrieben.

Versuchsablauf

Sowohl im Kuh- wie auch im Hammelversuch konnte die TMR wie vorgesehen geprüft werden. Probleme in der Futteraufnahme traten nicht auf. Auch wurden keine Auffälligkeiten oder Veränderungen im Kuh- und Hammelkot festgestellt.

Ergebnisse

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen die Ergebnisse der Fraktionierung der Rationen mit Hilfe der Schüttelbox und des Siebturms. Bei der Schüttelboxfraktionierung befinden sich in den Größenklassen 8 – 19 mm und > 19 mm jeweils knapp 10 % mehr Material in **TMR lang** als in **TMR kurz**. Hingegen weist die **TMR kurz** knapp 20 % höhere Anteile in der Größenklasse < 8 mm auf. Die weiter differenzierende Fraktionierung über den Siebturm zeigt für die **TMR lang** höhere Anteile in den Größenklassen oberhalb von 6 mm. Unterhalb von 6 mm besitzt die **TMR kurz** höhere Anteile von etwa 15 %, was vor allem durch deutliche Unterschiede in der Klasse 3 – 6 mm bedingt ist. Beide Fraktionierungsmethoden zeigen beachtliche Differenzen in der Partikelgrößenverteilung zwischen den gefütterten Rationen, die durch die unterschiedliche Häcksellänge der Maissilagen erklärt werden können.

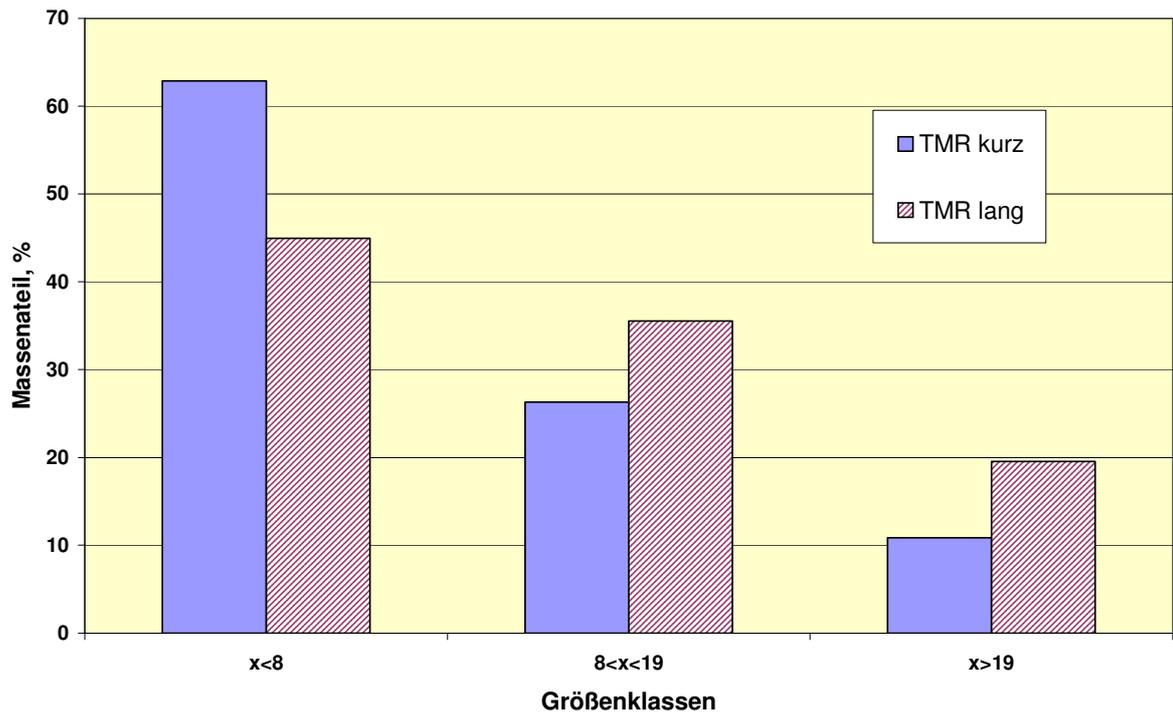


Abbildung 1: Partikelgrößenverteilung nach Fraktionierung über Schüttelbox

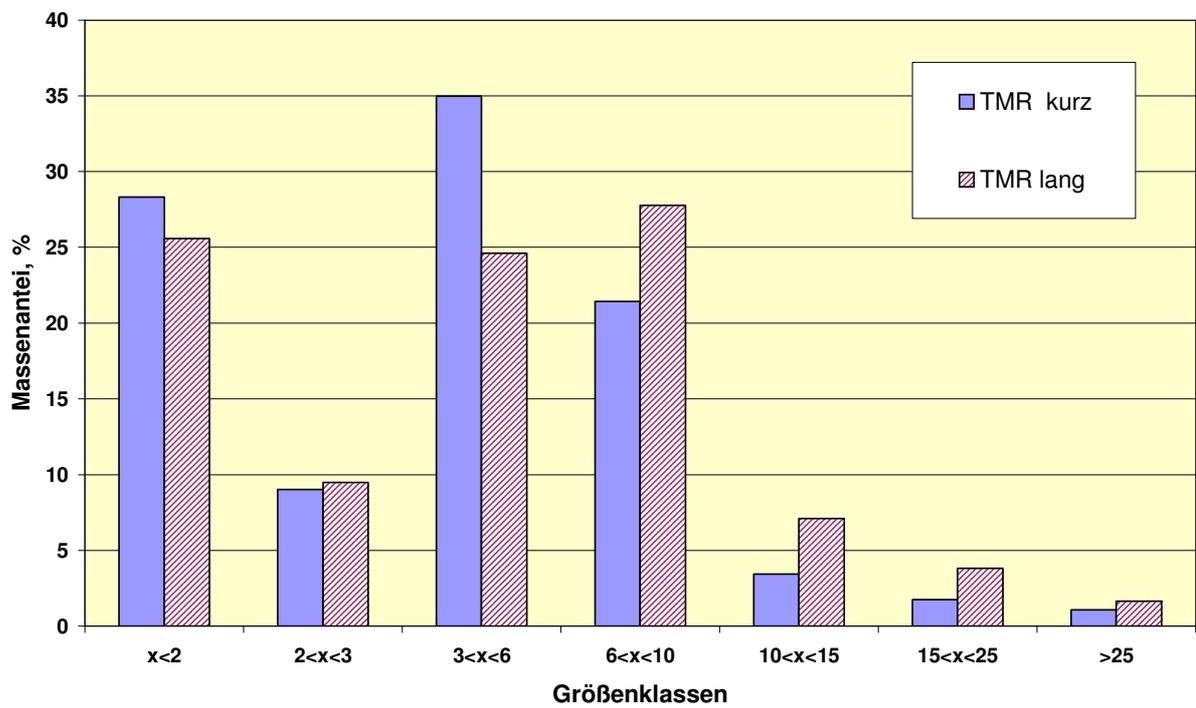


Abbildung 2: Partikelgrößenverteilung nach Fraktionierung mittels Siebturm

Die Tabelle 10 zeigt für beide Fütterungsgruppen die TM-Aufnahmen und Milchmengen der im Versuch eingesetzten Milchkühe sowie das aus dem Energiebedarf für die jeweilige Milchmenge abgeleitete Ernährungsniveau (EN).

Tabelle 10: Lebendmasse, Trockenmasseaufnahme, Milchmenge und Ernährungsniveau der Kühe

Kuh Nr.:	Lebendmasse, kg	TM-Aufnahme kg/Tag	ECM kg/Tag	Ernährungsniveau*
Gruppe kurz				
24	749	25,1	27,9	3,2
92	778	23,4	34,2	3,6
199	834	27,3	41,4	4,0
984	756	26,9	39,6	4,1
Mittelwert	779	25,7	35,8	3,7
Gruppe lang				
22	710	24,0	37,7	4,1
23	768	23,8	34,8	3,7
65	627	21,5	32,5	3,9
938	719	23,1	37,5	4,1
Mittelwert	706	23,1	35,6	3,9

* x-fache des Erhaltungsbedarfs

= (Erhaltungsbedarf, MJ NEL/Tag + ECM, kg/Tag x 3,28) / Erhaltungsbedarf, MJ NEL/Tag

Während der Kotsammelphase erreichen die vier Kühe der **Gruppe kurz** im Mittel eine TM-Aufnahme von 25,7 kg und liegen damit um 2,6 kg über der mittleren TM-Aufnahme der **Gruppe lang**. Die erzeugte Milchmenge auf Basis kg ECM/Tag liegt in beiden Gruppen auf fast gleichem Niveau. Auf Grund der Lebendmassen und der Milchmengen errechnet sich für die **Gruppe kurz** ein Ernährungsniveau von durchschnittlich 3,7 bei einer Spanne von 3,2 bis 4,1 und für die **Gruppe lang** von 3,9 mit einer Spanne von 3,7 bis 4,1.

Die Tabelle 11 informiert über die analysierten Nährstoffgehalte der zwei TMRen sowie die ermittelten Verdaulichkeiten und die daraus berechneten Energiegehalte für den Hammel- und Kuhversuch.

Tabelle 11: Gegenüberstellung der Ergebnisse aus den Verdauungsversuchen
Hammel und Kühe

		Hammel kurz n = 1	Hammel lang n = 1	Kühe kurz n = 5	Kühe lang n = 5
Nährstoffgehalte TMR					
TM	g/kg	458	458	489	486
Rohasche	g/kg TM	76	77	81	69
Rohprotein	g/kg TM	164	192	164	184
Rohfett	g/kg TM	42	39	41	37
Rohfaser	g/kg TM	153	155	155	152
Gasbildung	ml/200 mg TM	51,9	51,1	-	-
ELOS	% TM	76,3	75,6	-	-
pH-Wert					
Milchsäure	g/kg TM	38	57	47	47
Buttersäure	g/kg TM	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Essigsäure	g/kg TM	11	14	11	12
Propionsäure	g/kg TM	3	3	2	2
Ethanol	g/kg TM	3	2	5	6
Verdaulichkeiten, %					
		n = 5	n = 5	n = 4	n = 4
OS		79,4 ± 1,9	81,3 ± 0,9*	72,4 ± 3,5	74,0 ± 1,1
XL		81,1 ± 0,9	81,1 ± 1,8	76,3 ± 4,9	78,4 ± 4,0
XF		70,7 ± 3,5	72,6 ± 3,4	56,9 ± 4,5	57,0 ± 1,7
OR		81,1 ± 1,9	83,1 ± 0,6*	75,5 ± 3,3	77,3 ± 1,4
ME	MJ/kg TM	11,60 ± 0,26	11,87 ± 0,11*	10,59 ± 0,5	10,95 ± 0,2
NEL	MJ/kg TM	7,12 ± 0,20	7,31 ± 0,09*	6,36 ± 0,4	6,61 ± 0,1

n.b. = nicht bestimmbar

* signifikante Unterschiede mit $p < 0,1$

Die im **Hammelversuch** gefütterten TMRen liegen hinsichtlich der Parameter TM, Rohasche, Rohfett und Rohfaser sehr nahe beieinander, so dass nährstoffmässig vergleichbare Rationen gefüttert wurden. Lediglich der Gehalt an Rohprotein liegt bei der **TMR lang** um 28 g/kg TM höher als in der **TMR kurz**. Bezüglich der Gärssäuren weist die **TMR lang** mit 57 g Milchsäure deutlich höhere Werte als die Variante **TMR kurz** auf. Die anderen Gärssäuren unterscheiden sich nur geringfügig.

Die Verdaulichkeit der Organischen Substanz beträgt in der **TMR kurz** 79,4 % und in der **TMR lang** 81,3 %. Die um 1,9 %-Punkte höhere Verdaulichkeit ist Ergebnis der besseren Verdaulichkeit der Rohfaser und vor allem des Organischen Restes. Die

höhere Verdaulichkeit führt zu einem um 0,19 MJ NEL/kg TM höheren Energiegehalt in der **TMR lang**.

Im **Kuhversuch** ergibt sich eine gute Übereinstimmung der gefütterten Rationen in den Kriterien TM, Rohfett und Rohfaser. Der Aschegehalt ist in der **TMR kurz** leicht erhöht, der Proteingehalt um 20 g/kg TM geringer im Vergleich zur **TMR lang**. Bezüglich der Gärsäuregehalte ergeben sich keine Unterschiede. Tendenziell ergeben sich höhere Verdaulichkeiten und höhere Energiewerte für die **TMR lang**, die sich auf Grund der relativ großen Streuung vor allem in der **TMR kurz** jedoch statistisch nicht absichern lassen.

Diskussion

Die über Siebturm und Schüttelbox ermittelte Partikelgrößenverteilung zeigt in beiden Fällen einen deutlich höheren Anteil an gröberem Material in der **TMR lang**. Dabei sind vor allem die Fraktionen oberhalb von 6 mm betroffen.

Bei der Verwendung der Schüttelbox gelten für TMR-Bedingungen folgende Richtwerte bezüglich der Partikelverteilung (DLG 1/2001):

Partikellänge	Materialanteil
> 19 mm	mind. 6 – 10 %
8 – 19 mm	30 – 50 %
< 8 mm	40 – 60 %

Diese Vorgaben werden in der **TMR lang** eingehalten. In der **TMR kurz** liegt der Anteil der Feinpartikel deutlich oberhalb der Vorgaben. Der Anteil der groben Bestandteile liegt gerade im Empfehlungsbereich. Insgesamt werden damit die Anforderungen an die physikalische Struktur für hochleistende Kühe in der **TMR kurz** nur knapp erreicht. Die **TMR lang** bewegt sich innerhalb der Vorgaben.

Die im Hammelversuch gefütterten Rationen weisen im Wesentlichen gleiche Rohnährstoffgehalte auf, die zudem den Werten aus der Rationskalkulation sehr nahe kommen. Demnach wurden die Mischvorgaben bei der Erstellung der TMRen ein-

gehalten. Die Differenzen im Proteingehalt lassen sich nicht erklären. Eine Beeinflussung der Verdaulichkeit kann weitestgehend ausgeschlossen werden, da in beiden Fällen keine N-Mangelsituation für die mikrobielle Pansenfermentation gegeben sein dürfte.

Bezüglich der Verdaulichkeit der Organischen Substanz ergeben sich eindeutig Vorteile zu Gunsten der **TMR lang**. Über die In-vitro-Parameter Gasbildung und ELOS kommt die bessere Verdaulichkeit nicht zum Ausdruck. Tendenziell ergeben sich die günstigeren Werte für die Variante **TMR kurz**. Dies kann durch die größere Oberfläche auf Grund des höheren Anteils an feinen Partikeln erklärt werden. Im Tierversuch findet eine weitere mechanische Zerkleinerung durch die Kauaktivität des Wiederkäuers statt. Wichtig in diesem Zusammenhang ist die kritische Partikelgröße, die die Partikelgröße angibt, bei der das Material mit größter Wahrscheinlichkeit den Pansen verlässt. Nach Kennedy und Poppi (1984) beträgt die kritische Partikelgröße für Milchkühe 1,18 mm und für Schafe 0,89 mm. In den hier gefütterten TMRen liegt der Anteil an Partikeln < 2 mm bei 26 % in **TMR lang** bzw. 28 % in **TMR kurz**. In beiden Rationen liegt die überwiegende Partikelgröße deutlich oberhalb der kritischen Partikelgröße. Deshalb muss in beiden Fällen eine weitere mechanische Zerkleinerung vor der Passage durch den Pansen stattfinden. Für die Zerkleinerung des groben Materials wird eine entsprechend intensivere Aufbereitung stattfinden, was mit mehr Kauarbeit und Speichelfluss einhergeht. Hierüber könnte die mikrobielle Aktivität im Vormagen positiv beeinflusst sein, woraus sich letztendlich die bessere Verdaulichkeit der Organischen Substanz in der **TMR lang** erklären lässt.

Auch im Verdauungsversuch mit den Kühen kann eine intensivere Kauaktivität zu den tendenziell besseren Verdaulichkeiten in der **TMR lang** geführt haben. Zu beachten ist aber die um 2,6 kg höhere TM-Aufnahme der Kühe, die mit der **TMR kurz** gefüttert wurden. Eine höhere TM-Aufnahme bedeutet immer eine höhere Passage rate mit abnehmender Verweilzeit der Ingesta im Verdauungstrakt, was mit abnehmender Verdaulichkeit des Futters einhergeht. Die reduzierte Verdaulichkeit der **TMR kurz** ist gerade unter diesem Gesichtspunkt zu betrachten.

Es stellt sich die Frage, warum von der **TMR kurz** deutlich mehr gefressen wurde. Ein Erklärungsaspekt ist in der höheren Lebendmasse von durchschnittlich + 70 kg der Kühe der Variante **TMR kurz** zu sehen. Gruber et. al. geben den Einfluss der

Lebendmasse auf die TM-Aufnahme für die ersten Laktationsmonate mit etwa 0,011 kg TM je kg Lebendmasse an. Dies würde bedeuten, dass von der Trockenmasseaufnahmedifferenz in Höhe von 2,6 kg TM etwa 0,8 kg TM durch Lebendmasseunterschiede zu erklären sind. Einflüsse von Milchleistung und Laktationsstand kommen im vorliegenden Versuch als Erklärung nicht in Betracht, da in diesen Merkmalen beide Fütterungsgruppen gleich waren.

Die höhere Futteraufnahme in der **TMR kurz** steht in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Mahlkow-Nerge (2005) und Junck et. al. (2005). Beide Autoren ermitteln höhere Trockenmasseaufnahmen in der Größenordnung von 1 kg TM für Rationen, in denen Maissilage mit 5,5 mm Häcksellänge im Vergleich zu 21 bzw. 14 mm gefüttert wurden.

Aus der Trockenmasseaufnahme und dem im Verdauungsversuch ermittelten Energiegehalt der Rationen lässt sich die Gesamtenergieaufnahme kalkulieren. Diese beträgt für die **TMR kurz** 163 MJ NEL und für die **TMR lang** 153 MJ NEL je Kuh und Tag. Die höhere Futteraufnahme in der **TMR kurz** ist bezüglich der Gesamtenergieaufnahme vorteilhafter als die bessere Verdaulichkeit der **TMR lang**. Dieser Vorteil bleibt auch bestehen, wenn ein Teil der höheren Futteraufnahme wegen der Lebendmassedifferenz nicht berücksichtigt wird.

Sowohl bei **TMR kurz** als auch bei **TMR lang** wird die Organische Substanz deutlich besser von den Hammeln als von den Kühen verdaut, so dass deutliche Unterschiede in der Energiebestimmung zwischen dem Kuh- und Hammelversuch bestehen. Ursächlich hierfür ist die Differenz im Ernährungsniveau, welches im Hammelversuch bei EN = 1 und im Kuhversuch bei EN = 3,6 liegt. Je EN-Stufe verringert sich die Verdaulichkeit der Organischen Substanz um 2,6 %-Punkte bei **TMR kurz** und 2,5 %-Punkte bei **TMR lang**. Die Höhe der Verdaulichkeitsdepression bei höherem EN entspricht den Ergebnissen von Radke et. al. (2003) und Flachowsky et. al. (2004).

Zusammenfassend lässt sich folgendes festhalten:

Unter rationierten Fütterungsbedingungen bei niedrigem Ernährungsniveau, wie im Hammelversuch gegeben, wird die **TMR lang** signifikant besser verdaut als die **TMR**

kurz, woraus sich ein höherer Gehalt an Nettoenergie je kg TM ergibt. Dies kann durch bessere Fermentationsbedingungen im Pansen durch intensiveres Einspeicheln während des vermehrten Wiederkauens erklärt werden.

Bei einem hohen Ernährungsniveau und Ad-libitum-Fütterung, wie im Kuhversuch, zeigt **TMR kurz** eine deutlich höhere Futteraufnahme, so dass trotz tendenziell niedriger Verdaulichkeit eine höhere Nettoenergieaufnahme gegeben ist.

Können unter solchen Fütterungsbedingungen acidotische Zustände verhindert werden, erweist sich eine kurze Häcksellänge (5 – 8 mm) als vorteilhaft.

Zusammenfassung beider Versuche:

Entsprechend der bisherigen Literaturergebnisse werden in den hier vorgestellten Versuchen Verdaulichkeitsdepressionen festgestellt. Über das Ausmaß der Änderungen im Bezug auf die Verdaulichkeiten und Energiewerte der geprüften Rationen je Ernährungsniveaustufe informiert die Tabelle 12.

Tabelle 12: Rückgang der Verdaulichkeiten (%) und der Energiewerte (MJ/kg TM) bei Änderung des Ernährungsniveau um eine Stufe

	grassilagereiche TMR	maissilagereiche TMR	
		kurz	lang
Verdaulichkeit			
OS, %	- 2,7	- 1,9	- 1,9
XF, %	- 5,3	- 3,7	- 4,0
OR, %	- 2,2	- 1,5	- 1,5
Energie			
ME, MJ/kg TM	- 0,31	- 0,27	- 0,23
NEL, MJ/kg TM	- 0,24	- 0,21	- 0,18

Die grassilagereiche TMR unterliegt einer stärkeren Depression in der Verdaulichkeit als die maissilagereichen Rationen. Besonders betroffen vom Rückgang der Verdaulichkeit ist in allen Rationen die Rohfaserfraktion.

Die Frage nach der Linearität der Verdaulichkeitsabnahme bei zunehmendem Ernährungsniveau bleibt weiteren Untersuchungen vorbehalten.

Literatur:

- DLG (2001):** Empfehlungen zum Einsatz von Mischrationen bei Milchkühen
DLG-Information 1/2001
- Flachowsky, G.; Lebzien, P.; Meyer, U. (2004):** Zur energetischen Futterbewertung bei Hochleistungskühen
Übersichten zur Tierernährung 32, 23 – 56
- GfE (1991):** (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) Leitlinien zur Bestimmung der Verdaulichkeit von Roh Nährstoffen an Wiederkäuern
J. Anim. Physiol. A. Anim. Nutr. 65, 229-234
- GfE (2001):** (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder
- GfE (2004):** (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) Schätzung des Gehaltes an Umsetzbarer Energie in Mischrationen (TMR) für Wiederkäuer,
Proc. Soc. Nutr. Physiol. (2004) 13, 195 – 198
- Gruber, L.; Schwarz, F.J.; Erdin, D.; Fischer, B.; Spiekers, H.; Steingaß, H.; Meyer, U.; Chassot, A.; Jilg, T.; Obermaier, A.; Guggenberger, T.; (2004)** Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen – Datenbasis von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz
VDLUFA-Schriftenreihe, Band 60 – Kongressband 2004, S. 484 – 504
- Junck, B.; Tafai, M.; Zebil, Q.; Steingaß, H.; Drochner, W., (2005)** Einfluss der Partikellänge der Maissilage in einer TMR auf Futteraufnahme, Milchleistung und –inhaltsstoffe bei Hochleistungskühen,
117. VDLUFA-Kongress, Bonn
- Kennedy, P.M.; Poppi, D.P.; (1984)** Critical particle size in sheep und cattle; in: Techniques in particle size analysis of feed und digesta in ruminants; Can. Soc. of Anim. Science
- Leurs, K. (2006)** Einfluss von Häcksellänge, Aufbereitungsgrad und Sorte auf die Siliereigenschaften von Mais; Diss. Institut für Landtechnik, Uni Bonn, VDI MEG-Schrift Nr. 438.
- Mahlkow-Nerge, K.; Thyssen, J.; Thomsen, J., (2005)** Auswirkungen unterschiedlicher Häcksellängen beim Silomais auf die Strukturversorgung der Milchkuh, Forum angewandete Forschung, 06./07.April, Fulda
- NRC (2001)** Nutrient requirements of dairy cows.
7. rev. Ed., Nat. Acad. Press, Washington D.C. 381 p.
- Radke, M.; Hagemann, A.; Gabel, M.; Pieper, B.; Voigt, J.; Kuhla, S. (2003):** Verdaulichkeitsdepression bei der Hochleistungskuh – Berücksichtigung bei der Rationsformulierung,
Arch. Tierzucht 46, 115 – 121

- Steingaß, H.;** Haas, A.; Stetter, R.; Jilg, T.; Susenbeth, A. **(1994):** Einfluss des Futterniveaus auf die Nährstoff- und Energieverdaulichkeit bei Schaf und Rind, Wirtschaftseigene Futter 40, 215 – 228
- Tine, M. A.;** McLeod, K. R.; Erdmann, R. A.; Balduin, R. L. **(2001)** Effects of Brown midrib corn silage on the energie balance of dairy Cattle. J. Dairy Sci. 84, 885 - 895
- Weißbach und Kuhla (1995):** Stoffverluste bei der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Silagen und Grünfutter, Übers. Tierernährg. 23 (1995), 189 - 214
- Windisch, W;** Kirchgessner, M; Müller, H. L. **(1991)** Energiebilanz und Energieverwertung bei der Milchkuh während und nach Energie- und Proteinmangel. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 61