



Die Bedeutung der Gerüstsubstanzen für eine wiederkäuergerechte Fütterung



Bewertung der Strukturversorgung von Milchviehrationen – im Besonderen bei Totalmischrationen

Kühe verfügen durch ihre Symbiose mit den Mikroben in den Vormägen über ein Verdauungssystem, mit dem sie Grundfutter effizient und bestmöglich verwerten können. Hohe Kraftfutteranteile und nicht ausreichende Struktur der Ration durch zu starke Zerkleinerung verringern die Wiederkäuergerechtigkeit der Rationen und senken den pH-Wert im Pansen mit der Gefahr einer Übersäuerung.

Wiederkäuer können durch ihre Symbiose mit Pansenmikroben pflanzliche Gerüstsubstanzen verdauen und so ihre Energie- und auch Eiweißversorgung zu einem großen Teil bestreiten. Zellulose und Stärke abbauende Pansenbakterien haben unterschiedliche pH-Wert-Ansprüche. Durch steigende Milchleistungen wird der Anteil an stärkereichem Kraftfutter zwangsläufig höher, wodurch der pH-Wert im Pansen sinkt und die Lebensbedingungen für die Zellulose spaltenden Bakterien verschlechtert werden.

Von Leonhard GRUBER

Mit dem Parameter physikalisch effektive Gerüstsubstanzen (peNDF) kann der Bedarf hochleistender Milchkühe an Struktur beschrieben werden. Der Begriff peNDF wurde von MERTENS (USA) vor 20 Jahren geprägt und errechnet sich aus dem Gehalt an NDF (Neutral-Detergenzien-Faser) mal dem Anteil an strukturwirksamer NDF, der über die „Schüttelbox“ ermittelt wird. ZEBELI und Mitarbeiter (Stuttgart-Hohenheim) haben daraus ein System der Strukturversorgung für Milchkühe entwickelt.

Was geschieht in den Vormägen der Wiederkäuer?

Wiederkäuer sind Pflanzenfresser, die durch ihre Symbiose mit Pansenmikroben pflanzliche Gerüstsubstanzen verdauen und verwerten können. Die Wirbeltiere sind nämlich nicht in der Lage, diese hochkomplexen und nur schwer abbaubaren Faser-Kohlenhydrate durch körpereigene Verdauungsenzyme abzubauen. Das Vermögen nur evolutionsgeschichtlich sehr alte Mikroorganismen.

Das Vormagensystem der Wiederkäuer besteht aus den drei Abschnitten Pansen (Rumen), Netzmagen (Reticulum) und Blättermagen (Omasum), die mit einer überaus großen Anzahl von Mikroben (Bakterien, Protozoen (Einzeller) und Pilzen) besiedelt sind, welche die einzelnen Nährstoffe des Futters fermentieren (4–60 Mrd. Bakterien und 100.000–1 Mrd. Protozoen pro ml Pansenflüssigkeit!). Der Pansen ist mit einem Volumen von 180–270 Litern der weitaus größte Vormagen und nimmt beim ausgewachsenen Tier nahezu die gesamte linke Seite des Bauchraumes ein (Abbildung 1). Die Symbiose (d.h. Zusammenleben zu beiderseitigem Nutzen) besteht darin, dass das Wirtstier den Mikroben optimale Lebensbedingungen bietet (konstante Körpertemperatur, kontinuierliche Nährstoff- und Wasserversorgung, Luftabschluss). Die Leistung der Mikroben besteht in der Fermentation des Futters, besonders der Faserstoffe (Säugetiere können dies nicht!) mit den Endprodukten Essigsäure, Propionsäure und Buttersäure (plus Kohlendioxid und Methan!) sowie der Bildung von Mikrobenprotein und wasserlöslichen Vitaminen. So können diese Pflanzenfresser aus relativ niederwertigen Nährstoffen (Faserkohlenhydrate, Eiweiß mit niedriger Wertigkeit) für den Menschen hochqualitative Nährstoffe erzeugen (Eiweiß mit höchster Wertigkeit wie Milch und Fleisch). Diese Leistung der Wiederkäuer (und ihrer Pansenmikroben) für die Menschheit kann gar nicht hoch genug eingeschätzt werden!

Für optimale Lebensbedingungen sind die Pansenmikroben auch auf einen relativ konstanten pH-Wert (d.h. Säuregrad) angewiesen. Dieser liegt für Zellulose spaltende Mikroben höher (6,4–6,8) als für Stärke abbauende Mikroorganismen (6,2–6,6). Die Verweildauer des Futters ist von allen Magen- und Darmabschnitten im Pansen am höchsten. Sie hängt von der Art des Futters, dessen Zerkleinerung und Menge ab, und beträgt 12–48 Stunden. Der weitere Verdauungstrakt funktioniert ähnlich dem der Tiere mit einhöhligen Magen.

Wiederkauen und Speichelbildung

Die Wiederkäuer (besonders die Rinder) fressen ihr Futter rasch und hastig (sie sind Fluchttiere!) und kauen dieses Futter zu einem späteren Zeitpunkt wieder. Dabei wird ein sogenannter Futterbolus aus dem Netzmagen aufgestoßen, beim Wiederkauen mit Speichel vermischt und natürlich auch zerkleinert. Dies erhöht die Oberfläche für die Wirkung der mikrobiellen Verdauungsenzyme und erlaubt den Übertritt der Futterpartikel in den Blättermagen und im Anschluss daran in den Labmagen. Die Einspeichelung ist für die Mikroben lebenswichtig, da Speichel eine hohe Konzentration an puffernden Substanzen enthält (besonders Natrium-Bikarbonat und Hydrogen-Phosphat). Dies wirkt der Absenkung des pH-Wertes

im Pansen entgegen, die durch die Fermentation der Nährstoffe zu Essigsäure, Propionsäure und Buttersäure gegeben ist. Die Mikroben würden also an ihren eigenen Fermentationsprodukten zu Grunde gehen, wenn diese nicht rasch aus dem Pansen absorbiert und durch die Puffersubstanzen des Speichels neutralisiert würden. Aus diesem Grund müssen Wiederkäuer-Rationen immer ausreichend Struktur aufweisen und sie dürfen nicht zu viele leicht abbaubare Nichtfaser-Kohlenhydrate enthalten, vor allem Stärke und wasserlösliche Kohlenhydrate („Zucker“). Dies führt zu pH-Absenkungen im Pansen und damit zur Beeinträchtigung bzw. in weiterer Folge zur Schädigung der Mikroben. Ein Rückgang der Verdaulichkeit und der Futteraufnahme – besonders des faserreichen Grundfutters – ist die Folge! Auch sehr jung geerntetes Wiesenfutter hat einen relativ hohen Gehalt an niedermolekularen Kohlenhydraten („Zuckerheu“). Durch ein sog. „pansenschonendes“ Kraftfutter kann die Problematik zu tiefer pH-Werte etwas abgeschwächt werden. Darunter sind Kraftfutter mit langsamem und niedrigem Abbau der Stärke zu verstehen (z.B. Mais, Hirse) bzw. Kraftfutter mit hoher Verdaulichkeit ihrer Schalen und Zellwände (z.B. Sojaschalen, Trockenschnitzel).

Die Rinder produzieren große Mengen an Speichel (180–220 Liter und noch mehr pro Tag). Die Speichelmenge hängt direkt von der Zeit ab, welche die Kühe mit Kauen und Wiederkauen verbringen. Durch die Rationsgestaltung kann also die Speichelmenge beeinflusst werden, und damit auch die Pufferwirkung der Futterration! Der wichtigste Einflussfaktor ist die Größe der Futterpartikel. Auch die Anzahl der Mahlzeiten, die Reihenfolge der verabreichten Futtermittel und der Trockenmassegehalt entscheiden über die Speichelbildung. Ein hoher Kraftfutteranteil vermindert selbstverständlich den Speichelfluss. Allgemein gesprochen entscheidet der Gehalt an Gerüstsubstanzen (NDF) und deren physikalische Strukturwirkung über den Speichelfluss und damit über den pH-Wert im Pansen. In Tabelle 1 ist die Fressrate und Speichelproduktion bei Verfütterung unterschiedlicher Futtermittel angeführt. Futtermittel mit geringer Struktur und niedrigem Gehalt an Trockenmasse werden rasch und in großer Menge pro Zeiteinheit ge-

Tab. 1: Fressrate und Speichelproduktion unterschiedlicher Futtermittel (nach BAILEY 1985)

	Fressrate (g Futter/ Minute)	Speichelfluss	
		(ml/ Minute)	(ml/ g Futter)
Pelletierte Ration	357	243	0,68
Grünfutter	283	266	0,94
Silage	248	280	1,13
Trockengrün	83	270	3,25
Heu	70	254	3,63

fressen. Die Speichelproduktion je Zeiteinheit ist jedoch bei allen Futtermitteln gleich. Dies hat zur Folge, dass die Speichelmenge je Futtermenge bei jenen Futtermitteln am höchsten ist, von denen je Zeiteinheit wenig gefressen werden kann (also bei Heu). Daher hat nicht zu jung geerntetes Heu eine so hohe Strukturwirkung und stabilisierenden Einfluss auf den pH-Wert im Pansen. Weiters entscheidet die Partikelgröße auch über die Schichtung des Panseninhaltes und die Bildung einer Pansenmatte, unter welcher sich die Pansenflüssigkeit befindet und über der die Fermentationsgase Kohlendioxid und Methan lagern (Abbildung 1).

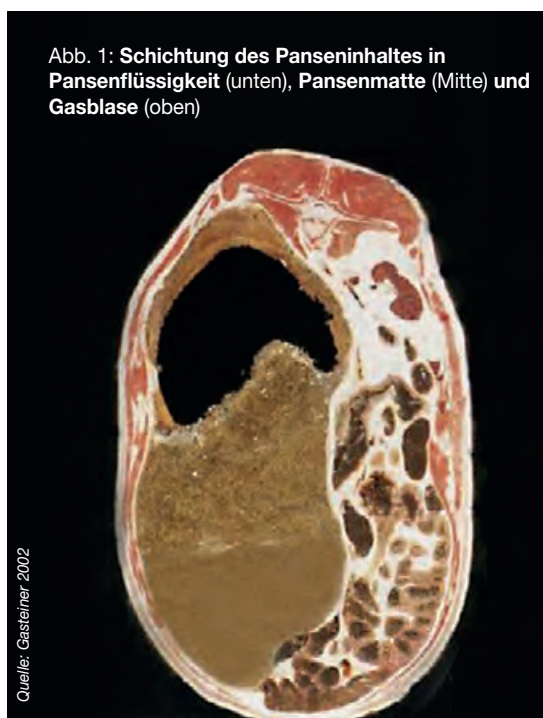
Fermentation der Nährstoffe durch Pansenmikroben

Die Fütterung der Wiederkäuer ist dann optimal, wenn im Pansen beste Lebensbedingungen für die Mikroben vorherrschen. Dies führt zu einer maximalen Produktion an flüchtigen Fettsäuren (zur Energie- und Substratversorgung des Wirtstieres), aber auch zu einer maximalen Menge an Mikroben, deren Zellen die wichtigste Proteinquelle der Wirtstiere darstellen. Es gibt eine sehr große Vielfalt an Bakterien im Pansen, doch eine Einteilung nach den Nährstoffen, welche die Mikroben verwenden, schafft einen gewissen Überblick. Für folgende Nährstoffgruppen gibt es spezielle Mikroben, welche diese Nährstoffe abbauen: Zellulose, Pektine, Hemizellulose, Stärke, Zucker, Eiweiß, Harnstoff. Weiters existieren auch Mikroben, die Stoffwechselprodukte (und zwar bestimmte Säuren) anderer Mikroben nutzen. Protozoen ernähren sich zum Teil von Bakterien. Dies zeigt, dass der Pansen ein sehr komplexes, empfindliches Ökosystem darstellt und die Zusammensetzung der Mikrobenpopulation

ganz stark von den im Futter vorhandenen Nährstoffen abhängt.

Prinzipiell ist zwischen Bakterien zu unterscheiden, die entweder Faser oder Stärke abbauen. Diese beiden Gruppen haben ein unterschiedliches pH-Optimum. Faser-Bakterien benötigen für optimale Lebensbedingungen einen höheren pH-Wert (6,4–6,8) und dieser wird durch die höhere Strukturwirkung faserreichen Futters auch zu Verfügung gestellt. Dagegen vertragen Stärke-Bakterien einen niedrigeren pH-Wert (6,2–6,6), der sich analog bei kraftfutterreichen Rationen (mit hohem Stärkegehalt und geringer Strukturwirkung) auch einstellt. Also eine ideale Selbstregulation, wie sie in der Natur häufig anzutreffen ist. Diese Gesetzmäßigkeiten sind in Abbildung 2 nach klassischen Untersuchungen von KAUFMANN und Mitarbeitern (1980) eindrücklich dargestellt. Sinkt der pH-Wert im Pansen (durch höhere Kraftfutteranteile und geringere Strukturwirkung einer Ration), wird der optimale Bereich für Faser abbauende Bakterien verlassen. Dadurch nimmt die Bildung der Essigsäure ab (das Hauptprodukt der Faser-Bakterien und der Ausgangsstoff für die Bildung des Milch- und Körperfettes) und der Anteil an Propionsäure nimmt zu. Diese Säure wird von den Stärke-Bakterien produziert. Der sinkende pH-Wert ist immer mit einem Rückgang der Verdaulichkeit und Futteraufnahme des Grundfutters verbunden. Wird der pH-Wert durch noch höhere Kraftfutteranteile und abnehmende Wiederkautätigkeit weiter gesenkt, tritt Pansenübersäuerung (Azidose) ein und das System bricht zusammen (d.h. das Leben im Pansen und auch des Wirtstieres geht zu Ende!). Es ist auch festzuhalten, dass der Wiederkäuer aus Sicht seiner Evolution für die Verdauung faserreichen Futters gedacht und geschaffen ist. Ansonsten hätte sich die Symbiose mit den Pansenmikroben nicht entwickelt und wäre gar nicht erforderlich gewesen.

Wie die Ergebnisse in Tabelle 2 zeigen, hat die Häcksellänge der Silage einen signifikanten Einfluss auf das Kauverhalten, die Pansen- und Stoffwechselfparameter und – als Folge davon – auch auf den Milchfettgehalt der Kühe. In einer amerikanischen Studie wurde die Häcksellänge bei der Erzeugung von Luzerne-silage durch Einstellung der Messer am Feldhäcksler variiert und eine „feine, mittlere oder grobe Silage“ hergestellt. Mit diesen Silagen wurde eine TMR mit einem hohen Kraftfutteranteil von 45 % hergestellt, was eine mittlere Partikellänge der TMR von 2,6, 2,8 und 3,0 cm ergab. Durch diese Behandlungen wurden weder die Futteraufnahme noch die Milchleistung signifikant beeinflusst, sehr wohl aber der Gehalt an Milchfett (3,0, 3,6 und 3,8 %) und die energiekorrigierte Milch (26,8, 29,6, 29,6 kg ECM). Die Gründe dafür sind deutlich am Wiederkau-Verhalten abzulesen (nicht jedoch in der Futteraufnahme und dem Fress-Verhalten). Besonders in der Gruppe „fein gehäckselt“





Durch strukturreiches Grundfutter bilden sich beim Fressen und Wiederkauen hohe Speichelmengen. Im Speichel sind Puffersubstanzen enthalten, welche eine starke Absenkung des pH-Wertes verhindern und damit den Pansenmikroben optimale Lebensbedingungen ermöglichen.

Foto: HBLFA Raumberg-Gumpenstein

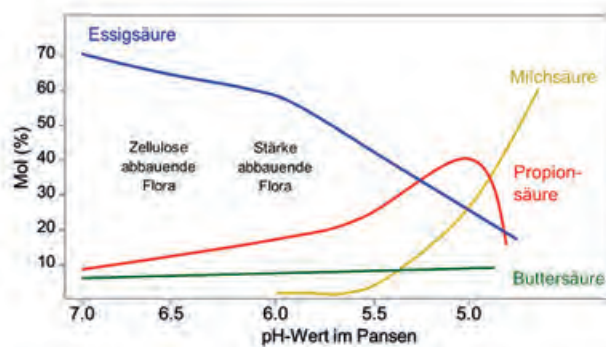
te Silage“ wiesen die Kühe eine deutlich geringere Wiederkauzeit auf (374, 466, 531 Minuten pro Tag), was sich in einem (zu) tiefen pH-Wert im Pansen (5.3, 5.9 und 6.0) und unphysiologischen Werten für das Essigsäure/Propionsäure-Verhältnis (<3:1) im Pansen niederschlug, sowie auch – als Folge davon – die Blutparameter Glukose und Insulin negativ beeinflusste.

Der Milchfettgehalt gibt also einen deutlichen Hinweis, ob eine Futtermischung nicht mehr wiederkäuergerecht ist. Die Gründe dafür können in zu hohen Kraftfutteranteilen oder nicht ausreichender Strukturwirkung des Grundfutters (Fasergehalt, Trockenmassegehalt und Häcksellänge) und natürlich in der Kombination beider Faktoren liegen, wodurch sich die Probleme noch verschärfen.

Bewertung der Strukturwirkung von Total-Misch-Rationen (TMR) für Milchkühe (nach GfE 2014)

Aus den oben genannten Zusammenhängen ergibt sich, dass die Versorgung der Milchkühe mit ausreichend Struktur(futter) bei steigenden Leistungen immer schwieriger und limitierender wird. Da die Futteraufnahme mit der Milchleistung nicht linear ansteigt (sondern nur degressiv), muss die Energiekonzentration mit zunehmender Milchleistung erhöht werden – vor allem durch höhere Kraftfutteranteile in der Ration (und hochverdauliche Grundfutter), um eine ausreichende Energieversorgung zu erreichen. Wie oben gezeigt, vermindert dies die Speichelmenge und damit die

Abb. 2: Fermentation im Pansen als Folge der Anpassung an die pH-Regulation (nach KAUFMANN und Mitarbeiter 1980)



Pufferwirkung der Ration, wodurch der pH-Wert im Pansen erniedrigt wird – mit der ebenfalls bereits diskutierten Konsequenz verminderter Verdaulichkeit und Futteraufnahme des Grundfutters. In weiterer Folge geht der Milchfettgehalt zurück und die Tiere erkranken an subakuter und letztlich an akuter Azidose. Typische Folgekrankheiten sind auch Labmagenverlagerungen, Leberschäden und Klauenerkrankungen.

Wiederkäuer benötigen also zur Aufrechterhaltung ihrer normalen Pansenfunktion neben der Zufuhr entsprechender Mengen an fermentierbaren Nährstoffen auch eine ausreichende Aufnahme an strukturiertem Futter. Dies sind die Faserbestandteile der Grundfutter, welche auch bestimmte physikalische Eigenschaften aufweisen müssen (Partikelgröße, Länge, Steifheit, Dichte), um die Speichelbildung auszulösen und zu fördern. Darüber

Tab. 2: Futteraufnahme und Milchleistung sowie Kauverhalten, Pansen- und Stoffwechselfparameter bei unterschiedlicher Häcksellänge der Silage¹⁾³⁾

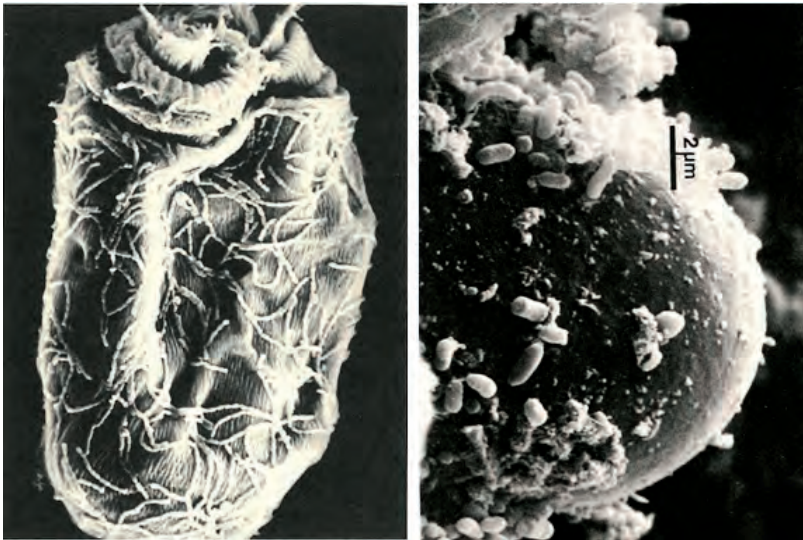
Häcksellänge der Luzernesilage		Fein	Mittel	Grob
Mittlere Partikellänge der TMR (cm) ²⁾		2,6	2,8	3,0
Futteraufnahme und Milchleistung				
Futteraufnahme	kg TM/Tag	22,4	22,0	22,2
Milchleistung	kg/Tag	31,5	32,1	31,1
Milchleistung	kg ECM/Tag	26,8 ^b	29,6 ^a	29,6 ^a
Fettgehalt	%	3,0 ^b	3,6 ^a	3,8 ^a
Eiweißgehalt	%	3,0	3,0	3,1
Kauverhalten, Pansen- und Stoffwechselfparameter				
Fressen	Minuten/Tag	195	204	205
Wiederkauen	Minuten/Tag	374 ^c	466 ^b	531 ^a
Kauzeit gesamt	Minuten/Tag	569 ^c	670 ^b	736 ^a
pH-Wert im Pansen		5,3 ^b	5,9 ^a	6,0 ^a
Essigsäure (ES)	% der Säuren	58,3 ^a	61,2 ^b	61,8 ^b
Propionsäure (PS)	% der Säuren	22,3 ^a	20,2 ^{ab}	19,5 ^b
ES/PS-Verhältnis		2,77 ^b	3,13 ^{ab}	3,52 ^a
Glukose	mg/100 ml	65,9 ^a	54,0 ^{ab}	44,9 ^b
Insulin	ng/100 ml	0,30 ^a	0,26 ^{ab}	0,20 ^b

¹⁾ Quelle: GRANT und Mitarbeiter 1990

(ungleiche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen)

²⁾ Zusammensetzung der TMR: 55 % Grundfutter und 45 % Kraftfutter
Variation der Häcksellänge durch Messereinstellung am Felddhacker

³⁾ Nährstoffgehalt der Silagen: 39 % TM, 20 % Rohprotein, 40 % NDF, 35 % ADF (in der TM)



Eine unvorstellbar hohe Anzahl an Mikroben fermentiert die mit dem Futter aufgenommenen Nährstoffe (Faser-Kohlenhydrate, Nichtfaser-Kohlenhydrate, Eiweiß) zu Essigsäure plus Methan, Propionsäure und Buttersäure sowie Ammoniak. Die Mikroben selbst sind die wichtigste Eiweißquelle der Wiederkäuer. Der Nährstoffgehalt der Futterration entscheidet über die Zusammensetzung der Mikrobenpopulation (verschiedene Arten an Protozoen, Bakterien und Pilzen). Die Bilder zeigen, dass zwischen den Mikroben selbst intensive Wechselbeziehungen bestehen.

hinaus wirken sich noch die Zusammensetzung des Kraftfutters (besonders der Stärkegehalt und dessen Abbauverhalten im Pansen) auf die Säurebildung aus (siehe oben). Die Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) hat im Jahr 2014 ein System der Bewertung der Strukturwirkung der Futtermittel und des Strukturbedarfes der Milchkuhe veröffentlicht, das nachstehend kurz beschrieben wird.

Was ist physikalisch effektive Faser (peNDF)?

Das Konzept der peNDF wurde von MERTENS (1997) in den USA entwickelt. Es verbindet den Gehalt an NDF (also die Summe eines Futtermittels an Gerüstsubstanzen) mit deren physikalischer Strukturwirkung. Die Strukturwirkung kann theoretisch Werte von 0 bis 1 annehmen und wird von der Art des Futtermittels und seinen physikalischen Eigenschaften bestimmt (im Wesentlichen von der Partikelgröße). Die peNDF wird durch Multiplikation des NDF-Gehaltes mit dem Faktor „physikalische Effizienz“ (pE) errechnet. Die physikalische Effizienz wird auf einfachem Weg mit der sogenannten Schüttelbox (PennState Particle Separator = PSPS) ermittelt. Sie errechnet sich aus dem Anteil der Futterpartikel, die eine Größe von mehr als 8 mm (Methode 1) bzw. von mehr als 1,18 mm (Methode 2) aufweisen.

Die Auftrennung der Futterpartikel mit unterschiedlicher Größe erfolgt in der Schüttelbox mit Sieben verschiedener Lochdurchmesser, nämlich 19 mm, 8 mm (und 1,18 mm). Anstatt des 1,18 mm-Siebes wird neuerdings auch ein 4 mm-Sieb verwendet. Die nachstehend angeführten Auswertungen von Literaturdaten durch ZEBELI und Mitarbeiter (2010) erfolgten auf der Basis der 8 mm-Siebe.

Was ist ein physiologischer pH-Wert im Pansen?

Damit ein „Bedarf an Struktur“ oder eine „Mindestversorgung an physikalisch effektiver Faser“ angegeben werden kann, muss festgelegt werden, ab welcher Grenze der pH-Wert im Pansen nicht mehr als physiologisch (das heißt nicht mehr als gesund) anzusehen ist. Um einen normalen pH-Wert im Pansen zu erreichen, ist eine bestimmte Kautätigkeit erforderlich. Außerdem muss der Panseninhalt klar in Pansenflüssigkeit, Pansenmatte und Gasblase geschichtet sein, die unwillkürlichen Pansenbewegungen müssen kontinuierlich ablaufen und die Pansenzotten müssen die von den Pansenmikroben gebildeten flüchtigen Fettsäuren rasch aufnehmen können, um einen starken Abfall des pH-Wertes zu vermeiden.

In einer umfangreichen Auswertung von vielen pansenphysiologischen Untersuchungen haben ZEBELI und Mitarbeiter (2008) ermittelt, dass eine „normale Pansenfunktion“ dann gegeben ist, wenn folgende zwei Kriterien erfüllt sind. Erstens darf der mittlere pH-Wert während eines Tages nicht unter 6,2 absinken und zweitens darf ein pH-Wert von weniger als 5,8 nicht länger als 5–6 Stunden auftreten. Der pH-Wert zeigt nämlich – besonders in Abhängigkeit von den Fütterungszeiten (das heißt dem Nährstoffangebot an die Pansenmikroben) – einen typisch schwankenden Verlauf mit einem starken Abfall nach der Fütterung, bei dem die Fermentation und Bildung der Fettsäuren intensiv einsetzt. Sinkt der mittlere pH-Wert unter 6,2 und dauert die Phase des pH-Wertes von weniger als 5,8 länger als 5–6 Stunden, ist von subklinischer Azidose auszugehen (Tabelle 3).

Einfluss von peNDF auf den pH-Wert im Pansen sowie auf Futteraufnahme, Kautätigkeit und Verdaulichkeit

ZEBELI und Mitarbeiter (2010) haben aus diesen umfangreichen pansenphysiologischen Untersuchungen auch ermittelt, wie sich der

Tab. 3: Abgrenzung von normaler Pansenfermentation und subklinischer Azidose (99 % Vertrauensgrenzen) (nach ZEBELI und Mitarbeiter 2008)

	pH-Tagesmittelwert		Dauer des pH-Wertes unter 5,8 (in h)	
	untere Grenze	obere Grenze	untere Grenze	obere Grenze
Normale Fermentation	6,16	6,49	1,62	5,24
Subklinische Azidose	5,82	6,14	5,47	15,54

Gehalt an physikalisch effektiver Faser (peNDF_{>8}) auf den pH-Wert im Pansen, Futteraufnahme und Wiederkautätigkeit sowie Verdaulichkeit der Faser auswirkt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3 dargestellt.

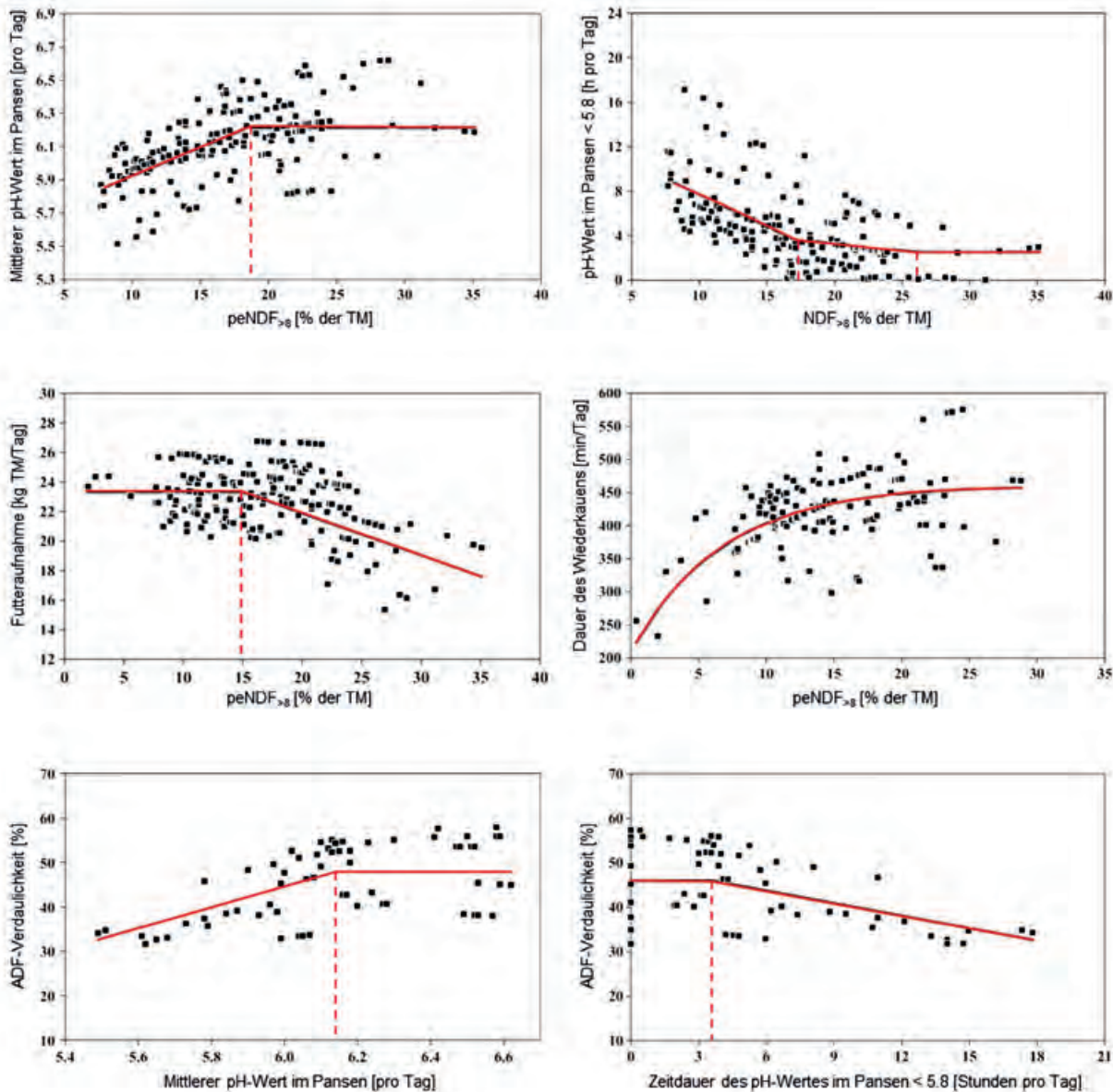
pH-Wert im Pansen

Mit steigendem Gehalt an peNDF_{>8} steigt auch der pH-Wert im Pansen, allerdings nur bis 18,5 % peNDF_{>8}. Bei diesem Gehalt an peNDF_{>8} beträgt der mittlere pH-Wert im Pansen 6,22 und liegt damit knapp über dem Grenzwert der subklinischen Pansenazidose. Mit steigendem Gehalt an peNDF_{>8} verringert sich auch die Dauer, bei welcher ein pH-Wert von unter 5,8 festzustellen ist. Dieser Einfluss ist besonders stark im Bereich eines geringen Gehaltes an peNDF_{>8} (bis 17 %) und weniger deutlich bei einem höheren Gehalt an peNDF_{>8}

(bis 26 %). Darüber hinaus wirkt sich der Gehalt an peNDF_{>8} auf die Dauer des pH-Wertes von unter 5,8 nicht mehr aus. Es wird also in jedem Fall eine Dauer des pH-Wertes von unter 5,8 im Ausmaß von mindestens 2,5 Stunden gefunden, auch wenn ein höherer Gehalt an peNDF_{>8} gefüttert wird. Dies ergibt sich aus der Tatsache, dass bei intensiver Fermentation – nach Beginn der Fütterung – mit einem deutlichen Abfall des pH-Wertes zu rechnen ist (Abbildung 3 oben).

Die Aussage, dass ein steigender Gehalt an peNDF ab einem gewissen (Schwellen-)Wert nicht mehr zu einer Erhöhung des pH-Wertes führt, kommt auch durch die Auswertungsmethode von ZEBELI und Ma. (2010) zustande (sog. broken line-Modell). MERTENS (1997) hat ein nicht-lineares Auswertungsmodell gewählt, nach dem bei niedrigen Gehalten an

Abb. 3: Einfluss des Gehaltes an physikalisch effektiver Faser (peNDF_{>8}) auf den pH-Wert im Pansen, Futteraufnahme und Wiederkautätigkeit sowie Verdaulichkeit der Faser (nach ZEBELI und Mitarbeiter 2010)





Die Bewertung der Strukturwirkung von Total-Misch-Rationen erfolgt am zielführendsten nach dem System der physikalisch effektiven Faser (peNDF). Dazu muss erstens der Gehalt an NDF bekannt sein (d.h. dieser Wert sollte analysiert werden) und zweitens muss die „physikalische Effektivität“ bestimmt werden. Das geschieht am einfachsten mit der sog. Schüttelbox (PennState Particle Separator = PSPS). Als „physikalisch effektiv“ werden alle Futterpartikel angenommen, die größer als 8 mm bzw. 4 mm sind (die also nicht durch das 4 mm-Sieb bzw. das 8 mm-Sieb fallen).

Foto: G. Terler

peNDF ein sehr starker Einfluss auf den Gehalt an Milchfett und den pH-Wert festgestellt wird, der sich im oberen Bereich der peNDF-Gehalte mehr und mehr abschwächt, allerdings nicht Null wird. Aus biologischen Gründen hat auch diese Auswertungsmethode durchaus ihre Berechtigung. Beide Modelle kommen zu ähnlichen Schlussfolgerungen (Abbildung 4).

Futteraufnahme und Kautätigkeit

Wie bereits diskutiert bedeutet die Fütterung, besonders der Hochleistungskuh, einen Kompromiss zwischen dem Bedarf der Kuh an Energie und den Ansprüchen der Pansenmikroben an nicht zu saure Milieu-Bedingungen im Pansen. Eine hohe Energieversorgung wird

üblicherweise mit hohen Kraftfutteranteilen (und hochverdaulichem Grundfutter) erzielt, während genau diese Bedingungen zu tiefen pH-Werten im Pansen führen und besonders die Zellulose-Bakterien hemmen oder sogar schädigen.

In Abbildung 3 (Mitte) ist der Einfluss der peNDF_{>8} auf Futteraufnahme und Wiederkautätigkeit dargestellt. Bis zu einem Gehalt von 14,9 % wirkt sich ein steigender Gehalt an peNDF_{>8} nicht negativ auf die Futteraufnahme aus, höhere Gehalte an Gerüstsubstanzen senken dagegen die Futteraufnahme, weil diese im Pansen langsamer abgebaut werden und daher eine größere Füllwirkung erzeugen. Zusätzlich erhöht sich die Zeit für Kauen und Wiederkauen, wodurch weniger Zeit für Fressen bleibt. Doch selbstverständlich ist das Wiederkauen lebenswichtig für gesunde Pansenverhältnisse und einen stabilen pH-Wert! Es ist gerade dieser positive Einfluss der Gerüstsubstanzen auf die Kau- und Wiederkautätigkeit, der für die Abpufferung der bei der Fermentation entstehenden flüchtigen Fettsäuren sorgt und günstige Lebensbedingungen für die Pansenmikroben schafft.

Verdaulichkeit der Faser

Wie bereits mehrfach angesprochen sind besonders die Zellulose abbauenden Pansenmikroben von sinkenden pH-Werten betroffen, da ihr pH-Optimum höher liegt als das der Stärke abbauenden Pansenmikroben. In Abbildung 3 (unten) ist daher der Einfluss des pH-Wertes im Pansen auf die Verdaulichkeit der ADF (Säure-Detergenzien-Faser) angeführt. Die Darstellungen zeigen, dass die Verdaulichkeit der Faser ab einem pH-Wert von 6,14 deutlich vermindert wird. Ebenso wirkt es sich negativ auf die Verdaulichkeit der Faser aus, wenn der pH-Wert länger als 3,5 Stunden unter 5,8 liegt.

Empfehlungen der GfE zur Versorgung der Milchkühe an peNDF

Sicherlich ist der Gehalt an peNDF hauptverantwortlich für die Regulation des pH-Wertes im Pansen. Doch zusätzlich üben auch der Gehalt an (abbaubarer) Stärke sowie die Höhe der Futteraufnahme einen Einfluss auf den pH-Wert im Pansen aus. Die im Pansen abgebaute Stärke wird zu Propionsäure fermentiert, welche stark sauer wirkt. Und es ist klar, dass auch eine höhere Futteraufnahme zu einem tieferen pH-Wert führt, da sie mehr organische Masse für die Fermentation der Pansenmikroben liefert. Abschließend werden daher die Empfehlungen der GfE zur Versorgung der Milchkühe an peNDF_{>8} in Abhängigkeit von Stärkegehalt und Futteraufnahme angeführt (Tabelle 4).

Je nach Stärkegehalt und Futteraufnahme ergibt sich, dass der Gehalt an peNDF_{>8} 12 bis 22 % der TM betragen soll, um einen pH-Wert im Pansen von etwa 6,2 zu erreichen. Die um-

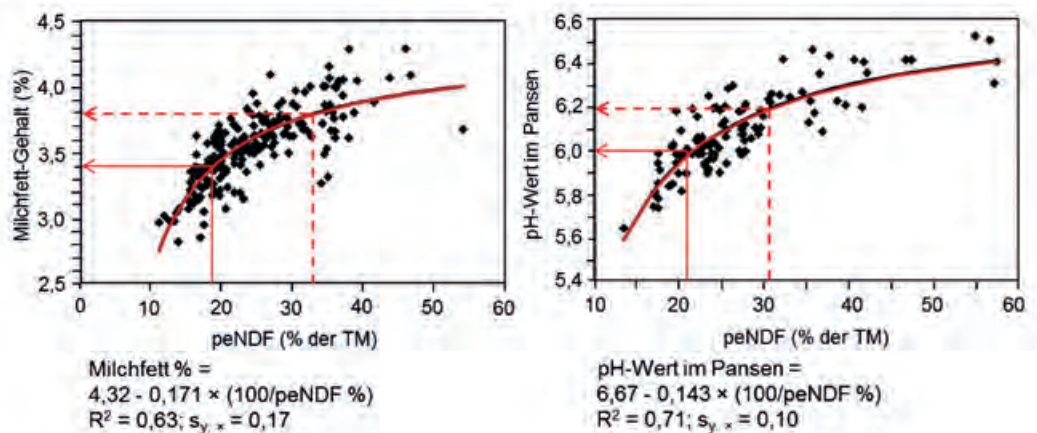
Tab. 4: Erforderliche Gehalte an peNDF_{>8} (% der TM) für einen mittleren Tages-pH-Wert von 6,2 in Abhängigkeit von der TM-Aufnahme und dem Gehalt der Ration an Gesamtstärke (GfE 2014)

Gesamtstärke (% der TM)	Futteraufnahme (kg TM/Tag)				
	18	20	22	24	26
14	12	13	15	16	18
18	14	15	17	18	21
22	16	17	19	21	22
26	18	20	22	22	22

fangreichen Untersuchungen von ZEBELI und Mitarbeiter (2010) haben gezeigt, dass bei diesem pH-Wert sowohl die Lebensbedingungen für die Pansenmikroben (noch) ausreichend gut und auch die Futteraufnahme sowie Energieversorgung der Kühe entsprechend hoch sind. Insgesamt zeigen die dargestellten Zusammenhänge, dass es sehr schwierig ist, hochleistende Milchkühe ausreichend mit Energie zu versorgen und gleichzeitig optimale Lebensbedingungen für die Pansenmikroben zu schaffen (obwohl gute Pansenbedingungen die Lebensgrundlage für die Wirtstiere sind!). Die Züchtung auf höhere Milchleistungen muss daher auch die Futteraufnahme im Auge behalten, um die Pansengesundheit zu erhalten und Stoffwechselprobleme zu vermeiden.

Wiederkäuer benötigen also zur Aufrechterhaltung ihrer normalen Pansenfunktion neben der Zufuhr entsprechender Mengen an fermentierbaren Nährstoffen auch eine ausreichende Aufnahme an strukturiertem Futter. Das Konzept der peNDF vereinigt Informationen der chemischen Zusammensetzung mit der physikalischen Form des Futters. Beide Faktoren entscheiden über die Wiederkäuerge-

Abb. 4: Einfluss des Gehaltes an physikalisch effektiver Faser (peNDF_{>1,18}) auf den Gehalt an Milchfett sowie den pH-Wert im Pansen (nach MERTENS 1997)



recht einer Ration. Das System peNDF geht vom pH-Wert im Pansen aus, der die aussagekräftigste Kennzahl für physiologische Pansenbedingungen darstellt. Darunter ist ein mittlerer pH-Wert von über 6,2 zu verstehen und eine Dauer des pH-Wertes von unter 5,8 und nicht länger als 5 Stunden. Der erforderliche Gehalt an peNDF wird zusätzlich vom Stärkegehalt der Ration und der Höhe der Futteraufnahme bestimmt, da beide Faktoren zu einer intensiveren Fermentation und Säurebildung im Pansen beitragen, welche über die durch strukturierte Faser hervorgerufene Speichelbildung abgepuffert werden muss.



Eine starke Zerkleinerung des Grundfutters (z.B. durch Feldhäcksler oder im Futtermischwagen) verringert die Strukturwirkung der Ration. Auch hohe Anteile von Kraftfutter (besonders Kraftfutter mit hohem Gehalt an rasch abbaubarer Stärke) fördern die Säureproduktion im Pansen und erhöhen damit die Gefahr einer Azidose.

Fotos: L. Gruber



Grassilage betonte Rationen haben einen deutlich höheren Anteil langer Partikel im Vergleich zu Maissilage betonten Rationen.

Milchviehrationen in der Praxis anhand der Gerüstsubstanzen bewerten

Das Vormagensystem der Wiederkäuer kann faserreiche Futtermittel aufschließen und dadurch auch solche Nährstoffe für die Versorgung des Tieres verfügbar machen, welche Tiere mit einhöhligen Magen nicht nutzen können. Für die Funktionstüchtigkeit dieses Systems, besonders des Pansens, ist aber eine ausreichende physikalische Struktur der Ration Voraussetzung.

Von Franz TIEFENTHALLER und Karl WURM

Bedeutung der Partikellänge

Grundfutter vom Feld hat in der Regel ausreichend hohe Anteile an physikalisch strukturwirksamen Bestandteilen. Durch die Ernte, die Futterentnahme aus dem Silo und durch den Mischvorgang kann es jedoch zu einer deutlichen Zerkleinerung („Vermusung“) kommen (Tabelle 1). Kraftfuttermittel weisen nahezu keine bzw. eine nur sehr geringe physikalische Strukturwirksamkeit auf. Dies gilt sowohl für gemahlenes, gequetschtes als auch pelletiertes Futter.

Entscheidend für eine ausreichende Strukturwirkung der Ration ist aber nicht nur die Verteilung der Partikellängen im Ausgangsfutter, sondern im tatsächlich gefressenen Futter. Bei Futterselektion werden meist die langen Partikel (z.B. Stroh) übriggelassen, die feinen Parti-

kel aber werden gefressen. Bei der Beurteilung der Ration müssen daher die Futterreste unbedingt berücksichtigt werden.

Überprüfung der Futterpartikellänge

Zur Kontrolle der Zerkleinerung und auch der Mischgenauigkeit der Ration kann eine Schüttelbox (Penn State Particle Separator) verwendet werden. Drei untereinander angeordnete Siebe mit Lochgrößen von 19, 8 und 4 mm sortieren das Futter nach ihrer Partikellänge (bis 2013 wurde statt dem 4 mm-Sieb ein 1,18 mm-Sieb verwendet). Dazu wurden in den USA aus Felddaten Grenzwerte für die Verteilung des Futters in den Separatoren der Schüttelbox ausgearbeitet. So dürfen bei Totalmischrationen 50 bis maximal 60 % durch das 8 mm-Sieb bzw. 30 bis maximal 40 % der Rati-

Tab. 1: Effekt der Partikellänge von Grundfutter auf die Wiederkautätigkeit von Kühen (nach MERTENS 1997)

Futtermittel	Partikellänge	NDF-Gehalt (g/kg TM)	Wiederkautätigkeit			Autoren
			(min/kg TM)	(min/kg NDF)	lang = 100	
Luzerneheu	lang	540	72	134	100	MERTENS (1995)
	3,8 cm	540	59	109	81	
Weizenstroh	lang	840	163	194	100	CAMPLING und Ma. (1966)
	gemahlen	750	84	113	58	
Maissilage	19 mm	680	66	97	100	SUDWEEKS und Ma. (1979)
	13 mm	620	60	96	99	
	6 mm	600	40	66	68	

Tab. 2: Empfohlene Verteilung der Partikellängen für Grundfuttermittel und Totalmischrationen bei Verwendung der vierteiligen Schüttelbox (in Prozent) (HEINRICHS et al. 2013)

Futtermittel	Maissilage	Grassilage	TMR
Obersieb (über 19 mm)	3–8	10–20	2–8
Mittelsieb (8 bis 19 mm)	45–65	45–75	30–50
Untersieb (4 bis 8 mm)	20–30	30–40	10–20
Auffangschale (unter 4 mm)	<10	<10	30–40

on durch das 4 mm-Sieb fallen. Höhere Anteile deuten auf eine nicht mehr wiederkäuerge-rechte Ration hin (Tabelle 2).

Bei aufgewerteten Grundfütterationen muss das zusätzlich verabreichte Kraftfutter je Kuh und Tag gesondert bewertet werden. Rechnerisch erhöht sich der Feinanteil (< 4 mm) je Kilogramm Kraftfutter um rund 2 %. Die Anteile der längeren Partikeln verringern sich.

Zur Kontrolle der Mischgenauigkeit von Mischrationen soll sofort nach der Futtervorlage an mehreren Stellen, gut verteilt über den Futtertisch, das Verhältnis der lang-, mittel- und kurzfasrigen Komponenten zueinander festgestellt werden. Die Futterreste sollen ebenfalls ein ähnliches Verteilungsmuster wie die frisch vorgelegte Mischung aufweisen. Veränderungen im Verhältnis deuten auf ein Entmischen bzw. eine Selektion durch die Tiere hin.

Worauf muss beim Schütteln geachtet werden?

Die Futterproben vorsichtig mit dem „Baggergriff“ ziehen, damit die Feinteile enthalten bleiben. Die Probenmenge für die Schüttelbox muss genau den Vorgaben entsprechen, damit sich das Futter gut schütteln lässt. Feuchte Futtermischungen unter 40 % Trockenmasse lassen sich sehr schlecht sieben. Die Kraftfutterbestandteile haften an der feuchten Silage. In diesem Fall soll das Futter vor dem Schütteln einige Stunden an der Luft gleichmäßig auf ca. 50 % Trockenmasse getrocknet werden.

Aus Praxiserhebungen ist bekannt, dass besonders bei Rationen mit hohen Mengen an Kraftfutter und Maissilage hohe Anteile kurzer Partikel zu erwarten sind. Mischrationen mit

viel Grassilage enthalten in der Regel viele lange Futterpartikel (siehe Bild Seite 10).

Im Folgenden werden die Schüttelergbnisse einiger Beispielsrationen für ein hohes Leistungsniveau mit unterschiedlicher Zusammensetzung besprochen und Schlussfolgerungen abgeleitet.

Rationen mit hohem Maissilageanteil lassen sich in der Regel sehr gut sieben. Neben der prozentuellen Aufteilung des Futters in den einzelnen Siebkästen ist auch der Zerkleinerungsgrad der Maiskörner gut zu beobachten. Diese befinden sich hauptsächlich im Unter- und Mittelsieb. Das Schüttelergbnis der Beispielsration mit 70 % Maissilageanteil (Tabelle 3a) deutet auf eine starke Zerkleinerung der Ration hin. Mehr als 40 % der Ration (45 %) hat eine Partikellänge von weniger als 4 mm. Im Mittelsieb finden sich hingegen nur 25 % anstatt von mindestens 30 % (Tabelle 3b).

Tab. 3a: Zusammensetzung einer TMR mit 70 % Maissilageanteil

Futtermittel	Gehalt an Trockenmasse (%)	Aufnahme an Frischmasse (kg je Tag)	Aufnahme an Trockenmasse (kg je Tag)
Stroh	90	0,3	0,3
Grassilage	40	10	4,0
Maissilage	35	26	9,1
Kraftfutter	88	10	8,8
Summe		46,3	22,2

Tab. 3b: Schüttelergbnis einer TMR mit 70 % Maissilageanteil

	TMR-Zielwerte (%)	Schüttel- ergebnis (%)
Obersieb (über 19 mm)	2–8	4
Mittelsieb (8 bis 19 mm)	30–50	25
Untersieb (4 bis 8 mm)	10–20	26
Auffangschale (unter 4 mm)	30–40	45

Konsequenzen für die Rationsgestaltung und das Fütterungsmanagement:

- Kleine Mengen Heu (0,5 kg) extra füttern oder Strohanteil leicht erhöhen (auf 0,5 kg je Tier und Tag)

- Vermischung der Ration im Mischwagen vermeiden (Mischreihenfolge genau einhalten, Mischzeiten nicht überschreiten, Einstellungen zur Gegenschneide überprüfen, laufende Wartung des Futtermischwagens, z.B. Messer schleifen)
- Maissilageanteil im Grundfutter von derzeit knapp 70 % auf 50 % senken bzw. mehr Gras- bzw. Feldfuttersilage einsetzen
- Maissilage ausreichend lang häckseln (6 bis 8 mm)
- Futterselektion durch Einmischen von z.B. Melasse oder Wasser vermeiden

Rationen mit hohem Grassilageanteil lassen sich häufig schwer sieben. Gründe dafür sind die geringe Dichte des Futters und viele lange Partikel, besonders dann, wenn die Grassilage bei der Ernte nicht gehäckselt wurde. Das Schüttelergebnis der Beispielsration mit hohem Grassilageanteil (Tabelle 4a) deutet auf eine ungleichmäßige und geringe Zerkleinerung der Ration hin. 23 % der Ration hat eine Partikellänge von mehr als 19 mm. Aufgrund der hohen Anteile langer Futterpartikel kann es zu einer verstärkten Futterselektion und damit mehr Unruhe in der Herde bzw. zu einer geringen Futteraufnahme der Herde kommen (Tabelle 4b).

Tab. 4a: Zusammensetzung einer TMR mit 65 % Grassilageanteil

Futtermittel	Gehalt an	Aufnahme an	Aufnahme an
	Trockenmasse (%)	Frischmasse (kg je Tag)	Trockenmasse (kg je Tag)
Heu	90	1	0,9
Grassilage	36	24	8,6
Maissilage	30	12	3,6
Kraftfutter	88	10	8,8
Summe		47	21,9

Tab. 4b: Schüttelergebnis einer TMR mit 65 % Grassilageanteil

	TMR-Zielwerte (%)	Schüttelergebnis (%)
Obersieb (über 19 mm)	2–8	23
Mittelsieb (8 bis 19 mm)	30–50	39
Untersieb (4 bis 8 mm)	10–20	10
Auffangschale (unter 4 mm)	30–40	28

Tab. 5: Erforderliche Gehalte an $peNDF_{>8}$ (% der TM) für einen mittleren Tages-pH-Wert von 6,2 in Abhängigkeit von der TM-Aufnahme und dem Gehalt der Ration an Gesamtstärke (GfE 2014)

Gesamtstärke (% der TM)	Futteraufnahme (kg TM/Tag)				
	18	20	22	24	26
14	12	13	15	16	18
18	14	15	17	18	21
22	16	17	19	21	22
26	18	20	22	22	22

Konsequenzen für die Rationsgestaltung und das Fütterungsmanagement:

- Heu nicht in die Ration einmischen, sondern extra verabreichen
- Messer im Mischwagen schleifen
- Vermischung der Ration im Mischwagen vermeiden (Mischreihenfolge genau einhalten, Mischzeiten nicht überschreiten, Einstellungen zur Gegenschneide überprüfen, laufende Wartung des Futtermischwagens, z.B. Messer schleifen)
- Gras- und Feldfuttersilage schon bei der Ernte ausreichend zerkleinern bzw. häckseln
- Futterselektion durch Einmischen von Melasse oder auch Wasser vermeiden

Bei **aufgewerteten Mischrationen (AGR)** muss das zusätzlich verabreichte Kraftfutter (Transponder, Melkroboter oder Lockfutter über Futtertisch) berücksichtigt werden (Tabelle 6a). Rechnerisch wird je Kilogramm Kraftfutter der Anteil in der Auffangschale um 2 % erhöht. Die Prozentanteile in den anderen Siebfractionen werden entsprechend gesenkt. Im konkreten Beispiel werden den hochleistenden Milchkühen über einen Transponder 6 kg Kraftfutter zugeteilt. Dadurch erhöht sich der Anteil in der Auffangschale rechnerisch um 12 % von 22 % auf 34 %. Die Summe der Anteile in den oberen Schalen vermindert sich rechnerisch um 12 % von 78 % (15 + 47 + 16) auf 66 % (12,5 + 40,0 + 13,5) (Tabelle 6b).

Tab. 6a: Schüttelergebnis einer AGR

	TMR-Zielwerte (%)	Schüttelergebnis (%)
Obersieb (über 19 mm)	2–8	15
Mittelsieb (8 bis 19 mm)	30–50	47
Untersieb (4 bis 8 mm)	10–20	16
Auffangschale (unter 4 mm)	30–40	22

Tab. 6b: Schüttelergebnis einer AGR mit Berücksichtigung des zusätzlich verabreichten Kraftfutters

	TMR-Zielwerte (%)	Schüttelergebnis (%)	Schüttelergebnis nach Kraftfutterkorrektur (%)
Obersieb (über 19 mm)	2–8	15	$15 \times (66 / 78) = 12,5$
Mittelsieb (8 bis 19 mm)	30–50	47	$47 \times (66 / 78) = 40,0$
Untersieb (4 bis 8 mm)	10–20	16	$16 \times (66 / 78) = 13,5$
Auffangschale (unter 4 mm)	30–40	22	$22 + 12 = 34,0$

Physikalisch effektive NDF zur Rationsgestaltung nutzen

Bisher war es schwer möglich, Laboranalysen von Futtermitteln mit einfachen praktischen Untersuchungen vor Ort zu kombinieren. Von Wissenschaftlern in den USA wurden nun Daten erarbeitet, die eine sinnvolle Kombination der NDF-Analysen mit den Schüttelboxergebnissen zulassen. Dabei wird jener Anteil des Futters, der eine Partikelgröße von 8 mm überschreitet, mit dem NDF-Gehalt des Gesamtfutters multipliziert. Der daraus entstehende Wert wird als physikalisch effektive NDF (peNDF) bezeichnet. Daraus ergeben sich Zielwerte, die nicht unterschritten werden sollten. Bei Unterschreitung der Zielwerte für peNDF kann es zu einem Absinken des pH-Wertes im Pansen im Tagesmittel unter 6,2 bzw. unter 5,8 für einen Zeitraum von mehr als fünf Stunden kommen. Es besteht die Gefahr einer Azidose. Ein deutliches Überschreiten kann zu einem Rückgang der Futteraufnahme führen. „Erforderliche Gehalte an peNDF_{>8} (% der TM) für einen mittleren TagespH-Wert von 6,2 in Abhängigkeit von der TMAufnahme und dem Gehalt der Ration an Gesamtstärke“ sind in Tabelle 5 angeführt.

Feststellung der peNDF in Totalmischrationen

Dazu eignet sich auch eine Schüttelbox mit nur zwei Sieben (19 und 8 mm). Jener Futteranteil in Prozent, der größer als 8 mm ist, wird mit dem NDF-Gehalt in der Trockenmasse multipliziert. Der NDF-Gehalt der Mischration wird entweder mit Hilfe einer Laboranalyse der Mischung oder durch Aufsummieren der NDF-Gehalte der einzelnen Futtermittel ermittelt. Das Ergebnis ist die peNDF, diese wird mit den jeweiligen Zielgrößen in der Tabelle 5 verglichen. Dabei werden auch die Trockenmassenaufnahme und der Stärkegehalt (XS) berücksichtigt. Das Schüttelergebnis für die Totalmischration ergibt einen Anteil von 51 % größer als 8 mm (Tabelle 7). Die 51 % werden mit dem NDF-Gehalt der TMR (359 g/kg TM) multipliziert. Um eine Prozentdarstellung zu erhalten, wird das Ergebnis durch 1000 dividiert.

Um eine ausreichende Strukturversorgung zu gewährleisten, muss in dem oben angeführten Beispiel bei einer Futteraufnahme von 22 kg Trockenmasse und einem Stärkegehalt von knapp 20 % (195 g/kg TM) die peNDF_{>8} mindestens 18 % betragen (Tabelle 5). Im Beispiel wird dieser Zielwert mit 18,3 % nur knapp überschritten (Tabelle 7).

Konsequenzen für die Rationsgestaltung und das Fütterungsmanagement

- Futterselektion vermeiden
- Tierverhalten muss genau beobachtet werden (Kot, Wiederkautätigkeit, Klauengesundheit, Fress-Verhalten, Milchfettgehalt)
- Heu- oder Strohanteil leicht erhöhen (+ 0,5 kg je Tier und Tag)
- Vermischung der Ration im Mischwagen vermeiden (Dauer und Reihenfolge des Mischens genau einhalten, Wartung der Messer)
- Maissilage auf 6 bis 8 mm häckseln
- Im Pansen rasch abbaubare Kraftfutterkomponenten (Weizen, Triticale, Roggen) senken und pansenschonendes Kraftfutter (Körnermais, Trockenschnitzel) erhöhen bzw. Kraftfuttermenge leicht senken.

Feststellung der peNDF in Teilmischrationen

Die Vorgangsweise ist ähnlich wie bei Totalmischrationen. Es muss jedoch auch das Kraftfutter, welches zusätzlich zur Mischration verabreicht wird, entsprechend berücksichtigt werden (Tabelle 9). Das Ergebnis wird mit den



Um die Partikellänge feststellen zu können, sind eine Schüttelbox und eine Waage notwendig.

Tab. 7: Zusammensetzung einer TMR für eine Milchkuh inklusive des Gehaltes an NDF und Stärke

Futtermittel	Gehalt an Trockenmasse (%)	Aufnahme an Frischmasse (kg je Tag)	Aufnahme an Trockenmasse (kg je Tag)	Gehalt an NDF (g/kg TM)	Gehalt an XS (g/kg TM)
Heu	90	1	0,9	550	0
Grassilage	35	18	6,3	460	0
Maissilage	34	18	6,1	392	350
Kraftfutter	88	10	8,8	245	244
Summe		47	22,1		
Gehalt	47			359	195

$$\text{Berechnung peNDF}_{>8} = 51 \times 359 / 1000 = 18,3 \%$$

Tab. 8: Erforderliche Gehalte an peNDF_{>8} in der AGR (% der TM) in Abhängigkeit von der Gesamttrockenmasse-Aufnahme, dem zusätzlich verabreichten Kraftfutter und dem Stärkegehalt im Kraftfutter (GfE 2014)

AGR-Aufnahme (kg TM je Tag)	Zusätzliche Kraftfutter-Gabe (kg TM je Tag)							
	2		4		6		8	
	Stärke-Gehalt des Kraftfutters (g/kg TM)							
	20	40	20	40	20	40	20	40
14	15	16	19	22	23	27	28	33
16	16	18	20	23	24	28	30	29 ¹⁾
18	18	19	22	25	26	27 ¹⁾	32 ¹⁾	29 ¹⁾
20	19	21	24	27 ¹⁾	29 ¹⁾	29 ¹⁾		

¹⁾ peNDF_{>8}-Gehalte über den angegebenen Werten können die Trockenmasseaufnahme limitieren

Tab. 9: Beispiel einer aufgewerteten Grundfütterration (AGR)

Futtermittel	Gehalt an Trockenmasse (%)	Aufnahme an Frischmasse (kg je Tag)	Aufnahme an Trockenmasse (kg je Tag)	Gehalt an NDF (g/kg TM)
Heu	90	1	0,9	550
Grassilage	35	18	6,3	460
Maissilage	34	18	6,1	392
Kraftfutter	88	3	2,6	245
Summe		40	15,9	
Gehalt	39,8			403

Berechnung peNDF_{>8} AGR = 62 × 403 / 1000 = 25,0 %

Zielwerten der GfE (2014) verglichen und daraus die Schlussfolgerungen gezogen (Tabelle 8).

An die leistungsstärksten Kühe wird extra bis zu 7 kg Kraftfutter (6,2 kg TM) über einen Transponder oder Melkroboter verabreicht. Das Schüttelergebnis für die Teilmischration ergibt einen Anteil von 62 % größer als 8 mm. Die Berechnung der peNDF_{>8} in der AGR erfolgt wie im obigen Beispiel bei der TMR. Der Gehalt von 25,0 % peNDF_{>8} in der aufgewerteten Grundfütterration wird mit den Zielwerten der Tabelle 8 verglichen. Dabei müssen auch die Trockenmasseaufnahme der AGR, das zusätzlich verabreichte Kraftfutter und die Stärkekonzentration im Kraftfutter berücksichtigt werden. Im obigen Beispiel, mit einer AGR-Aufnahme von 15,9 kg TM, einer zusätzlichen Kraftfuttergabe von 6,2 kg TM mit einem Stärkegehalt von 30 %, liegt der Zielwert für die peNDF_{>8} in der aufgewerteten Grundfütterration bei 26 % (siehe grün markierter Bereich, Tabelle 8). Der im Beispiel ermittelte Wert von 25 % liegt unter dem Zielwert, was auf eine knappe Strukturversorgung hinweist. Im konkreten Fall ist es sinnvoll, die maximale Kraftfuttermenge auf 6 kg Frischmasse zu senken bzw. die Zerkleinerung der Mischration zu überprüfen.

Großer Wert muss auf eine hohe Mischgenauigkeit und eine ausreichende Zerkleinerung ohne Vermusen des Futters gelegt werden. Die Schneidwerkzeuge des Mischwagens müssen ständig kontrolliert und bei Bedarf geschärft werden. Bei knapper Strukturversorgung kann mit einem geringen Heu- oder Strohanteil die Ration verbessert werden. Wichtig ist natürlich auch der Trockenmassegehalt der fertigen Mischung. Dieser soll im Bereich von 40 bis 45 % liegen. Zu trockene Mischungen erleichtern das Selektieren, zu feuchte Mischungen vermindern die Futteraufnahme und Strukturwirkung.

Ist eine Berechnung der peNDF auch bei getrennter Futtevorlage möglich?

Der überwiegende Teil der österreichischen Rinderbauern füttert keine Mischrationen. Die gleiche Vorgangsweise wie bei der Ermittlung der peNDF in Mischrationen ist daher nicht möglich. Es ist aber durchaus interessant, die peNDF der Einzelfuttermittel zu summieren und das Ergebnis mit den Zielwerten zu vergleichen. Dabei wird unterstellt, dass das Kraftfutter aufgrund des Zerkleinerungsgrades keine peNDF enthält. Der überwiegende Teil des Grundfutters wie Heu sowie Silagen von Wiesenfutter, Feldfutter und Getreide-Ganzpflanzen haben eine ausreichende Parti-

Tab. 10: Einfluss des Ernteverfahrens und Trockenmassegehaltes auf die Verteilung der Partikellängen (%) bei Grassilage (Steinwider und Zeiler 2003)

Ernte-Verfahren	Feldhäcksler	Ladewagen Kurzchnitt	Ladewagen Langschnitt	Feldhäcksler	Ladewagen Kurzchnitt	Ladewagen Langschnitt	Mais- Silage
Theor. Häcksellänge	17 mm	34 mm	90 mm	17 mm	34 mm	90 mm	7 mm
TM-Gehalt der Silagen		34%			54%		33%
Obersieb (> 19 mm)	35	67	88	36	66	80	2
Mittelsieb (8–19 mm)	51	25	8	41	21	12	40
Boden (< 8 mm)	15	8	4	23	13	8	58



Tab. 11: Berechnung peNDF bei getrennter Vorlage der Futtermittel

	Aufnahme an Frischmasse (kg je Tag)	Aufnahme an Trockenmasse (kg je Tag)	Gehalt an NDF (g/kg TM)	Summe an NDF (g je Tag)	Anteil >8 mm Schüttelbox (%)	Menge an peNDF _{>8} (g/Tag)
Heu	1	0,9	550	495	100	495
Grassilage	18	6,3	460	2898	85	2463
Maissilage	18	6,1	392	2391	40	956
Krafftutter	10	8,8	245	2156	0	0
Summe	47	22,1				3914
Gehalt						17,7

$$\text{peNDF}_{>8} \text{ Gesamtration} = (3914 / 22,1) / 10 = 17,7 \%$$

kellänge von meist deutlich über 8 mm. Beim Einsatz dieser Futtermittel kann 80 bis 95 % der NDF als physikalisch effektiv angesehen werden. Zur genauen Abklärung müssen die betreffenden Futtermittel mit der Schüttelbox kontrolliert werden. Große Schwankungen gibt es bei Futtermitteln, die mit einem Häcksler geerntet werden (siehe Tabelle 10).

Es ist daher zu empfehlen, bei Maissilagen und Grassilagen, die mit Feldhäcksler geerntet

werden, die Verteilung der Partikellängen mit der Schüttelbox zu bestimmen (Tabelle 12). Die Menge an peNDF aus dem Grundfutter, dividiert durch die Gesamtfuttermittelaufnahme inklusive Krafftutter, ergibt den Gehalt an peNDF in der Ration.

Der berechnete Gehalt an peNDF_{>8} von 17,7 % in dem Beispiel (Tabelle 11) kann zum Vergleich mit den Zielwerten einer TMR in Tabelle 5 herangezogen werden.

Häufig ist der berechnete Gehalt an peNDF_{>8} tiefer als jener, welcher mit der Schüttelbox ermittelt wird. Grund dafür ist, dass sich beim Schütteln die kleinen von den großen feuchten Partikeln nur schwer trennen lassen. Teile von Krafftutter und Maissilage können in den oberen Sieben hängen bleiben und täuschen so eine höhere Strukturversorgung vor.

Die Krafftutterergänzung hat besonders bei getrennter Vorlage einen großen Einfluss auf die Strukturversorgung

Die Krafftutterergänzung darf sich nicht nur am Nährstoffbedarf, sondern muss sich auch an der Grundfuttermittelaufnahme orientieren. Dabei muss berücksichtigt werden, dass Kühe erst etwa ab dem 50. Laktationstag das Maximum ihrer Futtermittelaufnahme erreichen. Die Futtermittelaufnahmekurve verläuft nicht parallel mit der Milchleistungskurve. Tatsächlich werden bei sehr hohen Leistungen die Versorgungslücken zu Laktationsbeginn größer. Sie können auch nicht durch höhere Krafftuttergaben ab-

Tab. 12: Beispiele von Schüttelboxergebnissen von Maissilagen (LK OÖ 2016)

Probe	Obersieb	Mittelsieb	Boden
1	1,6	55,9	42,4
2	2,2	54,5	43,3
3	0,9	49,8	49,3
4	4,4	43,3	52,2
5	0	45,6	54,3
6	2,7	42,6	54,7
7	0,7	42,7	56,5
8	0,6	41,3	58,1
9	3,2	37,9	58,9
10	1,6	37,9	60,5
11	0	37,3	62,7
12	1,6	33,1	65,3
13	1,9	30,7	67,3
14	0	32,4	67,6
15	1,7	30,5	67,8
16	2,5	28,1	69,4
17	0	25,2	74,8
18	0	17,9	82,1
Mittelwert	1,4	38,2	60,4

Tab. 13: Orientierungswerte für die Kraffuttersteigerung in den ersten Laktationswochen nach der Abkalbung

Woche nach der Abkalbung	Kraffuttergabe (kg je Tag)	
	Kühe in 1. Laktation	Kühe ab der 2. Laktation
1	2-4	3-5
2	4-5,5	5-6,5
3	5,5-7	6,5-8
4	7-8	8-9
5	8-9	9-10
6	9	> 10

gedeckt werden. Um einem Strukturmangel vorzubeugen, muss daher der Kraffutteranteil an die Grundfutteraufnahme angepasst werden. Bei Einzelvorlage ist es nicht sinnvoll, den Kraffutteranteil auf über 40 % der Gesamt trockenmasse-Aufnahme zu erhöhen.

Kraffuttermengen von über 10 kg je Kuh dürfen nur bei optimaler Fütterungstechnik und Grundfutterqualität ab der 6. Laktationswoche gefüttert werden. Eine Menge von 12 bis 14 kg Kraffutter entspricht auch bei sehr hoher Futteraufnahme einem Anteil von rund 50 % und mehr an der Gesamtration und sollte deshalb nicht gegeben werden. Bei Erstlingskühen darf auch bei sehr hohen Leistungen die absolute Kraffuttermenge nicht über 9 kg ansteigen (Tabelle 13).

Berücksichtigt werden muss auch, dass z.B. Futterrüben, Biertreber, Melasse, Trocken-

schnitzel u.a. aufgrund ihrer nicht vorhandenen Strukturwirkung zum Kraffutter gezählt werden müssen. Kraffutter, welches in der Mischration enthalten ist, muss ebenfalls berücksichtigt werden.

Neben der absoluten Menge an Kraffutter sind auch die Zuteilungsfrequenz und die Menge pro Gabe von großer Bedeutung. Die Teilgaben sollten nicht über 2 kg hinausgehen, zwischen den Gaben sollten zumindest 2 oder besser 3 bis 4 Stunden liegen. Darüber hinaus ist die Zusammensetzung des Kraffutters von Bedeutung. Je höher die zugeteilten Kraffuttermengen sind, desto niedriger sollte der Anteil an stärkereichen Komponenten im Kraffutter sein. Nebenprodukte wie Kleien oder Trockenschnitzel bieten sich hier als ideale Komponenten an.

Folgen eines zu geringen bzw. zu hohen Gehaltes an physikalisch effektiver NDF in der Ration

Bei einem zu geringen peNDF-Gehalt in der Gesamtration kommt es zu einem länger andauernden Absinken des pH-Wertes im Pansen in einen kritischen Bereich. Kurzfristig kann zwar die Milchleistung auf hohem Niveau bleiben, der Milchfettgehalt kann jedoch unter 3,6 % sinken. Die Nährstoffe werden ineffizient verwertet und es kann Durchfall auftreten. Es finden sich viele unverdaute Futterbestandteile im Kot. Ein länger andauernder Strukturmangel kann zu gesundheitlichen Problemen führen, wie z.B. Klauenrehe. Auch Fruchtbarkeitsprobleme können auftreten und die Leistung wird abfallen.

Ein deutliches Überschreiten der peNDF kann zu einem Rückgang der Futteraufnahme führen. Damit verbunden sind geringe Milchleistungen und tiefe Milcheiweißgehalte. Zu Laktationsbeginn tritt in der Folge gehäuft Ketose auf.

Tab. 14: Richtwerte zur Struktur- und Kohlenhydratversorgung bei Kühen mit hohen Leistungen (DLG 2012)

Parameter	Einheit	Früh-Trockensteher	Vorbereitungsfütterung	Frisch-Melker	Hochleistung
NDF	g/kg TM	> 400	> 350	> 300	> 280
NDFGrobfutter	g/kg TM	> 350	> 250	> 190	> 175
peNDF ₈	% der TM	-	-	> 18,5	> 18,5
ADF	g/kg TM	> 300	> 220	> 180	> 170
Rohfaser	g/kg TM	> 260	> 180	> 160	> 150
NFC	g/kg TM	< 250	300 - 350	350 - 420 ¹⁾	< 380
Zucker und abb. Stärke	g/kg TM	-	100 - 200	< 230	< 250
beständige Stärke	g/kg TM	-	> 15	< 60	< 60
Strukturwert	SW/kg TM	> 2,0	> 1,4	> 1,2	> 1,1

¹⁾ nur bei hohen Anteilen an beständiger Stärke



Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Viehwirtschaft

Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal, Telefon: +43/(0)3682/22 451-346

E-Mail: office@gruenland-viehwirtschaft.at, www.gruenland-viehwirtschaft.at

ÖAG-Info:
2/2018

Impressum: Für den Inhalt verantwortlich: **Autoren:** Univ.-Doz. Dr. Leonhard Gruber, Institut für Nutztierforschung der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Dipl.-Ing. Franz Tiefenthaller, LK-Oberösterreich, Dipl.-Ing. Karl Wurm, LK-Steiermark; **Fachgruppe:** Fütterung, **Vorsitzender:** Dipl.-Ing. Karl Wurm; **Geschäftsführer:** Dr. Wilhelm Graiss, HBLFA Raumberg-Gumpenstein.

Fotos: Von den Autoren zur Verfügung gestellt.

Zitiervorschlag:

Gruber, L. (2018): Bewertung der Strukturversorgung von Milchviehrationen – im Besonderen bei Totalmischrationen. Erschienen in ÖAG-Info 2/2018 „Die Bedeutung der Gerüstsubstanzen für eine wiederkäuergerechte Fütterung“, ÖAG-Eigenverlag, 1–9.

Tiefenthaller, F. und K. Wurm (2018): Milchviehrationen in der Praxis anhand der Gerüstsubstanzen bewerten. Erschienen in ÖAG-Info 2/2018 „Die Bedeutung der Gerüstsubstanzen für eine wiederkäuergerechte Fütterung“, ÖAG-Eigenverlag, 10–16.