

# Ausreichend Struktur in der Milchviehration? Von der Bewertung zur adäquaten Versorgung

*Adequacy of physically effective fiber in dairy cows: from evaluation to adequate supply*

Qendrim Zebeli<sup>1\*</sup> und Elke Humer<sup>1</sup>

## Zusammenfassung

Für eine nachhaltige und erfolgreiche Milchproduktion sind ein guter Gesundheitsstatus und eine hohe Effizienz der Nährstoffverwertung unabdingbar. Um dies zu erreichen, bedarf es neben der Zufuhr adäquater Mengen fermentierbarer Nährstoffe auch einer ausreichenden Aufnahme an „strukturiertem“ Futter. Letzteres ist besonders wichtig für die Aufrechterhaltung einer normalen Pansenfunktion. Aufgrund der hohen Ansprüche an Energie besteht die große Herausforderung in der Fütterung hochleistender Milchkühe somit darin, sowohl den Energiebedarf zu decken als auch die für die Sicherstellung der Pansen- und Tiergesundheit erforderliche Versorgung mit Strukturfutter zu gewährleisten. Erfahrungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass eine Berechnung adäquater Strukturmenge in der Ration in der Praxis oft schwierig ist. Noch komplizierter ist eine Balance zwischen dem Strukturanteil und dem Anteil von im Pansen schnell abbaubaren Nicht-Faser-Kohlenhydraten in den Rationen der Hochleistungsmilchkühe zu finden. Der Fokus dieses Beitrages liegt auf der Strukturversorgung bei Hochleistungskühen und liefert Hintergründe, Zusammenhänge sowie praktische Faustzahlen hinsichtlich der Fütterung und Gesunderhaltung hochleistender Milchkühe.

**Schlagwörter:** Pansen, subakute Pansenazidose (SARA), Strukturbedarf, Partikellänge, Neutral-Detergenzien-Faser (NDF)

## Summary

Maintaining health status and efficient nutrient utilization are the most important variables in the equation of a sustainable and profitable milk production. This can be achieved by providing sufficient physically effective fiber, while feeding adequate amounts of fermentable nutrients. Formulating diets that provide a high energy density to assure maximum performance and feed efficiency on one hand, and that meet the requirements of a healthy rumen ecosystem and host on the other hand, poses a continuous challenge to dairy nutritionists. This can be attained by balancing the content of fiber and rapidly ruminally degradable carbohydrates of the ration. Focussing on rumen metabolism and health, this article gives background information, explains interactions and provides practical guidelines for promoting health and production efficiency of high-yielding dairy cows.

**Keywords:** rumen, sub-acute rumen acidosis (SARA), fiber requirement, particle size, neutral detergent fiber (NDF)

## 1. Einleitung

Eine ausgewogene und wiederkäuergerechte Ernährung der Milchkuh ist die Grundvoraussetzung für einen guten Gesundheitsstatus, das Wohlbefinden und eine hohe Lebensleistung. Um hohe Leistungen zu erzielen, werden Milchkühe im Allgemeinen mit großen Mengen an Kraftfutter oder anderen schnell verdaulichen, faserarmen Nebenprodukten gefüttert. Wenngleich diese Fütterungsstrategie sinnvoll ist, um den hohen Energiebedarf für die Milchproduktion zu decken, wird sie den verdauungsphysiologischen Vorgängen der Wiederkäuer nicht gerecht (ZEBELI et al. 2010). Dies liegt daran, dass die Fütterung großer Mengen an rasch fermentierbarer Kohlenhydrate (z.B. Stärke) zu einem schnellen Anstieg der kurzkettigen Fettsäuren im Pansensaft und dadurch zu einem schnellen Absinken des Pansen-pH-

Wertes führt (NOCEK 1997). Bestehen diese Bedingungen im Pansen über einen längeren Zeitraum, kann dies zu einer subakuten Pansenazidose (SARA, Engl. sub-acute rumen acidosis) führen (ZEBELI et al. 2008). Die SARA ist eine kritische Stoffwechselkrankheit, die mit schwer erkennbaren klinischen Zeichen assoziiert ist und eine schlechte Futteraufnahme und Reduktion der Verdaulichkeit mit sich bringen kann, was letztlich die Futterverwertung verschlechtert (PLAIZIER et al. 2008).

Auf der anderen Seite bewirkt eine deutliche Überschreitung des Bedarfes an strukturiertem Futter einen Rückgang des Trockenmasse (TM)-Aufnahmepotentials (ZEBELI et al. 2015). Vor allem in der Früh-laktation sollte daher aufgrund des reduzierten TM-Aufnahmevermögens und der meist stark negativen Energiebilanz frisch laktierender

<sup>1</sup> Veterinärmedizinische Universität Wien, Institut für Tierernährung und funktionelle Pflanzenstoffe, Department für Nutztiere und öffentliches Gesundheitswesen in der Veterinärmedizin, Veterinärplatz 1, A-1210 Wien

\* Ansprechpartner: Univ.-Prof. Dr. Qendrim Zebeli, email: [qendrim.zebeli@vetmeduni.ac.at](mailto:qendrim.zebeli@vetmeduni.ac.at)



Kühe ein zu hoher Anteil an Strukturfutter in der Ration vermieden werden, um einer erhöhten Körperfettmobilisation und entsprechenden gesundheitlichen Schäden, wie z.B. Ketose und Fettleber, vorzubeugen (ZEBELI et al. 2015).

## 2. Anforderungen an eine Milchkuh-Ration

Die hochleistende Milchkuh ist auf eine adäquate Versorgung mit Energie und Nährstoffen angewiesen, um das genetische Leistungspotential ausschöpfen zu können. Eine Kuh mit 650 kg Lebendmasse (LM) hat einen Erhaltungsbedarf von 37,7 MJ Netto-Energie Laktation (NEL). Für die Leistung werden weitere 3,3 MJ NEL pro kg fettkorrigierte Milch (Engl. Fat corrected milk, FCM: 4 % Milchlaktat, 3,4 % Eiweiß) benötigt, woraus sich ein Gesamtbedarf von 104 MJ NEL/Tag für eine Kuh mit einer Leistung von 20 kg FCM/Tag ergibt. Dies bedeutet, dass bereits bei moderater Milchleistung der Bedarf an Energie ein Mehrfaches des Erhaltungsbedarfes beträgt. Vor allem im hohen Leistungsbereich ist es schwierig, diesen hohen Bedarf zu decken. Da die Futtermittelaufnahme physiologischen Grenzen in Form der TM-Aufnahmekapazität unterliegt (GRUBER et al. 2001), muss bei steigender Leistung, neben der Futtermenge, auch die Energiedichte erhöht werden. Die rechnerisch benötigte Energiedichte der Ration beträgt daher bei einer Leistung von ca. 20 kg Milch etwa 6,0 MJ NEL/kg TM und setzt eine TM-Aufnahme von 17 kg TM/Tag voraus. Bei 30 kg Milch soll die Ration bereits mindestens 6,8 MJ NEL/kg TM enthalten, um bei einer TM-Aufnahme von knapp 20 kg/Tag den Tagesbedarf zu decken. Folglich werden bei höheren Leistungen noch höhere Werte der Energiedichte und TM-Aufnahme benötigt (GRUBER et al. 2001), wodurch die Milchkuh immer wieder an ihre physiologischen Grenzen stößt (BREVES und RODEHUTSCORD 1999). Eine derart hohe Energiedichte wird je nach verwendeten Futtermitteln mit einem Kraftfutter-Anteil von etwa 45 - 60 % erzielt, wogegen für Leistungen um 20 kg FCM ein Kraftfutteranteil von etwa 20 - 30 % in der TM ausreicht.

Dem Erreichen einer hohen Energie- und Nährstoffdichte steht der Strukturbedarf der Kuh, also die nötige Wiederkäuergerechtigkeit der Ration, gegenüber. Eine ausreichende Versorgung mit strukturierter Faser ist für ein gesundes und stabiles Pansenmilieu unabdingbar, da diese eine entsprechende Wiederkautätigkeit bewirken soll, um über den Speichel ausreichend Puffersubstanzen zur Steuerung des Pansen-pH-Wertes zu liefern. Weiters kommt der Faser eine wichtige Funktion bei der Schichtung des Panseninhaltes zu, die wiederum eine adäquate Verweildauer der Faserpartikel und damit eine gute Verdaulichkeit gewährleisten soll (KHOL-PARISINI und ZEBELI 2012). Ist die Fasermenge und -länge der Ration ausreichend, bildet sich eine Schicht fester, noch weitgehend unverdauter, Bestandteile in der Mitte des Pansens, die auf dem „Pansensee“, dem flüssigen Panseninhalt, der bereits stark fermentierte, kleine Partikel enthält, schwimmt. In dieser festen Phase, der Pansenmatte, findet der Großteil der Faserfermentation statt, aber auch stärkereiche Partikel werden durch die Fasermatte gehalten und hier fermentiert, wodurch ein vorzeitiger Verlust dieser Partikel verhindert wird (ZEBELI et al. 2012). Ist die physiologische Konsistenz der Fasermatte nicht gewährleistet, wird diese Funktion beeinträchtigt und

die Verdaulichkeit sinkt durch die erhöhte Passagerate der Digesta. Darüber hinaus bewirkt das faserige Material der Fasermatte eine mechanische Reizung der Pansenzotten, welche sowohl die Pansenkontraktionen als auch die Wiederkautätigkeit anregt und damit die Verdaulichkeit verbessert und den Fluss von Puffersubstanzen über den Speichel zur Stabilisierung des ruminalen pH-Wertes fördert. Die Pansenkontraktionen erhöhen zusätzlich die Absorption kurzkettiger Fettsäuren über die Pansenzotten und leisten damit einen weiteren wichtigen Beitrag zum Erhalt eines physiologischen ruminalen pH-Wertes. Daher ist eine entsprechende Ausbildung und Konsistenz der festen Phase entscheidend, um sowohl die Retention unverdauter Bestandteile und damit deren Verdaulichkeit als auch die Stabilität des ruminalen pH-Wertes zu gewährleisten (ZEBELI et al. 2012).

Auf der anderen Seite liefern die zuzuführenden Faserstoffe nur wenig Energie und Nährstoffe und „verdünnen“ daher die erreichte Energie- und Nährstoffdichte der Ration wieder. Außerdem reduzieren zu hohe Anteile an strukturierter Faser in der Ration die Futtermittelaufnahme sowie die Futtermittelverwertung aufgrund einer reduzierten mikrobiellen Proteinsynthese im Pansen (YANG und BEAUCHEMIN 2006). Eine zusätzliche Schwierigkeit der Versorgung mit ausreichend Struktur stellt eine mögliche selektive Futtermittelaufnahme der Tiere, vor allem eine Selektion des Kraftfutteranteils, dar. Dies ist insofern problematisch, da Kühe bei steigenden Konzentratanteilen diese mehr und mehr auf Kosten des Raufutteranteils aufnehmen und das aufgenommene Futter daher dem Strukturbedarf der Tiere nicht mehr entspricht (KHOL-PARISINI und ZEBELI 2012).

Die Herstellung von Rationen, die den Ansprüchen an die Energie- und Nährstoffdichte entsprechen und eine adäquate Menge an strukturierter Faserstoffe enthalten, um eine optimale Pansenfunktion zu ermöglichen, ist die wohl größte Herausforderung in der modernen Milchvieh-Fütterung. Dafür bedarf es einer optimalen Balance zwischen schnell abbaubaren Kohlenhydraten und strukturierter Faser in der Ration (ZEBELI et al. 2010).

## 3. Strukturbewertung von Rationen für Milchkuhe

### 3.1 Gerüstsubstanzen in der Wiederkäuerfütterung – ist Faser gleich Faser?

Grundsätzlich versteht man unter Gerüstsubstanzen die Bestandteile der pflanzlichen Zellwand, wobei Hemicellulose, Cellulose und Lignin die drei wichtigsten Komponenten darstellen (VAN SOEST 1967). Für die chemische Charakterisierung der Gerüstsubstanzen werden häufig der Gehalt an Rohfaser (XF) oder neutraler Detergenzienfaser (NDF) herangezogen. Bei der XF-Bestimmung werden jedoch je nach Futtermittel verschiedene Anteile der Gerüstsubstanzen (v.a. Hemicellulose und lösliche Teile von Cellulose und Lignin) gelöst und somit nicht erfasst (VAN SOEST 1967). Bei der Ermittlung der NDF erfolgt hingegen nur eine Lösung der Zellinhaltsstoffe, wodurch die Gesamtheit der Gerüstsubstanzen (Zellwandstoffe) erfasst wird. Somit ist die NDF heute als der geeignetste

Parameter zur Charakterisierung von Faserstoffen anzusehen (GRUBER 2010).

### 3.2 Gerüstsubstanzen und Strukturversorgung – ist das Gleiche gemeint?

Wenngleich der Gehalt an NDF den tatsächlichen Gehalt an Gerüstsubstanzen wiedergibt, ist dieser Wert alleine noch nicht ausreichend, um die Wiederkäuergerechtigkeit einer Ration zu charakterisieren. Neben dem chemisch analytisch erfassbaren Faseranteil müssen auch die Zusammensetzung der Kohlenhydratfraktionen der Gesamtration, die physikalischen Eigenschaften der Futterpartikel (Länge, Steifheit) sowie der Aspekt der ruminalen Abbaubarkeit der Faser und des Konzentratanteiles in Betracht gezogen werden (MERTENS 1997).

Da eine ungenügende Aufnahme an strukturiertem Futter zur Absenkung des ruminalen pH-Wertes unter den physiologischen Bereich führt und somit das Risiko einer SARA erhöht, stellt sich die Frage nach der Mindestversorgung mit strukturiertem Futter für die Gesunderhaltung des Pansens und des Tieres. Dies ist vor allem bei hohem Leistungsniveau von großer Bedeutung, da dem linear steigenden Energiebedarf eine weniger stark steigende Futteraufnahme entgegensteht. Somit wird eine Erhöhung der Energiekonzentration durch Anhebung des Kraftfutterniveaus erforderlich.

Die Ableitung eines Bedarfes an strukturiertem Futter ist jedoch mit Schwierigkeiten verbunden. Einerseits bedarf es der Definition geeigneter physiologischer Reaktionen des Tieres, die einen Strukturmangel definieren und andererseits müssen die Eigenschaften des Futters entsprechend quantifiziert werden. Zu ersterem werden häufig die Kau- und Wiederkauaktivität, der Milchfettgehalt oder der pH-Wert im Pansen herangezogen. Als futtermittelspezifische Faktoren wurde in der Vergangenheit häufig der Gehalt an XF, dzt. aber v.a. der Gehalt an NDF herangezogen (MERTENS 1997).

Zur Frage der Strukturbewertung hat es in den letzten Jahren eine Reihe von Entwicklungen und Neuerungen gegeben. Bisherige Faustzahlen für die praktische Gestaltung einer wiederkäuergerechten Ration waren z.B. mindestens 400 g „strukturwirksame XF“/100 kg LM, ein „kritischer Strukturwert“ von mindestens 1 (STEINGASS und ZEBELI 2008), oder mindestens 40 - 45 % Halmfutter in der Gesamt-TM und 18 % XF in der TM, davon 2/3 mit  $\geq 3,7$  cm Faserlänge (KAMPHUES et al. 2014). Die Erfüllung dieser Voraussetzungen war in der Praxis jedoch nur schwer umzusetzen (STEINGASS und ZEBELI 2008). Daher wurden diese Angaben aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse über das Zusammenspiel von Fütterung, Pansengesundheit und Leistung relativiert und darauf basierend neuere und präzisere Empfehlungen für die gesunde Rationsgestaltung der Hochleistungskuh abgeleitet (ZEBELI et al. 2008, GfE 2014).



Abbildung 1: Penn State Particle Separator („Schüttelbox“) mit 2 Sieben und Wanne

### 3.3 Physikalisch effektive NDF

Um eine Kombination der chemisch analysierten Gehalte an NDF mit den physikalischen Eigenschaften der Faser (v.a. der Partikellänge) des Futtermittels zu ermöglichen (MERTENS 1997), wurde im Jahr 2014 die Beurteilung der Rationen für Milchkühe hinsichtlich der Strukturversorgung auf das System der „physikalisch effektiven NDF“ (peNDF) umgestellt (GfE 2014). Durch den Bezug dieses Systems auf die NDF und die Berücksichtigung der Partikellänge konnte eine bessere Vorhersage der Wiederkäuergerechtigkeit einer Ration erreicht werden (STEINGASS und ZEBELI 2008, ZEBELI et al. 2012).

Zur Beurteilung der „Strukturwirksamkeit“ einer Ration muss neben dem chemisch bestimmten NDF-Gehalt auch die Partikelgrößenverteilung ermittelt werden. Die Beurteilung der Partikellänge erfolgt in der Praxis mittels Penn State Particle Separator (PSPS), auch als „Schüttelbox“ bezeichnet (Abbildung 1). Dafür werden üblicherweise 3 Siebe (19 mm, 8 mm Rundloch und 1,18 mm Quadratloch; KONOFF et al. 2003) verwendet, wodurch im Zuge einer definierten Schüttelbewegung (17 cm Hublänge, Frequenz  $\geq 1,1$  Hz, 40 Bewegungen,  $2 \times 5$  in jede Richtung) die Fraktionen auf die Siebe mit definierter Lochung und die darunter befindliche Wanne aufgeteilt werden. Anhand des NDF-Gehaltes des Futtermittels und des prozentualen Anteiles der Fraktionen im 19-, 8- und 1,18 mm Sieb kann der Gehalt an  $\text{peNDF}_{>8}$  (Inhalt aus dem 8- und 19 mm Sieb, LAMMERS et al. 1996), oder  $\text{peNDF}_{>1,18}$  (Inhalte aus dem 1,18-, 8- und 19 mm Sieb; KONONOFF et al. 2003) errechnet werden. Dabei handelt es sich um Parameter, die den Gehalt an strukturierter Faser gut und relativ einfach charakterisieren und zur Beurteilung und Korrektur von Rationen in der Praxis verwendet werden können (ZEBELI et al. 2012). Eine ausreichende Strukturversorgung ist dann gegeben, wenn das Auftreten einer SARA mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann (ZEBELI et al. 2012).

Obwohl das Konzept von peNDF die chemische Zusammensetzung der Faser und deren Partikellänge in einem Parameter vereint, werden Aspekte der ruminalen Abbaubarkeit der Futtermittel, vor allem der in der Ration enthaltenen Stärke, nicht berücksichtigt, weshalb die peNDF nur unter Berücksichtigung dieser Aspekte ein vollständiges Bild der



Ration und ihrer Effekte auf die Pansengesundheit zulässt, wie später dargelegt wird.

## 4. Empfehlungen für eine adäquate Strukturversorgung

### 4.1 Empfehlungen für den Gehalt an peNDF

Die in *Tabelle 1* und *2* dargestellten Empfehlungen beziehen sich auf die notwendigen Gehalte an peNDF, um einen durchschnittlichen pH von 6,2 (der kritische pH-Wert für das Auftreten einer SARA) im Pansen aufrechtzuerhalten. Für die notwendige Versorgung mit peNDF sind auch das Niveau der TM-Aufnahme, sowie der Gehalt an Stärke bzw. an pansen-abbaubarer Stärke von entscheidender Bedeutung. Tatsächlich ist die notwendige Menge an peNDF in der Ration keine feste Größe wie in *Tabelle 1* und *2* dargestellt wird. Aus *Tabelle 1* geht klar hervor, dass der Bedarf an  $\text{peNDF}_{>1,18}$  sowohl bei steigender TM-Aufnahme als auch bei höheren Gehalten an pansen-abbaubarer Stärke steigt, da eine größere Menge fermentierbarer Substanz anfällt. Für eine TM-Aufnahme von 18 kg/Tag und 16 % pansen-abbaubarer Stärke aus Getreide reichen 25 %  $\text{peNDF}_{>1,18}$  in der Ration aus um die Strukturversorgung zu garantieren. Steigt die Menge an pansen-abbaubarer Stärke aus Getreide von 16 auf 20 %, so werden bei derselben TM-Aufnahme 32 %  $\text{peNDF}_{>1,18}$  benötigt.

**Tabelle 1: Notwendige Gehalte an peNDF inklusive Partikel >1,18 mm ( $\text{peNDF}_{>1,18}$ ; % der TM) in Abhängigkeit der TM-Aufnahme und des Gehaltes an pansen-abbaubarer Stärke aus Getreide (GfE 2014)**

pansen-abbaubare Stärke aus Getreide (% der TM)	TM-Aufnahme (kg/d)			
	18	20	22	24
8	18	20	21	23
12	21	23	25	28
16	25	28	32	>32*
20	32	>32*	>32*	>32*

\* $\text{peNDF}_{>1,18}$  Gehalte über 32 % können die TM-Aufnahme limitieren, weswegen die erwartete TM-Aufnahme möglicherweise nicht erreicht wird. Die Bedarfswerte wurden auf Basis eines ruminalen pH-Wertes von 6,2 mittels folgender Gleichung ermittelt:  
 ruminaler pH-Wert =  $6,05 + 0,0444 \times x_1 - 0,0006 \times x_1^2 - 0,017 \times x_2 - 0,016 \times x_3$ , mit  $x_1 = \text{peNDF}_{>1,18}$  (% der TM),  $x_2 =$  pansen-abbaubare Stärke aus Getreide (% der TM),  $x_3 =$  TM-Aufnahme (kg/d); ( $R^2 = 0,66, P < 0,001$ ; ZEBELI et al. 2008).

**Tabelle 2: Notwendige Gehalte an peNDF inklusive Partikel >8 mm ( $\text{peNDF}_{>8}$ ; % der TM) in Abhängigkeit der TM-Aufnahme und des Stärkegehaltes (GfE 2014)**

Stärkegehalt (% der TM)	TM-Aufnahme (kg/d)			
	18	20	22	24
14	12	13	15	16
18	14	15	17	18
22	16	17	19*	21*
26	18	20*	22*	22*

\*  $\text{peNDF}_{>8}$  Gehalte über 18 % können die TM-Aufnahme limitieren, weswegen die erwartete TM-Aufnahme möglicherweise nicht erreicht wird. Die Bedarfswerte wurden auf Basis eines ruminalen pH-Wertes von 6,2 mittels folgender Gleichung ermittelt:  
 ruminaler pH-Wert =  $6,19 + 0,0438 \times x_1 - 0,000847 \times x_1^2 - 0,00928 \times x_2 - 0,01341 \times x_3$ , mit  $x_1 = \text{peNDF}_{>8}$  (% der TM),  $x_2 =$  Stärke (% der TM),  $x_3 =$  TM-Aufnahme (kg/d) ( $R^2 = 0,65, P < 0,001$ ; ZEBELI et al. 2010).

Die Ableitung der nötigen Versorgung mit  $\text{peNDF}$  gilt für die Vorlage einer totalen Mischration (TMR). Unter österreichischen Produktionsbedingungen stellen diese jedoch eine Ausnahme dar. Um dennoch auch bei einer Teil-TMR dieses Bewertungssystem nutzen zu können, muss die Siebfraction >8 mm als Bezugsgröße verwendet werden (*Tabelle 2*), d.h. es kann auf die Verwendung eines dritten Siebes verzichtet werden. Dies ist insofern zu erklären, da die über Transponder ergänzten Kraftfuttermittel keine Faserpartikel mit >8 mm Größe liefern. Somit kann unter diesen Bedingungen auch mit dem in der Teil-TMR erforderlichen Wert für die  $\text{peNDF}$  kalkuliert werden. Dabei muss wiederum der Stärkegehalt der Gesamtration sowie die TM-Aufnahme berücksichtigt werden. Der Gehalt an NDF des Kraftfutters kann dem gesamten NDF-Gehalt der Ration anteilmäßig angerechnet werden.

Auch bei Rationen, die pelletierte Kraftfutter beinhalten, ist die  $\text{peNDF}_{>8}$  von Vorteil. Je nach Pelletierverfahren und Pelletgröße wird das pelletierte Kraftfutter auf Sieb >1,18 mm erhalten ohne jeglichen Beitrag auf die Strukturwirksamkeit, jedoch wenig auf Sieb 8 mm. Kraftfuttermittelpellets vom Ober- bzw. Mittel- und Untersieb sind in die Wanne zu legen.

Die bei einer Teil-TMR verabreichten Kraftfuttermengen über den Transponder werden berücksichtigt, indem sie dem Untersieb prozentual zugerechnet werden. Je kg Kraftfutter sind 2 % anzusetzen, d.h. eine Gabe von 5 kg Kraftfutter über den Transponder erhöht den Anteil im Untersieb um 10 %. Die Anteile im Obersieb werden folglich entsprechend niedriger.

### 4.2 Stärkegehalt der Ration optimieren

Die Wirkung der in Futtermitteln enthaltenen Stärke auf den ruminalen pH-Wert variiert zum Teil beträchtlich zwischen einzelnen Getreidearten sowie deren Verarbeitung. Dies liegt daran, dass die chemische Struktur der Stärke zwischen Getreidearten und -sorten sehr unterschiedlich ist und der Grad der Gelatinisierung der Stärkegranula durch die Verarbeitung verändert wird, was schließlich zu einer erheblichen Variation in der Pansenabbaubarkeit der Stärke führt. Generell zeigt unbehandelter Mais einen deutlich höheren Anteil pansen-stabiler Stärke als z.B. Gerste oder Weizen, wobei verschiedene Verarbeitungstechnologien einen Einfluss ausüben können (OFFNER et al. 2003, HUMER et al. 2015). Auch die Qualität, die Konservierungsart, der Zerkleinerungsgrad und die gefütterte Menge beeinflussen den Stärkeabbau im Pansen erheblich sowie natürlich die Passagerate. Während beispielsweise die Stärke von unbehandeltem Mais eine Abbaubarkeit von ca. 60 % zeigt, erhöht sich diese in der Maissilage auf über 85 % (OFFNER et al. 2003). Ein hoher Anteil pansen-abbaubarer Stärke in der Ration erhöht den Bedarf an  $\text{peNDF}$  (SILVEIRA et al. 2007), auf der anderen Seite erhöht ein hoher Anteil an  $\text{peNDF}$  die Passagerate in den Dünndarm, wodurch die ruminale Abbaubarkeit der Stärke sinkt (ZEBELI et al. 2008) und der Pansen entlastet wird. Wird der Anteil der im Dünndarm abzubauenen Stärke jedoch zu hoch, besteht die Gefahr der unzureichenden Stärkeverdauung, da im Dünndarm nur ein limitierter Stärkeabbau möglich ist (MATTHE et al. 2000). Zudem ist die ausreichende Versor-

gung der Pansenflora mit Glukose zur Bildung von genug mikrobiellem Protein nötig.

Es ist also anzustreben, dass eine optimale Menge pansen-abbaubarer Stärke bereitgestellt wird, wobei sich das empfohlene Ausmaß des Anteils pansen-abbaubarer Stärke aus Getreide an einer TMR, nach der peNDF-Versorgung und dem Niveau der TM-Aufnahme gemäß *Tabelle 1* ergibt (ZEBELI et al. 2008). Als allgemeine Faustzahl wird veranschlagt, dass die Ration nicht mehr als 25 % Stärke und Zucker (i.d. TM) enthalten soll. Stammt ein höherer Anteil aus Mais, so sind insgesamt evtl. auch 30 % Stärke und Zucker zu tolerieren. Der Einsatz pansen-stabiler Stärke (<1,5 - 2 kg Kuh/Tag) ist unter diesen Bedingungen eventuell günstiger, da diese das SARA-Risiko senkt sowie mehr im Dünndarm absorbierbare Glucose liefert (MATTHE et al. 2001, KAMPHUES et al. 2014).

#### 4.3 Faserqualität der Ration beachten

Nicht nur die Menge und die ruminale Abbaubarkeit der verwendeten Stärke, auch die Qualität der faserreichen Futtermittel selbst sind mitbestimmend für die Balance zwischen Stärke und Fasergehalt der Ration. Die Verwendung hochwertiger Raufutterquellen mit hoher ruminale Abbaubarkeit der Faser, ermöglicht eine Erhöhung des Raufutteranteils auf Kosten des Kraftfutteranteils unter Beibehaltung der hohen Energiedichte, da Futter- und Energieaufnahme bei besserer Raufutterqualität steigen. Eine hohe Faserabbaubarkeit im Pansen beeinflusst somit die Futteraufnahme und die Leistung positiv, ohne eine Beeinträchtigung der Pansenfunktion hervorzurufen. Weiters steigert ein erhöhter Anteil solcher Grundfuttermittel auf Kosten von Kraftfutter die Kau- und Wiederkauaktivität, stimuliert die Fresslust, verbessert das Fressverhalten und verringert somit das Risiko für eine Beeinträchtigung der Pansenfunktion (KHOL-PARISNI und ZEBELI 2012). Hier sind vor allem früh geerntete Grassilage mit ihrem hohen Futter- und Strukturwert, Maissilage mit ihrem hohen Energiegehalt und dem hohen Anteil pansen-abbaubarer Faser, sowie Luzernesilage wegen ihres hohen Gehaltes an leicht abbaubarer Faser und Protein, aber auch faserreiche Nebenprodukte zu nennen (ZEBELI et al. 2010). Darüber hinaus kann sich auch ein geringerer Feuchtegehalt des Futters als günstig erweisen, da trockenere Qualitäten einen höheren Strukturwert bedingen (KAMPHUES et al. 2014).

#### 4.4 Faserlänge in der Ration überprüfen

Neben der Qualität der faserreichen Futtermittel ist vor allem auch die Faserlänge entscheidend. Eine zu geringe Partikellänge beeinträchtigt die Schichtung des Panseninhaltes, was über eine geringere Wiederkauaktivität und Pansenmotorik eine Reduktion von ruminalem pH-Wert und Futteraufnahme, Faserabbau und Futterverwertung bewirkt (TAF AJ et al. 2007). Im Gegensatz dazu kann eine moderate Abnahme der Partikellänge (z.B. eine theoretische Häcksellänge von etwa 8 mm bei Maissilage bzw. 11 mm bei Grassilage) deren Verdaulichkeit im Pansen und die Futteraufnahme verbessern, ohne die Strukturversorgung zu beeinträchtigen (ZEBELI et al. 2012). Weitere Vorteile einer moderaten Reduzierung der Partikellänge des Grundfutters sind eine bessere Ho-

mogenität der TMR mit geringerer Selektion einzelner Komponenten. Eine geringere Selektion der Ration hat positive Auswirkungen auf die zirkadiane Verteilung der Futter- und Faseraufnahme, was sich sowohl positiv auf die Pansenfermentation als auch auf die Futteraufnahme auswirken kann (ZEBELI et al. 2012). Um die optimale Partikelgröße der Faser festzulegen, muss diese im Zusammenhang mit dem Raufutter-, Faser- und Stärkeanteil der Ration sowie mit den technologischen Gegebenheiten bei der Herstellung und Fütterung der Ration beurteilt werden, um die entsprechenden Zielwerte an peNDF zu erreichen (TAF AJ et al. 2007). Da auch die Häcksellänge in einer engen Korrelation zum Konserviererfolg von Silagen steht, gilt es einen Kompromiss zu finden: nach bisherigen Erkenntnissen ist eine theoretische Häcksellänge von 6 - 8 mm für Maissilage und 11 - 25 mm für Grassilage am günstigsten einzuschätzen (KAMPHUES et al. 2014)

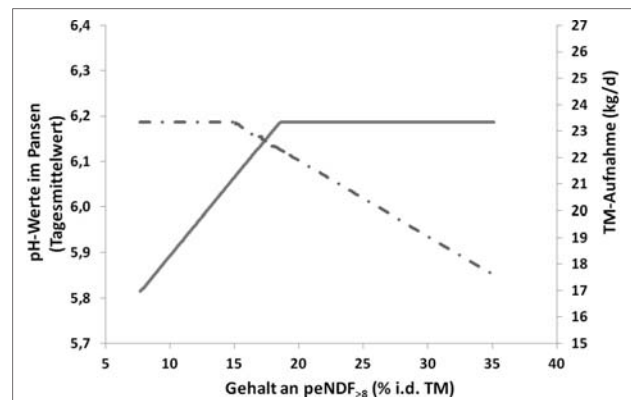
#### 4.5 Effekte des Strukturgehaltes in der Ration auf die Futteraufnahme beachten

Sowohl eine Unter- als auch eine Überschreitung der Zielgröße der peNDF kann mit gesundheitlichen Problemen verbunden sein.

Wird die Zielgröße nicht erreicht, kommt es über immer längere Zeiten zu deutlich reduzierten pH-Werten im Panseninhalt und somit zu einem Risiko zur Entstehung einer SARA (ZEBELI et al. 2012) und entsprechenden negativen Effekten auf die Futteraufnahme, Futterverwertung sowie den Gesundheitsstatus der Kuh (PLAIZIER et al. 2008).

Eine deutliche Überschreitung der Versorgungsempfehlung der peNDF (über 20 % peNDF<sub>>8</sub> bzw. über 32 % peNDF<sub>>1,18</sub>) bewirkt hingegen einen deutlichen Rückgang des TM-Aufnahmepotentials (ZEBELI et al. 2015).

Wie *Abbildung 2* zeigt, ist der Bereich, in dem sich die Rationen für die Hochlaktation befinden (<15 % peNDF<sub>>8</sub>), durch einen niedrigen ruminale pH-Wert aber eine maximale TM-Aufnahme (ca. 23,5 kg/Tag) auf Grund eines geringen Faser-Anteils in der Ration gekennzeichnet. Diese Tiere haben ein sehr hohes Risiko, SARA zu entwickeln.



*Abbildung 2: Zusammenhang zwischen peNDF (Partikel über 8 mm) und dem täglichen mittleren Pansen pH-Wert bzw. der resultierenden Trockenmasseaufnahme; täglicher mittlerer pH-Wert (—) und TM-Aufnahme (---) bei Milchkühen (ZEBELI et al. 2012)*

Auf der anderen Seite ist aber auch die Bestimmung einer Obergrenze von Faser in der Ration sinnvoll, da eine große Menge peNDF in der Ration die Futteraufnahme und -verwertung sowie die Energiedichte der Ration reduziert. Der Bereich in *Abbildung 2*, der die Rationen für Tiere mit geringerer Leistung zeigt, ist durch einen mittleren Pansen-pH-Wert von etwa 6,2 gekennzeichnet, jedoch begleitet von einer reduzierten TM-Aufnahme (<22 kg/Tag) auf Grund des ausgesprochen hohen peNDF Anteils (>19 %) in der Ration.

Im Überschneidungsbereich sind die Rationen zu finden, deren peNDF Gehalt zwar nicht hoch genug für einen optimalen Pansen pH-Wert ist, der aber die Futteraufnahme nur wenig beeinträchtigt. Kühe, die solche Rationen erhalten, haben ein deutlich geringeres Risiko, eine SARA zu entwickeln. Daraus ergibt sich, dass zwischen pansenphysiologisch optimalem peNDF-Gehalt und der für die Kuh erforderlichen Energiekonzentration ein nur enger Bereich besteht und die Formulierung von wiederkäuergerechten Rationen für hochleistende Milchkühe eine besondere Herausforderung darstellt.

## 5. Schlussfolgerungen

Die Aufrechterhaltung eines physiologischen Pansen-pH-Wertes ist von großer Wichtigkeit, da die Begleiterscheinungen und Folgen einer SARA in Form von Stoffwechsellagen und systemischen Entzündungen sowohl die Gesundheit als auch die Leistung der Milchkühe in der Hochlaktation stark beeinträchtigen können. Der ruminale pH-Wert, die Versorgung mit strukturierter Faser und pansen-abbaubarer Stärke, die TM-Aufnahme und die Passagerate stehen in engem Zusammenhang. Unter Berücksichtigung dieser Interaktionen können Rationen zusammengestellt werden, die ein günstiges Verhältnis zwischen pansen-abbaubarer Stärke und Faser aufweisen und diese in hoher Qualität bereitstellen. Diesbezüglich erweist sich die physikalisch effektive NDF als geeigneter Parameter. Um sowohl Aspekte der Tiergesundheit als auch der Energieversorgung hochleistender Milchkühe zu berücksichtigen, muss sich der peNDF-Gehalt einer Ration nach dem Gehalt an schnell verfügbaren Kohlenhydraten (insbesondere Stärke) und der Futteraufnahmekapazität orientieren. So lässt sich der ruminale pH-Wert, die Passagerate, die Verdaulichkeit der Einzelkomponenten und damit die Nährstoffeffizienz und Leistung optimieren und Krankheitserscheinungen vorbeugen.

## 6. Literatur

- BREVES, G. und M. RODEHUTSCORD, 1999: Gibt es Grenzen in der Zucht auf Leistung? – Aus der Sicht der Physiologie. *Züchtungskunde* 71, 420-427.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 2014: Communications of the committee for requirement standards of the society of nutrition physiology: Evaluation of structural effectiveness of mixed rations for dairy cows – status and perspectives. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 23, 165-179.
- GRUBER, L., T. GUGGENBERGER, A. STEINWIDDER, J. HÄUSLER, A. SCHAUER, R. STEINWENDER und B. STEINER, 2001: Vorerfahrungen der Futteraufnahme von Milchkühen auf Basis der Fütterungsversuche der BAL Gumpenstein. Bericht 28. *Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL Gumpenstein, Irnding*, 2.-3. Mai 2001, 11-36.
- GRUBER, L., 2010: NDF zur Beschreibung der Struktur der Futterra- tion und der Pansenfermentation. Bericht 37. *Viehwirtschaftliche Fachtagung, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irnding*, 13.-14. April 2010, 7-22.
- HUMER, E., A. KHOL-PARISINI, L. GRUBER, J. GASTEINER, S.M. ABDEL-RAHEEM und Q. ZEBELI, 2015: Long-term reticulorumenal pH dynamics and markers of liver health in early-lactating cows of various parities fed diets differing in grain processing. *J. Dairy Sci.* 98, 6433-6448.
- KAMPHUES, J., P. WOLF, M. COENEN, K. EDER, C. IBEN, E. KIENZLE, A. LIESEGANG, K. MÄNNER, Q. ZEBELI und J. ZENITEK, 2014: Supplemente zur Tierernährung, 12. Aufl., M&H Schaper Verlag, Alfeld (Leine), 520 S.
- KHOL-PARISINI, A. und Q. ZEBELI, 2012: Die Milchkühe im Spannungsfeld zwischen Leistung, Gesundheit und Nährstoffeffizienz. Bericht 39. *Viehwirtschaftliche Fachtagung, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irnding*, 25.-26. April 2012, 43-50.
- KONONOFF, P.J., A.J. HEINRICHS und D.A. BUCKMASTER, 2003: Modification of the Penn State forage and TMR separator and the effects of moisture content on its measurements. *J. Dairy Sci.* 86, 1858-1863.
- LAMMERS, B.P., D.R. BUCKMASTER und A.J. HEINRICHS, 1996: A simplified method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. *J. Dairy Sci.* 79, 922-928.
- MATTHE, A., P. LEBZIEN und G. FLACHOWSKY, 2000: On the relevance of bypass starch for glucose supply of high-producing dairy cows. *Übers. Tierernähr.* 28, 1-64.
- MATTHE, A., P. LEBZIEN, I. HRIC, G. FLACHOWSKY und A. SOMMER, 2001: Effect of starch application into proximal duodenum of ruminants on starch digestibility in the small and total intestine. *Arch. Anim. Nutr.* 55, 351-369.
- MERTENS, D.R., 1997: Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80, 1463-1481.
- NOCEK, J.E., 1997: Bovine acidosis: implications on laminitis. *J. Dairy Sci.* 80, 1005-28.
- OFFNER, A., A. BACH und D. SAUVANT, 2003: Quantitative review of in situ starch degradation in the rumen. *Anim. Feed Sci. Technol.* 106, 81-93.
- PLAIZIER, J.C., D.O. KRAUSE, G.N. GOZHO und B.W. McBRIDE, 2008: Subacute ruminal acidosis in dairy cows: the physiological causes, incidence and consequences. *Vet. J.* 176, 21-31.
- SILVEIRA, C., M. OBA, K.A. BEAUCHEMIN und J. HELM, 2007: Effect of grains differing in expected ruminal fermentability on the productivity of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90, 2852-2859.
- STEINGASS H. und Q. ZEBELI, 2008: Strukturbewertung von Rationen für Milchkühe. Bericht 35. *Viehwirtschaftliche Fachtagung, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irnding*, 9.-10. April 2008, 19-25.
- TATAJ, M., Q. ZEBELI, C.H. BAES, H. STEINGASS und W. DROCHNER, 2007: A meta-analysis examining effects of particle size of total mixed rations on intake, rumen digestion and milk production in high-yielding dairy cows in early lactation. *Anim. Feed Sci. Technol.* 138, 137-161.
- VAN SOEST, P.J., 1967: Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages. *J. Anim. Sci.* 26, 119-128.
- YANG, W.Z. und K.A. BEAUCHEMIN, 2006: Physically effective fiber: method of determination and effects on hewing, ruminal acidosis, and digestion by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89, 2618-2633.

- YANG, W.Z. und K.A. BEAUCHEMIN, 2007: Altering physically effective fiber intake through forage proportion and particle length: Chewing and ruminal pH. *J. Dairy Sci.* 90, 2826-2838.
- ZEBELI, Q., J.R. ASCHENBACH, M. TAJAJ, J. BOGUHN, B.N. AMETAJ und W. DROCHNER, 2012: Invited Review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 95, 1041-1056.
- ZEBELI, Q., D. MANSMANN, H. STEINGASS und B.N. AMETAJ, 2010: Balancing diets for physically effective fibre and ruminally degradable starch: A key to lower the risk of sub-acute rumen acidosis and improve productivity of dairy cattle. *Livest. Sci.* 127, 1-10.
- ZEBELI, Q., J. DIJKSTRA, M. TAJAJ, H. STEINGASS, B.N. AMETAJ und 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.* 91, 2046-2066.
- ZEBELI, Q., K. GHAREEB, E. HUMER, B.U. METZLER-ZEBELI und U. BESENFELDER, 2015: Nutrition and rumen health in the periparturient period and their role on overall health and fertility in dairy cows. *Vet. Res.* 103, 126-136.