

Strukturbewertung von Rationen für Milchkühe

H. STEINGASS und Q. ZEBELI

Einleitung und Übersicht

Wiederkäuer benötigen zur Aufrechterhaltung ihrer normalen Pansenfunktion neben der Zufuhr adäquater Mengen fermentierbarer Nährstoffe auch eine ausreichende Aufnahme an „strukturiertem“ Futter. Gemeint sind damit Futterkomponenten, die bestimmte physikalische Eigenschaften aufweisen, um damit bestimmte physiologische Bedingungen wie einen ausreichenden Speichelfluss, stabile pH-Werte in den Vormägen und eine Schichtung des Vormageninhaltes auszulösen bzw. aufrecht zu erhalten. Als Strukturfutter werden grundsätzlich Grundfuttermittel bezeichnet, die einen gewissen Fasergehalt aufweisen. Darüber hinaus muss auch die Zusammensetzung der Kohlenhydratfraktionen der Gesamtration, die physikalischen Eigenschaften der Futterpartikel (Länge, Steifheit) sowie die ruminale Abbau- und Wiederkauaktivität, Milchfettgehalt oder der pH-Wert im Pansen. Zur Frage der Strukturbewertung hat es in der Vergangenheit eine Reihe von Entwicklungen und Vorschlägen gegeben. Trotz aller Bemühungen kann festgestellt werden, dass gegenwärtig kein ausgereiftes System zur Bewertung der Struktur vorliegt und die wissenschaftliche Datengrundlage noch beschränkt ist (GfE 2001). Die gegenwärtig in der Praxis angewandten Systeme werden nachfolgend kurz dargestellt und bewertet. Darauf aufbauend werden eigene Untersuchungen vorgestellt, welche die Entwicklung eines einfachen aber physiologisch begründeten Strukturbewertungsmaßstabes zum Ziel haben.

Ein zunehmendes Leistungsniveau von Milchkühen erhöht den Energiebedarf linear, wogegen die Futtermittelaufnahme in geringerem Ausmaß ansteigt. Um eine bedarfsgerechte Versorgung sicherzustellen, ist daher mit steigender Leistung eine Erhöhung der Energiekonzentration durch Anhebung des Kraftfutteranteils in der Ration erforderlich. Erst unter diesen Bedingungen erhebt sich die Frage nach einer Mindestversorgung mit strukturiertem Futter für die Gesunderhaltung des Pansens und des Tieres. Das Problem einer „Bedarfsableitung“ besteht einerseits darin, die physiologischen Reaktionen

des Tieres, die einen Strukturmangel charakterisieren, zu definieren und andererseits die Eigenschaften des Futters in ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften zu quantifizieren. Zu letzterem werden häufig der Gehalt an Rohfaser oder Detergenzienfaser herangezogen bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Partikellänge des Futters. Als physiologische Kennzahlen dienen Kau- und Wiederkauaktivität, Milchfettgehalt oder der pH-Wert im Pansen.

Zur Frage der Strukturbewertung hat es in der Vergangenheit eine Reihe von Entwicklungen und Vorschlägen gegeben. Trotz aller Bemühungen kann festgestellt werden, dass gegenwärtig kein ausgereiftes System zur Bewertung der Struktur vorliegt und die wissenschaftliche Datengrundlage noch beschränkt ist (GfE 2001). Die gegenwärtig in der Praxis angewandten Systeme werden nachfolgend kurz dargestellt und bewertet. Darauf aufbauend werden eigene Untersuchungen vorgestellt, welche die Entwicklung eines einfachen aber physiologisch begründeten Strukturbewertungsmaßstabes zum Ziel haben.

Strukturwirksame Rohfaser

Von PIATKOWSKI (bei Rindern) und HOFFMANN (bei Schafen) wurden seit den 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts Untersuchungen zum Verzehr- und Wiederkauverhalten, zur Wiederkauaktivität und Speichelbildung sowie zur Pansenfermentation durchgeführt. Diese Messungen können zur Einschätzung der Strukturwirksamkeit verschiedener Futtermittel verwendet werden und haben zur Formulierung des Begriffes „strukturwirksame Rohfaser“ (SF) geführt (HOFFMANN 1990, PIATKOWSKI et al. 1990). Als strukturwirksam gilt ein trockenes und in Wasser weitgehend beständiges Futterpartikel von mindestens 5 mm (Schaf) bzw. 8 mm Länge (Rind). Als Bezugseinheit dient der Gehalt an Rohfaser (XF). Die

Ableitung der Strukturwirksamkeit der XF basiert auf Kauzeitmessungen. Je nach Futtermitteltyp, Vegetationsstadium und Zerkleinerungsgrad kommen unterschiedliche Strukturparameter zur Anwendung, mit denen die XF-Gehalte der Futtermittel multipliziert werden. Als Referenzwert wurde für ein Heu mittlerer Qualität ein Multiplikator von 1 festgelegt. Dieser Faktor schwankt zwischen 0 für Kraftfutterstoffe und 1,5 für Langstroh. Abstufungen des Strukturparameters sind mit 0,25 relativ grob und werden z.B. für geringere XF-Gehalte oder für kürzere Partikellängen bei Stroh und Trockengrünfutter vorgenommen (GfE 2001). Der „Bedarf“ an SF wird auf die Lebendmasse bezogen und mit 400 g SF pro 100 kg Lebendmasse angegeben. Dies hat zur Folge, dass der notwendige Gehalt an SF mit steigender Trockenmasse-(TM)-Aufnahme zurückgeht, ein Ergebnis, das physiologisch schwer nachvollziehbar ist, wie nachfolgend noch dargestellt werden wird.

Zu bemängeln am System der SF ist darüber hinaus, dass keine verbindlichen Werte für die verschiedenen Futtermittel festgelegt zu sein scheinen, so dass es schwer fällt, einheitliche Zahlen anzugeben. So wird bei GfE (2001) für lange Grassilage mit 280 g XF/kg TM ein Faktor von 1 und bei 240 g XF/kg TM ein solcher von 0,75 genannt, während DLG (2001) für eine Grassilage mit 250 g XF/kg TM einen Faktor von 0,9 definiert. Entsprechende Unterschiede gibt es für Frischgras. Bei Kraftfuttermitteln, denen nach GfE (2001) generell keine Strukturwirkung unterstellt wird, attestiert DLG (2001) für Biertreber einen Strukturfaktor von 0,4. ULBRICH et al. (2004) schließlich geben für Biertreber, Pressschnitzel und Lieschkolbensilage einen Faktor von 0,25 an. In letzterer Monografie wird auch eine Mindestpartikelgrößenverteilung der Gesamtration empfohlen. Diese zusätzliche Angabe ist allerdings in diesem Zusammenhang

Autoren: Dr. Herbert STEINGASS und Dr. Qendrim ZEBELI, Universität Hohenheim, Institut für Tierernährung (450), D-70593 STUTTGART, email: steingas@uni-hohenheim.de



wenig hilfreich, da nicht definiert wird, wie diese bestimmt wird und im Übrigen nicht mit dem System der SF kompatibel ist. Schließlich werden dort für Milchkühe Mindest-, Optimal- und Höchstgehalte an SF pro 100 kg LM mit > 300 g, 400 g und < 550 g genannt. Aufgrund dieser Unschärfen in der Definition wird auf eine tabellarische Zusammenfassung der Berechnungsgrundlage verzichtet. Eine Validierung an Versuchen aus der internationalen Literatur ist zudem praktisch nicht möglich, da das System auf der Rohfaser beruht.

Strukturwert

DE BRABANDER et al. (1999, 2002) haben das System „Strukturwert“ (SW) anhand umfangreicher Versuche mit Milchkühen entwickelt. Die Ableitung der Kennzahlen für den SW erfolgte durch Ermittlung eines „kritischen Grundfutteranteils“, ab dem bei Zulage von Kraftfutter zu verschiedenen Grundfuttermitteln Anzeichen von Strukturmangel wie Milchfettabfall, Rückgang der Milchmenge oder der Futteraufnahme festgestellt wurden. Diese Daten wurden kombiniert mit Messungen zur Fress- und Wiederkaudauer. Der SW für Grundfuttermittel wird über die Gehalte an XF oder Neutraler Detergenzfaser (NDF) mit Hilfe unterschiedlicher

Formeln berechnet (Tabelle 1). Dabei wird bei Maissilage zusätzlich eine Korrektur abhängig von der Häcksellänge durchgeführt. In diesem System wird neben den Grundfuttermitteln auch den Kraftfuttermitteln ein SW zugeordnet. Dieser wird berechnet aus dem XF- oder NDF-Gehalt, den Gehalten an Stärke und Zucker sowie den aus den mittels *in situ*-Methode ermittelten Anteilen an beständiger Stärke. Der Strukturwert wird als dimensionslose Zahl angegeben. Er wird für Einzelfuttermittel berechnet und anteilig additiv auf die Gesamtration übertragen.

Für die Mindestversorgung mit Struktur ist ein SW der Gesamtration von 1 notwendig. Dies gilt für eine Kuh der 1. - 3. Laktation mit 25 kg Milchleistung, einem Milchfettgehalt von 4,4 % und 2-maliger Kraftfuttermittelvorgabe. Zusätzlich sind noch folgende Korrekturen vorgesehen:

- $\pm 0,01/\text{kg}$ Milch über/unter 25 kg
- $\pm 0,005/\text{g}$ Milchfett unter/über 44 g/kg
- -0,1 bei Verteilung der Kraftfuttermitteln (6 pro Tag bzw. TMR)
- -0,07 für Kühe in der 4. Laktation
- -0,15 für Kühe in der 5. Laktation

Aus diesen Angaben ergeben sich die in Tabelle 2 dargestellten Richtzahlen.

Tabelle 1: Berechnung des Strukturwertes

Futtermittel	Berechnung
Grassilage (HL > 20 mm)	SW = $0,0125 \times \text{XF} - 0,2$ SW = $0,006 \times \text{NDF} + 0,15$
Maissilage	SW = $(0,009 \times \text{XF} - 0,1) \times (1 + ((\text{HL} - 6) \times 0,02))$ SW = $(0,006 \times \text{NDF} - 0,57) \times (1 + ((\text{HL} - 6) \times 0,02))$
Heu	SW = $(0,0125 \times \text{XF} - 0,2) \times 1,06$ SW = $0,006 \times \text{NDF} + 0,15$
Stroh	SW = 4,3
Kraftfutter	SW = $0,321 + 0,00098 \times \text{XF} + 0,00025 \times \text{bXS} - 0,00112 \times (\text{XZ} + \text{a} \times (\text{XS} - \text{bXS}))$ SW = $0,175 \times 0,00082 \times \text{NDF} + 0,00047 \times \text{bXS} - 0,001 \times (\text{XZ} + \text{a} \times (\text{XS} - \text{bXS}))$ a = $0,9 - 1,3 \times \text{b}$

XF, NDF, XS, XZ = Rohfaser, Neutrale Detergenzfaser, Stärke, Zucker (g/kg TM)
HL = theoretische Häcksellänge (mm)
b = Beständigkeitskoeffizient

Tabelle 2: Notwendiger Strukturwert der Ration für Milchkühe in der 1. bis 3. Laktation

Milchfett (%)	Milch (kg/Tag)			
	15	25	35	45
3,6	0,94	1,04	1,14	1,24
4,0	0,92	1,02	1,12	1,22
4,4	0,90	1,00	1,10	1,20
4,8	0,88	0,98	1,08	1,18

Ein genereller Vorteil des SW ist, dass er auch an die NDF angebunden ist. Das Strukturlieferungsvermögen der wichtigsten Grundfuttermittel kann detailliert berechnet werden. Zusätzlich werden beim SW erstmals auch die Kraftfuttermitteln mit einbezogen, wobei großer Wert auf den Stärkegehalt und das Ausmaß des Stärkeabbaus gelegt wird.

Problematisch erscheint dagegen die Bewertung bei Kraftfuttermitteln, die wenig Stärke und Zucker und relativ viel Faser enthalten, wie beispielsweise Trocken- oder Pressschnitzel, Biertreber, Sojaschalen und Schlempen. Für diese Futtermittel werden Strukturwerte errechnet, die zum Teil deutlich über den empfohlenen Richtlinien für die Gesamtration liegen, obwohl jedem bewusst sein wird, dass hiermit der Strukturbedarf nicht zu decken ist. Um dieser missbräuchlichen Interpretation vorzubeugen, muss in dem System auch der sog. „kritische Raufutteranteil“ berücksichtigt werden. Dieser errechnet sich aus dem SW des Grundfutters und des Konzentrates in Relation zum gesamten Strukturbedarf der Ration.

Da das Konzentrat mit in die Berechnung eingeht, ergibt sich allerdings bei Einsatz von Mischfutter das Problem dessen Bewertung, wenn die Gemengteile nicht quantitativ bekannt sind.

Die Empfehlungen zur Versorgung mit SW sind abhängig von der Höhe der Milchleistung und dem Milchfettgehalt. Während die höheren Ansprüche an Struktur mit steigender Leistung logisch und nachvollziehbar erscheinen, da mit höherer Futteraufnahme auch mehr fermentierbare Substanz aufgenommen aber nicht in gleichem Umfang mehr wiedergekaut wird, ist die Absenkung des Strukturbedarfs mit höherem Milchfettgehalt unplausibel. Auch die Tatsache, dass Altkühen ab der 4. Laktation ein geringerer Strukturbedarf zugeschrieben wird, ist nicht zu interpretieren und daher abzulehnen.

MEYER et al. (2001) haben gezeigt, dass es bei Milchkühen zu Anzeichen von Strukturmangel wie Futtermittelverweigerung kam, obwohl der SW rechnerisch bei weitem noch ausreichend war.

Alle diese Einwände zeigen, dass der SW in seiner ursprünglichen Form nicht befriedigt und den Strukturbedarf generell

unterschätzt. Daher ist vor Anwendung in der Praxis dringend eine Korrektur notwendig. Ist dies nicht möglich, ist das System zu verwerfen.

Physikalisch effektive NDF

Die NDF ist in der internationalen Literatur eine gebräuchliche Kenngröße und dient auch als Basis für die Beurteilung der Futterstruktur. Wie bei der Rohfaser ist der Gehalt an NDF allein dafür nicht ausreichend. Mit der „physikalisch effektiven NDF“ (peNDF) stellte MERTENS (1997, 2000) ein System vor, bei dem der chemisch analysierte Gehalt an NDF mit der Herkunft (Futtermittel) und der physikalischen Eigenschaft der Faser (primär der Partikellänge) des Futtermittels verknüpft werden. Sowohl für die Grundfuttermittel wie auch für Kraftfuttermittelkomponenten wird, vergleichbar mit der SF nach HOFFMANN, ein Effektivitätsfaktor verwendet, der in erster Linie die Partikellänge berücksichtigt und aus Untersuchungen zur Kauaktivität unter Berücksichtigung des Milchfettgehaltes und des Pansen-pH-Wertes abgeleitet wurde. Lang geschnittene Grassilage erhält einen höheren Faktor als kurz geschnittene. Ähnlich werden auch Heu und Maissilage abgestuft. Auch Kraftfutter erhält verschiedene peNDF-Werte, abhängig von der Aufbereitung. Diese Faktoren werden mit den NDF-Gehalten der Futtermittel multipliziert. Der Gehalt an peNDF der Ration sollte nach MERTENS (1997) bei mindestens 20 % in der TM liegen, um bei frühlaktierenden Holsteinkühen einen Milchfettgehalt von 3,4 % aufrecht zu halten.

Ein grundsätzlicher Vorteil dieses Systems ist sein Bezug auf die NDF und die Berücksichtigung der Partikellänge des Futters, die in den zuvor dargestellten Ansätzen nur rudimentär Eingang findet. Andererseits ist die starke Betonung der Partikelgröße auch problematisch (BEAUCHEMIN et al. 2003) und ein Nachteil des peNDF-Konzeptes ist, dass Ausmaß und Geschwindigkeit der ruminalen Fermentierbarkeit der Futtermittel nicht berücksichtigt wird. Es ist daher umstritten, ob der Bewertungsmaßstab peNDF einen Fortschritt bedeutet (DLG 2001, NRC 2001).

Für eine einfache Ermittlung der peNDF schlägt MERTENS (1997) vor, die Sieb-

fraktion > 1,18mm zu bestimmen und mit dem NDF-Gehalt der Ration zu verrechnen. Diese Siebweite bezieht sich auf die sogenannte „kritische Partikelgröße“ (POPPI et al. 1980), bei der beim Rind Partikel mit hoher Wahrscheinlichkeit im Reticulorumen retiniert werden. Die Messung kann auf einfache Weise mit Hilfe des Penn State Particle Separator (PSPS; KONONOFF et al. 2003) geschehen, im Deutschen umgangssprachlich als „Schüttelbox“ bezeichnet. Mit diesem Instrument ist es leicht und vor Ort möglich, die Partikelgrößenverteilung von TMR und Grobfutter zu bestimmen. KONONOFF et al. (2003) empfehlen die Anwendung eines Gerätes mit drei Siebböden (19 mm, 8 mm Rundloch und 1,18 mm Quadratloch) und definieren die Anwendung bezüglich Hublänge (17 cm), Frequenz ($\geq 1,1$ Hz) und Zahl der Bewegungen (40; 2×5 in jede Richtung), um eine bessere Standardisierung der Ergebnisse zu erzielen. Unter Einhaltung dieser Empfehlungen liefert die zunächst etwas dilettantisch erscheinende Methode erstaunlich gut reproduzierbare Ergebnisse. Dies konnte anhand eigener Tests mit unerfahrenen Personen demonstriert werden.

Eigene Untersuchungen

Die Bewertung der Strukturwirksamkeit einer Ration und die Ableitung des Strukturbedarfs werden in den oben vorgestellten Systemen auf der Basis des Fasergehaltes (XF oder NDF) vorgenommen, der notwendig ist, um einen bestimmten Fettgehalt in der Milch aufrechtzuerhalten bzw. Kauaktivität auslösen zu können. Daraufhin wird davon ausgegangen, dass bei Erfüllung dieser Kriterien physiologische Bedingungen im Pansen bestehen. Mehrere neue Studien betonen aber die Tatsache, dass weder die Kauaktivität noch der Milchfettgehalt genügend empfindliche Parameter für die Pansenbedingungen sind (ALLEN 1997, MERTENS 2000). Nach SCHWARZ (2000) sind bei Rationen für Hochleistungskühe sensiblere Parameter notwendig, um die Kaskade der Ereignisse von der Pansenschichtung über Kau- und Wiederkauprozesse, pH-Wert im Pansen, Mikrowachstum, Passage und Futteraufnahme bis hin zum Milchfettgehalt abzubilden. Eigen-

schaften, wie Partikelgröße, Futtermenge und die Abbauraten der Ration, welche das Ökosystem im Pansen stärker beeinflussen können, werden in diesen Systemen nicht oder nicht ausreichend berücksichtigt.

Anhand einer umfangreichen Literaturauswertung und eigenen Versuchen mit Milchkühen wurde herausgearbeitet, dass der pH-Wert im Pansen das sicherste Merkmal zur Charakterisierung der Strukturversorgung darstellt (ZEBELI et al. 2008). Zur Aufrechterhaltung eines normalen pH-Wertes tragen neben einer ausreichenden Kauaktivität insbesondere auch die Schichtungseigenschaften des Panseninhaltes, die Peristaltik und die Ausgestaltung der Pansenzotten bei. Eine ausreichende Strukturversorgung ist dann gegeben, wenn das Auftreten einer chronischen (subakuten) Pansenacidose (SARA) mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. Als Problem erweist sich jedoch, dass der pH-Wert nicht konstant ist, sondern im Laufe des Tages erheblichen Schwankungen unterliegt. Darüber hinaus sind die Angaben für den unteren Schwellenwert, der eine SARA definiert, keinesfalls einheitlich und schwanken zwischen 5,6 (KEUNEN et al. 2002) und 6,0 (KREBIEHL et al. 1995). Auch scheint die tägliche Dauer eines suboptimalen pH-Wertes von größerer Bedeutung bezüglich des Auftretens einer SARA zu sein als der mittlere Tages-pH-Wert.

Zunächst wurde anhand von 80 Studien mit insgesamt 326 Versuchen mit Hilfe einer Risikoanalyse mit dem Monte Carlo Simulationsverfahren ein physiologisch normaler pH-Wert im 24-stündigen Verlauf definiert, um einen Grenzwert zwischen normalen Bedingungen und Bedingungen einer SARA herauszuarbeiten (ZEBELI et al. 2008; *Tabelle 3*). Als nächstes wurde die Diskriminierung des Normalzustandes von Bedingungen der SARA anhand der Dauer, bei der der pH-Wert unter 5,8 liegt, vorgenommen (*Tabelle 3*).

Die Normalbedingungen können eindeutig von den Acidosezuständen abgegrenzt werden. Zur Aufrechterhaltung normaler Bedingungen darf der mittlere pH-Wert nicht unter 6,14 - 6,16 liegen. Zugleich darf die Dauer eines pH-Wertes unter 5,8 5,24 - 5,47 Stunden am Tag nicht

Tabelle 3: Abgrenzung normaler pH-Werte im Pansen von SARA (99 % Vertrauensintervalle)

	Tagesmittelwert		Dauer des pH < 5,8 (h/d)	
	untere Grenze	obere Grenze	untere Grenze	obere Grenze
normale Fermentation	6,16	6,49	1,62	5,24
SARA	5,82	6,14	5,47	15,54

Tabelle 4: Zusammenhang zwischen Rationsfaktoren und dem mittleren pH-Wert im Pansen

Rationsfaktor (x)	Intercept	Steigung	R ²
NDF (% der TM)	5,45	0,019	0,37
NDF aus Grundfutter (% der TM)	5,61	0,02	0,41
NFC (% der TM)	6,35	-0,008	0,12
abbaubare Stärke aus KF (% der TM)	6,37	-0,02	0,34
peNDF/abbaubare Stärke aus KF	5,53	0,449	0,41

überschreiten.

Mittels einer Meta-Analyse erfolgte die Bewertung der Strukturwirksamkeit anhand des ruminalen pH-Wertes von über 230 Gesamtmischrationen (TMR) für Milchkühe aus der neueren Literatur. Dabei sollten Faktoren identifiziert werden, welche die Strukturwirksamkeit der TMR am besten charakterisieren, um dadurch ein praktisches Bewertungssystem zu erarbeiten. Es wurden dafür Futterfaktoren geprüft, die physiologisch wichtig sind und sich relativ einfach erfassen lassen. Dazu gehören der Gehalt an NDF, der NDF-Anteil aus dem Grundfutter, Nicht-Faser-Kohlenhydrate, physikalisch effektive NDF_{>1,18mm} (d.h. NDF-Gehalt der Ration × Masseanteil der Siebfraktion > 1,18mm) und die Menge an *in situ* abbaubarer Stärke (Tabelle 4).

Anhand dieser Analyse hat sich als bester Parameter der Gehalt an peNDF_{>1,18mm} herausgestellt. Auch die *in situ* abbaubare Stärke erwies sich als bedeutender (negativer) Einflußfaktor, ebenso wie die TM-Aufnahme.

Diese Zusammenhänge wurden weiter mit Hilfe des Monte-Carlo Simulationsverfahrens herausgearbeitet und in Hinsicht auf die Etablierung eines praktischen Systems zur Beurteilung der Strukturversorgung bei Hochleistungsmilchkühen angewendet.

Die Beziehung zwischen dem mittleren Tages-pH und dem Gehalt an peNDF_{>1,18mm} ist in *Abbildung 1* dargestellt.

Eine Erhöhung des peNDF_{>1,18mm} Gehaltes resultiert in einem linearen Anstieg des pH Wertes bis 31,2 % peNDF_{>1,18mm}.

Darüber hinaus schließt sich eine Plateauphase bei einem mittleren pH-Wert von 6,27 an. Dieser mit Hilfe der Simulation ausgearbeitete Knickpunkt ist etwas höher als der in *Tabelle 3* dargestellte minimale pH-Wert, der zur Verhinderung von SARA nicht unterschritten werden sollten (6,15).

Mit dem mittleren Tages-pH-Wert von 6,27 korrespondiert ein peNDF_{>1,18mm}-Gehalt von mindestens 31,2 ± 1,6 % in der TM. Dies gilt als allgemeiner Bedarf für eine TM-Aufnahme von 20 kg und einem Gehalt an 14 % abbaubarer Stärke in der TM der Ration. Für Kühe in der Früh-laktation sollte die Obergrenze des Bedarfs (31,2 + 1,6 = 32,8 %) angesetzt werden, da diese Tiere eine schlechtere Entwicklung der Pansenzotten haben, was auch eine etwas längere Anpassung bedingt. Für eine vollständigere Bewertung sollte aber auch die Höhe

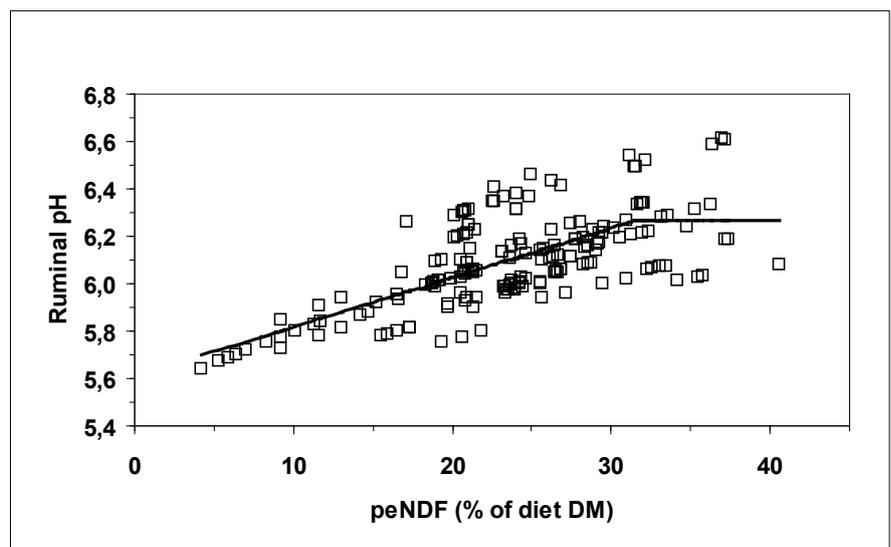
der TM-Aufnahme und der Gehalt an abbaubarer Stärke in der TM der Ration berücksichtigt werden. Um den Einfluss der letzteren Faktoren zu demonstrieren, sind in *Abbildung 2* die kumulativen Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von SARA dargestellt. Dabei beträgt der Gehalt an peNDF_{>1,18mm} 31,2 % in der TM der Ration.

Eine geringere Wahrscheinlichkeit bedeutet ein kleineres Risiko für SARA und umgekehrt. Unterstellt man, dass ein pH-Wert von 5,8 für höchstens 5,24 h/d unterschritten sein darf (*Tabelle 3*), wird deutlich, dass bei 14 % abbaubarer Stärke kein Risiko für SARA besteht, unabhängig von der Höhe der Futteraufnahme. Das Risiko steigt jedoch an, wenn die Ration 22 % abbaubare Stärke enthält, und wird beträchtlich in Kombination mit hoher Futteraufnahme. In diesem Fall reicht also ein Gehalt von 31,2 % peNDF_{>1,18mm} nicht mehr aus. Mit anderen Worten, wenn mehr fermentierbare Substanz aufgenommen wird, entweder durch die abbaubare Stärke oder die Aufnahme *per se*, erhöht sich der notwendige Bedarf an Struktur (peNDF_{>1,18mm}) für die Aufrechterhaltung physiologischer Zustände.

Dieser Zusammenhang kann mit der folgenden Regressionsgleichung quantitativ beschrieben werden:

$$\text{pH} = 6,05 + 0,044 \times \text{peNDF} - 0,0006 \times \text{peNDF}^2 - 0,017 \times \text{abbaub. Stärke} - 0,016 \times \text{TM-Aufnahme}$$

(R² = 0,66; RMSE = 0,11)
 NDF und Stärke in % der TM
 TM-Aufnahme in kg/d

**Abbildung 1: Zusammenhang zwischen mittlerem Tages-pH und pe NDF_{>1,18mm} der Ration**

Bei Variation der Faktoren abbaubare Stärke und Futteraufnahme ergeben sich für die notwendigen Gehalte an peNDF folgende Orientierungswerte (Tabelle 5):

Das optimale Niveau an peNDF_{>1,18mm} liegt zwischen 28 und 36 % in der TM der Ration. Im Vergleich mit Empfehlungen aus der Literatur ist dieses Niveau relativ hoch und stellt gleichsam eine optimale Versorgung mit Struktur sicher, bei der nur mit einem minimalen Risiko für das Auftreten einer SARA gerechnet werden muss. Der Vorschlag von MERTENS (1997), mit etwa 20 % peNDF wesentlich niedrigere Werte anzunehmen, begründet sich auf einem relativ niedrigen Milchfettgehalt von 3,4 % bzw. einen mittleren pH-Wert von 6,0, also einem Niveau, bei dem acidotische Zustände keineswegs ausgeschlossen werden können.

Bei Empfehlung eines relativ hohen NDF-Gehaltes erhebt sich andererseits die Frage, ob dies nicht bereits negative Auswirkungen auf die Futteraufnahme hat. Der Zusammenhang zwischen TM-Aufnahme und dem Gehalt an

peNDF_{>1,18mm} ist in *Abbildung 3* dargestellt.

Es sind drei Phasen unterschieden: bis 21,6 ± 2,9 % peNDF_{>1,18mm} steigt die Futteraufnahme zunächst leicht an, bis 31,9 ± 2,0% peNDF_{>1,18mm} ist ein leichter Abfall zu erkennen, erst darüber hinaus ist mit einem starken Einbruch der TM-Aufnahme zu rechnen. Für die Empfehlung der Versorgung mit peNDF > 1,18 mm heißt das, dass die Vorschläge in *Tabelle 5* nicht unterschritten, aber auch nicht wesentlich überschritten werden sollten. Für die Umsetzung in der Fütterungspraxis bedeutet dies, dass der Grundfutterqualität vermehrt Bedeutung zukommt (ZEBELI et al. 2006). Nur mit Grundfutter bester Qualität ist es möglich, gleichzeitig genügend Struktur und Energie bereitzustellen, um bei begrenztem Kraftfuttereinsatz das Futteraufnahme- und Versorgungsniveau zu halten.

Der Vorteil des Parameters peNDF_{>1,18mm} beruht einmal auf seiner einfachen und reproduzierbaren Bestimmbarkeit mit Hilfe des Penn-State-Particle-Separators

(Schüttelbox) in Verbindung mit dem NDF-Gehalt der Ration, der für die Ansprache einer Ration ohnehin erforderlich ist. Zum anderen durch Einbeziehung auch der kleinen Partikel (> 1,18 bis 8 mm) in die Strukturbewertung. Unsere Untersuchungen haben nämlich gezeigt, dass neben den groben Partikeln (> 8 bzw. 18 mm) gerade der Fraktion der kleinen Partikel eine enorme Bedeutung für die Fermentationsbedingungen und die Pansengesundheit zukommt. Dies hängt weniger mit der Fähigkeit zur Stimulation der Kauaktivität bzw. Speichelproduktion durch diese Fraktion zusammen, die nur schwach ausgeprägt ist. Vielmehr ist es die Stabilisierung der gesamten Milieubedingungen, wie die Förderung der Ausbildung der Faserschicht, der partikelassoziierten Bakterien und Protozoen sowie der Resorptionsverhältnisse am Pansenepithel, das für die Einbeziehung der kleinen Partikel spricht. Die pH-Stabilisierung durch den Speichelpuffer tritt in ihrer Bedeutung bei Hochleistungskühen ohnehin zurück. Nach SHAVER (2002) werden bei einer Aufnahme von 12 kg fermentierbarer Substanz weniger als die Hälfte der Fermentationssäuren über den Speichelpuffer neutralisiert und die Absorptionsbedingungen treten in den Vordergrund. Dies ist wohl auch als Grund dafür anzunehmen, dass das System der „strukturwirksamen Rohfaser“ nach HOFFMANN (1990), das an Kaufmessungen bei trockenstehenden Kühen abgeleitet worden ist, bei Rationen für Hochleistungskühe in seiner Anwendung problematisch ist.

Weitere Überlegungen zur Verbesserung des Bewertungssystems auf der Basis der peNDF_{>1,18mm} sind die Berücksichtigung der Gehalte an Gesamtzucker und löslicher Zellwandbestandteile der Ration, sofern dazu eine genügend große Anzahl von Untersuchungen vorliegen. Auch erscheint eine Anpassung des Modells an Rationen mit separater Kraftfuttermöglichkeit möglich, obwohl es dafür kaum Untersuchungen mit Hochleistungskühen gibt und wir dafür in Zukunft in der Praxis auch keine große Bedeutung mehr sehen.

Alternativ kann der vorliegende Datensatz auch dazu genutzt werden, das System nach DE BRABANDER et al.

Tabelle 5: Notwendige Gehalte an peNDF_{>1,18mm} in Abhängigkeit von TM-Aufnahme und Gehalt an abbaubarer Stärke der Ration (für pH ≥ 6,27)

abbaubare Stärke (% i. TM)	TM-Aufnahme (kg)				
	18	20	22	24	26
10	28,5	29,2	29,9	30,7	31,4
14	30,0	30,8	31,5	32,2	32,9
18	31,6	32,3	33,0	33,8	34,5
22	33,1	33,8	34,6	35,3	36,0

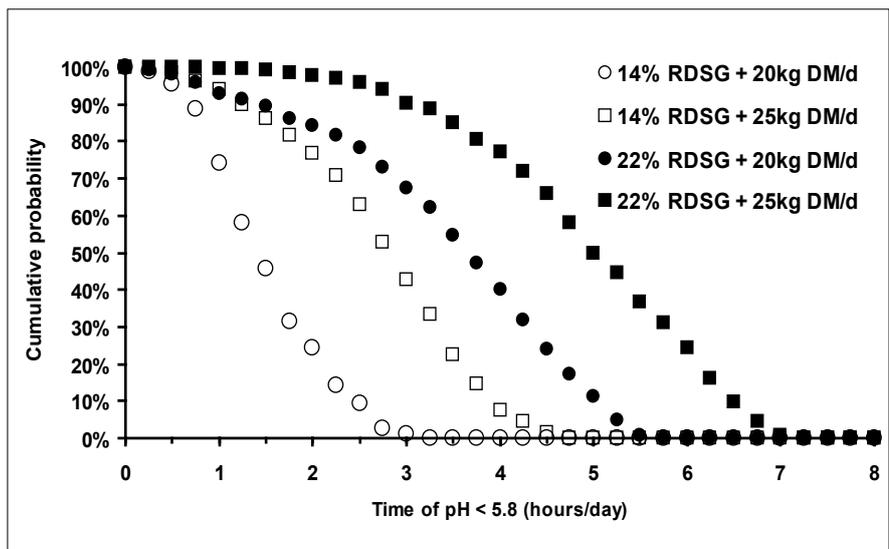


Abbildung 2: Kumulative Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von SARA bei Variation von TM-Aufnahme (20 vs. 25 kg) und Gehalt an abbaubarer Stärke (14 vs. 22 %) der Ration

(1999) zu validieren und ggf. anhand des festgelegten pH-Schwellenwertes zu korrigieren. Dies wird von uns momentan durchgeführt. Nähere Informationen können in der Präsentation im Rahmen der Fachtagung vorgestellt werden. In einem ersten Überblick kann aber bereits gesagt werden, dass das System „Strukturwert“ im Vergleich zu dem Kriterium $peNDF_{>1,18mm}$ wesentlich unschärfer reagiert und somit keinerlei Vorteil hat. Darüber hinaus wird auch deutlich, dass der Bedarf an SW bei Kalibration am kritischen pH-Wert deutlich nach oben korrigiert werden müsste.

Eine Validierung des Systems nach HOFFMANN (1990) anhand der vorliegenden Datenbasis ist dagegen nicht möglich, da es auf der Rohfaser basiert, zu der nur wenige Angaben vorliegen. Darüber hinaus besteht wohl die einhellige Meinung darüber, in Zukunft die NDF als Maßstab für die Faser zu verwenden.

Schlussfolgerungen

Die Versorgung des Wiederkäuers mit ausreichenden Mengen an strukturiertem Futter ist bei Hochleistungskühen das erstrangige Kriterium in der Rationsplanung. So sollte weder ein Strukturmangel vorhanden sein, der die Gesundheit des Pansens und des Tieres gefährdet, noch ein Überschuss, der sich negativ auf Futteraufnahme und Leistung auswirkt. Gemessen an der Bedeutung der Struk-

turfaser in der Wiederkäuerfütterung ist die Tauglichkeit der in der Praxis gebräuchlichen Bewertungsmaßstäbe allerdings enttäuschend. Weder die „strukturwirksame Rohfaser“ noch der „Strukturwert“ sind ausreichend genaue Maßstäbe. Das System auf der Basis der „physikalisch effektiven NDF“ stellt einen Vorschlag dar, der an umfangreichen Daten aus der internationalen Literatur abgeleitet wurde. Es ist in der Praxis leicht zu handhaben, schnell durchzuführen und erlaubt eine sichere Beurteilung. Die Bedarfsableitung über den pH-Wert des Pansens mittels Risikoanalyse ergibt einen mittleren Bedarf an $peNDF_{>1,18mm}$ von $31,2 \pm 1,6\%$ in der TM der Ration. Dieser Zielwert ist noch abhängig vom Gehalt an abbaubarer Stärke und der Höhe der TM-Aufnahme. Bei Kühen am Anfang der Laktation sollte sich darüber hinaus aufgrund der geringeren Anpassung der Pansenzotten der Bedarfswert an der oberen Grenze orientieren. Eine umfangreiche Überprüfung des Systems in der Praxis muss noch erfolgen, wozu die vorliegenden Ausführungen ermutigen sollen.

Literatur

- ALLEN, M.S., 1997: Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. *J. Dairy Sci.* 80, 1447-1462.
- BEAUCHEMIN, K.A., W.Z. YOUNG and L.M. RODE, 2003: Effects of particle size of alfalfa-based dairy cow diets on chewing activity, ruminal fermentation and milk production. *J. Dairy Sci.* 86, 630-643.

- DE BRABANDER, D.L., J.L. DE BOEVER, J.M. VANACKER, C.V. BOUCQUE and S.M. BOTTERMANN, 1999: Evaluation of physical structure in dairy cattle nutrition. In: *Recent advances in Animal Nutrition* (Eds. P.C. Garnsworthy and J. Wiseman), Nottingham University Press, 111-145.
- DE BRABANDER, D.L., J.M. VANACKER, J.L. DE BOEVER and N.E. GEERTS, 2002: Evaluation and effects of physical structure in dairy cattle nutrition. *Proc. 22th World Buiatrics Congress, Hannover*, 182-197.
- DLG (Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft), 2001: Struktur- und Kohlenhydratversorgung der Milchkuh. *DLG-Informationen 2/2001*.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuss für Bedarfsnormen), 2001: Versorgung mit „strukturiertem“ Grundfutter. In: *Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkuh und Aufzuchttrinder*. DLG-Verlag, 57-69.
- HOFFMANN, M., 1990: *Tierfütterung*. 2. Auflage, Dt. Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- KEUNEN, J.E., J.C. PLAIZIER, L. KYRIAZAKIS, T.F. DUFFIELD, T.M. WIDOWSKI, M.I. LINDINGER and B.W. McBRIDE, 2002: Effects of a subacute ruminal acidosis model on the diet selection of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85, 3304-3313.
- KONONOFF, P.J., A.J. HEINRICHS and D.R. BUCKMASTER, 2003: Modification of the Penn State Forage and Total Mixed Ration Particle Separator and the effects of moisture content on its measurements. *J. Dairy Sci.* 86, 1858-1863.
- KREBIEHL, C.R., R.A. STOCK, D.H. SHAIN, C.J. RICHARDS, G.A. HAM, R.A. McCOY, T.J. KLOPFENSTEIN, R.A. BRITTON and R.P. HUFFMAN, 1995: Effect of level and type of fat on subacute acidosis in cattle fed dry-rolled corn finishing diets. *J. Anim. Sci.* 73, 2438-2446.
- MERTENS, D.R., 1997: Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80, 1463-1481.
- MERTENS, D.R., 2000: Physically effective NDF and its use in dairy rations explored. *Feedstuffs*, April 10, 2000.
- MEYER, U., D. GÄDEKEN, M. SPOLDERS und G. FLACHOWSKY, 2001: Strukturbewertungssysteme in der Milchviehfütterung. *Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung*, Verband der Landwirtschaftskammern (VLK), Bonn, 31-36.
- NRC (National Research Council), 2001: *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th Rev. Ed., National Academy Press (Washington DC).
- PIATKOWSKI, B., H. GÜRTLER und J. VOIGT, 1990: *Wiederkäuer-Ernährung*. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- POPPI, D.P., B.W. NORTON, D.J. MINSON and R.E. HENDRICKSEN, 1980: The validity of the critical size theory for particles leaving the rumen. *J. Agric. Sci.* 94, 275-280.
- SCHWARZ, F.J., 2000: Fütterung hochleistender Milchkuh (Energie- und Proteinversorgung, Wiederkäuergerechtigkeit). 27. *Viehwirtschaftliche Fachtagung*, 6.-8. Juni 2000, BAL

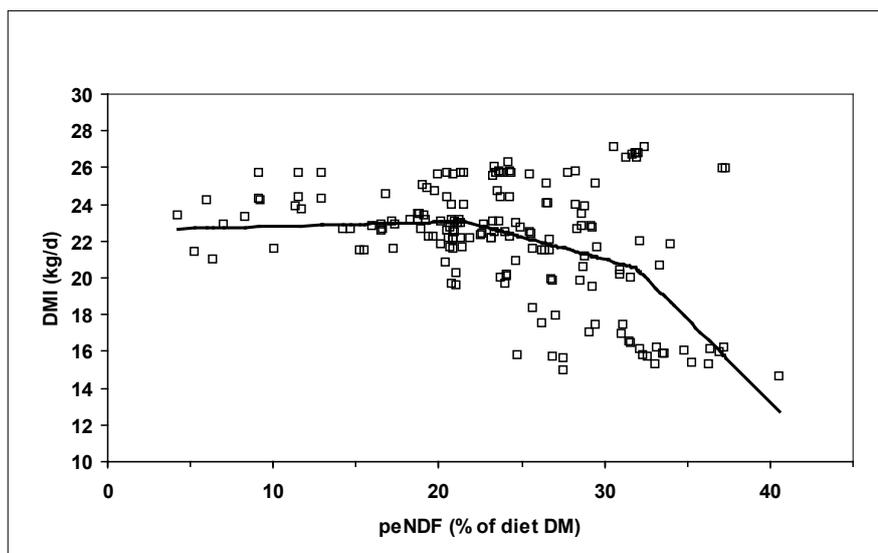


Abbildung 3: Modell zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen TM-Aufnahme und $peNDF_{>1,18mm}$

- Gumpenstein, 19-25.
- SHAYER, R.D., 2002: Rumen acidosis in dairy cattle. Bunk management considerations. Proc. 12th Int. Symp. on Lameness in Ruminants, Orlando (FL) USA, 75-81.
- ULBRICH, M., M. HOFFMANN und W. DROCHNER, 2004: Fütterung und Tiergesundheit, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- ZEBELI, Q., M. TAJAJ, H. STEINGASS, B. METZLER and W. DROCHNER, 2006: Effects of physically effective fiber on digestive processes and milk fat content in early lactating dairy cows fed total mixed rations. J. Dairy Sci. 89, 651-668.
- ZEBELI, Q., J. DIJKSTRA, M. TAJAJ, H. STEINGASS, B.N. AMETAJ and W. DROCHNER, 2008: Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the responses of ruminal pH and milk fat production to composition of the diet. J. Dairy Sci., (im Druck).