

Eiweißversorgung der Milchkuh – Grundlagen und Konsequenzen für die praktische Fütterung

W. KNAUS und M. VELIK

Für eine leistungsorientierte Nährstoffversorgung unserer Nutztiere spielt Eiweiß (Protein) und damit Stickstoff (N) eine ganz zentrale Rolle. Die im Futter enthaltenen N-Verbindungen haben wesentlichen Einfluss auf den Protein-Stoffwechsel der Pansenmikroben und des Wiederkäuers selbst. Die Wechselwirkungen zwischen Ration, Mikroben und Wirtstier sind komplex und gleichzeitig bestimmend für die Netto-Proteinversorgung von Wiederkäuern.

1. Theoretische Grundlagen

Die wichtigsten Abbauprozesse und die Bildung von mikrobiellem Eiweiß im Pansen

Die Zusammensetzung des Nahrungsbreies, der dem Wiederkäuer im Dünndarm zur Absorption zur Verfügung steht, weicht von dem ab, was über das Futter aufgenommen wird. Dies trifft insbesondere für die Kohlenhydrate und das Protein zu. Durch die ruminale Fermentation werden die im Futter vorlie-

genden Kohlenhydrate großteils zu flüchtigen Fettsäuren – im wesentlichen sind dies Essig-, Propion- und Buttersäure – abgebaut. Im Falle des Futterproteins variiert der Anteil dessen, was im Vormagen bis zu Peptiden, Aminosäuren und Ammoniak (NH_3) gespalten wird, je nach Futter-Proteinquelle.

Die Spaltprodukte aus dem Proteinabbau im Pansen werden von den Mikroben genutzt, um ihrerseits zu wachsen und sich vermehren zu können. *Abbildung 1* gibt einen stark vereinfachten schematischen Überblick über die Fermentationsprozesse im Pansen und die wichtigsten dabei ablaufenden Vorgänge des Protein- und Kohlenhydrat-Stoffwechsels.

Im Vormagensystem eines Wiederkäuers spielen sich somit zwei gegensätzliche Prozesse ab: zum einen wird Futterprotein biochemisch in kleinere Teile (bis hin zu Peptiden, Aminosäuren und NH_3) zerlegt und zum anderen synthetisieren Mikroben (im wesentlichen sind dies Bakterien, aber auch Einzeller und Pil-

ze) „körpereigenes“ Protein. Die Bakterien sind in *Abbildung 1* in zwei Gruppen unterteilt. Bakterien die Struktur-Kohlenhydrate (Faser) fermentieren (SC-Bact) und solche, die Nicht-Struktur-Kohlenhydrate abbauen (NSC-Bact). Als Bausteine für die mikrobielle Proteinsynthese müssen Abbauprodukte des Futterproteins und/oder Nicht-Protein-N-Verbindungen des Futters vorhanden sein.

Struktur-Kohlenhydrate fermentierende Bakterien nutzen als N-Quelle NH_3 , während Nicht-Struktur-Kohlenhydrate fermentierende Bakterien dann am besten wachsen, wenn ihnen NH_3 und vorgeformter Amino-N zur Verfügung stehen (RUSSELL et al. 1992).

Kohlenhydrate werden über die Stufe des Zuckers hinaus zu flüchtigen Fettsäuren abgebaut. Im Zuge dieses Abbaus gewinnen die Bakterien Energie (ATP) zur Deckung des eigenen Energiebedarfs. Die flüchtigen Fettsäuren werden durch die Darmwand absorbiert und stellen die wichtigste Energie-Quelle für den Wiederkäuer dar. Weiters entstehen im Zuge dieses Fermentationsprozesses CO_2 , CH_4 und Wärme.

Von den Wachstumsbedingungen hängt es ab, wie rasch sich Mikroben vergrößern, teilen und damit die Mikrobenmasse insgesamt zunimmt. Die Verfügbarkeit von ATP – im Wesentlichen aus dem Abbau von Kohlenhydraten – das Vorhandensein von N-Verbindungen und der pH-Wert üben den größten Einfluss auf das mikrobielle Wachstumsgeschehen im Pansen aus.

Überschüssiges im Pansen abbaubares Futterprotein wird bis auf die Stufe des NH_3 zerlegt, durch die Pansenwand absorbiert, in der Leber zu Harnstoff umgebaut und schließlich über Harn und Milch ausgeschieden. Bei Aufnahme von proteinarmen Rationen kann die Menge an im Dünndarm verfügbarem Protein

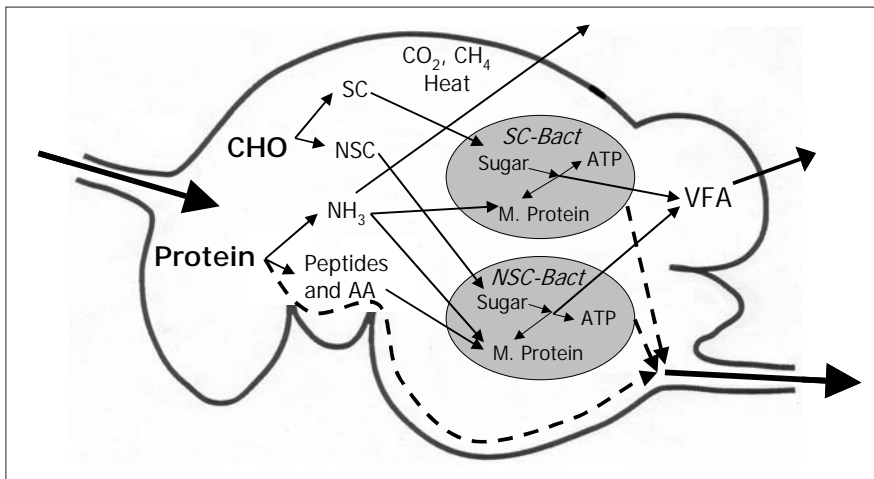


Abbildung 1: Wechselwirkungen zwischen Kohlenhydraten und Protein im Pansen (CHO = Kohlenhydrate; SC = Struktur-Kohlenhydrate; NSC = Nicht-Struktur-Kohlenhydrate; AA = Aminosäuren; SC-Bact = Bakterien, die Struktur-Kohlenhydrate fermentieren; NSC-Bact = Bakterien, die Nicht-Struktur-Kohlenhydrate fermentieren; M. Protein = mikrobielles Protein; Sugar = Zucker; ATP = Adenosintriphosphat; VFA = flüchtige Fettsäuren; modifiziert nach CHASE 1999a)

Autoren: Ao. Univ.-Prof. Dr. Wilhelm KNAUS und Dipl.-Ing. Margit VELIK, Universität für Bodenkultur Wien, Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Institut für Nutztierwissenschaften, Gregor Mendelstraße 33, A-1180 WIEN, email: wilhelm.knaus@boku.ac.at

höher sein als jene Menge an Protein, die über das Futter zugeführt wird. Ermöglicht wird dies durch die mikrobielle Synthese von Protein aus Harnstoff, der über Speichel und Blut in den Pansen gelangt (VAN SOEST 1994).

Gleichlauf in der Bereitstellung von Protein und Energie im Pansen (Synchronisation)

Es ist schon lange bekannt, dass Kohlenhydrate mit einer unterschiedlichen Geschwindigkeit im Pansen fermentiert werden. Sehr schnell abgebaut werden einfache Zucker (siehe *Abbildung 2*). Etwas weniger rasch verläuft der ruminale Abbau bei Stärke und Pektinen und am langsamsten werden Struktur-Kohlenhydrate fermentiert. *Abbildung 3* zeigt zusätzlich zur Bereitstellung von Kohlenhydraten den theoretisch wünschenswerten Verlauf der Verfügbarkeit von NH_3 . Wie gut der im Pansen verfügbare NH_3 von den Mikroben genutzt werden kann, dürfte sehr wesentlich von der Übereinstimmung der Kohlenhydrat- und der NH_3 -Kurven abhängen. Die Buchstaben X, Y und Z symbolisieren Futterproteinquellen die unterschiedlich rasch NH_3 als Endprodukt des ruminalen Abbaus liefern.

Konkurrenz zwischen ruminaler Fermentation und Passage

Ist eine rasche Verfügbarkeit und eine einigermaßen zeitliche Harmonisierung in der Bereitstellung von Energie und N-Verbindungen im Pansen gegeben, kann mit einer höheren Zunahme der Mikrobienmasse je Zeiteinheit gerechnet werden. In welchem Ausmaß Futter-Kohlenhydrate und -Proteine schlussendlich im Pansen abgebaut werden ist variabel und hängt von der Konkurrenz zwischen ruminalen Abbau (Fermentation) und Passage (Weitertransport) ab (siehe *Abbildung 4*).

Je höher die Futtermenge und damit die Passagerate des Futters durch den Verdauungstrakt, desto weniger Zeit bleibt für die mikrobielle Fermentation im Pansen. Rasch abbaubare Kohlenhydrat- und Protein-Fractionen haben eine „stürmische“ Bereitstellung von Energie und N-Verbindungen zur Folge, führen zu einer beschleunigten Bildung von Mikrobienmasse und ermöglichen eine höhere Passagerate. Im Pansen schnell

verfügbare Kohlenhydrate sind einfache Zucker und Stärke während auf der Seite des Proteins Peptide, Amide, Purine etc. besonders rasch abbaubar sind.

Die Konkurrenz zwischen Passage und ruminaler Fermentation um potentiell verdauliches Futter steht in direktem Zusammenhang mit dem Anteil an nicht fermentiertem Futter, das in den Blättern und weiter in den Labmagen gelangt (VAN SOEST 1994).

Je höher der Kraftfutter-Anteil und damit der Gehalt an leicht löslichen Kohlenhydraten in der Ration ist, umso größer ist wegen der geringeren Kau- und Wiederkau-Aktivität je kg Futter die Gefahr eines starken pH-Abfalls im Pansen. Leichtlösliche Kohlenhydrate werden rasch fermentiert, wodurch pro Zeiteinheit größere Mengen an flüchtigen Fettsäuren anfallen. Ein hohes Säureaufkommen und gleichzeitig eine niedrigere Speichelproduktionsrate lassen den pH-Wert unter 6,2 abfallen. Sinkt der pH-Wert im Pansen unter 6,2 ab, kommt es wegen der verschlechterten Lebensbedingungen für Struktur-Kohlenhydrate abbauende Bakterien zu einer niedrigeren „Leistungsfähigkeit“ cellulolytisch aktiver Bakterien (PITT 1998). In einer solchen Situation ist die Verdaulichkeit von Grundfutter jedenfalls negativ beeinträchtigt, der Futterdurchsatz je Zeiteinheit (Passagerate) herabgesetzt und die Nährstoffzufuhr insgesamt reduziert.

Niedrige versus hohe Stickstoff-Aufnahme

Abbildung 5 gibt einen Überblick über die Veränderungen im N-Kreislauf bei steigender Aufnahme an Futter-N unter der Annahme einer gleichbleibenden Energieversorgung. Bei einer niedrigen Futterprotein-Aufnahme ist der Pool an N-Verbindungen im Pansen gering. Es wird relativ wenig Mikrobien-Protein gebildet und auch die Menge an Futterprotein, das den Pansen unabgebaut verlässt ist gering. Nur unwesentliche Mengen an NH_3 werden durch die Pansenwand absorbiert und gelangen über das Blut in die Leber. Die N-Flüsse aus dem Dünndarm zu den Geweben und zur Leber sind herabgesetzt und dementsprechend niedrig ist die Harnstoff-Synthese in der Leber. Die absolute Menge an Harnstoff, die von der Leber in den Pansen gelangt, ist relativ unabhängig von der aufgenom-

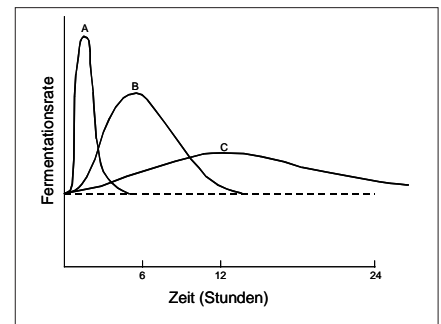


Abbildung 2: Schematische Darstellung der theoretischen Pansen-Fermentationsraten nach Aufnahme von drei verschiedenen Formen von Futter-Kohlenhydraten (A = Zucker, B = Stärke und Dextrine, C = Zellwand-Kohlenhydrate; JOHNSON 1976)

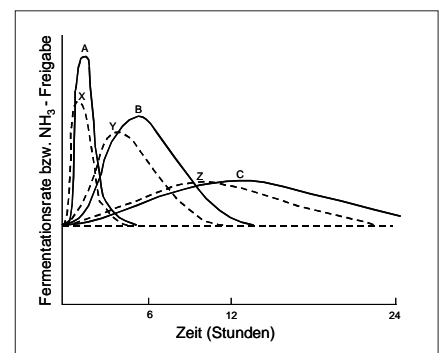


Abbildung 3: Schematische Darstellung der theoretischen Pansen-Fermentationsraten nach Aufnahme von drei verschiedenen Gruppen von Futter-Kohlenhydraten (A = Zucker; B = Stärke und Dextrine; C = Zellwand-Kohlenhydrate). Die Kurven X, Y und Z stellen den für die mikrobielle Proteinsynthese theoretisch notwendigen Verlauf der NH_3 -Freigabe im Pansen dar (JOHNSON 1976)

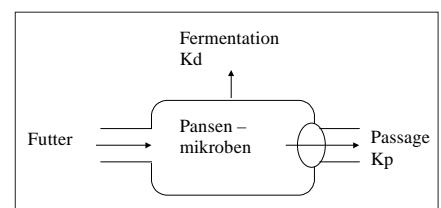


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Konkurrenz zwischen Passage (K_p = Passagerate) und Fermentation (K_d = Fermentationsrate) im Pansen (modifiziert nach RUSSELL 1998)

menen Menge an Futter-N (VAN SOEST 1994). Bei einer geringen Aufnahme an Futter-N spielt daher der in Form von Harnstoff in den Pansen rezyklierte N eine relativ große Rolle. In dieser Stoffwechsel-Situation wird weniger Harnstoff über Harn und Milch ausgeschieden.

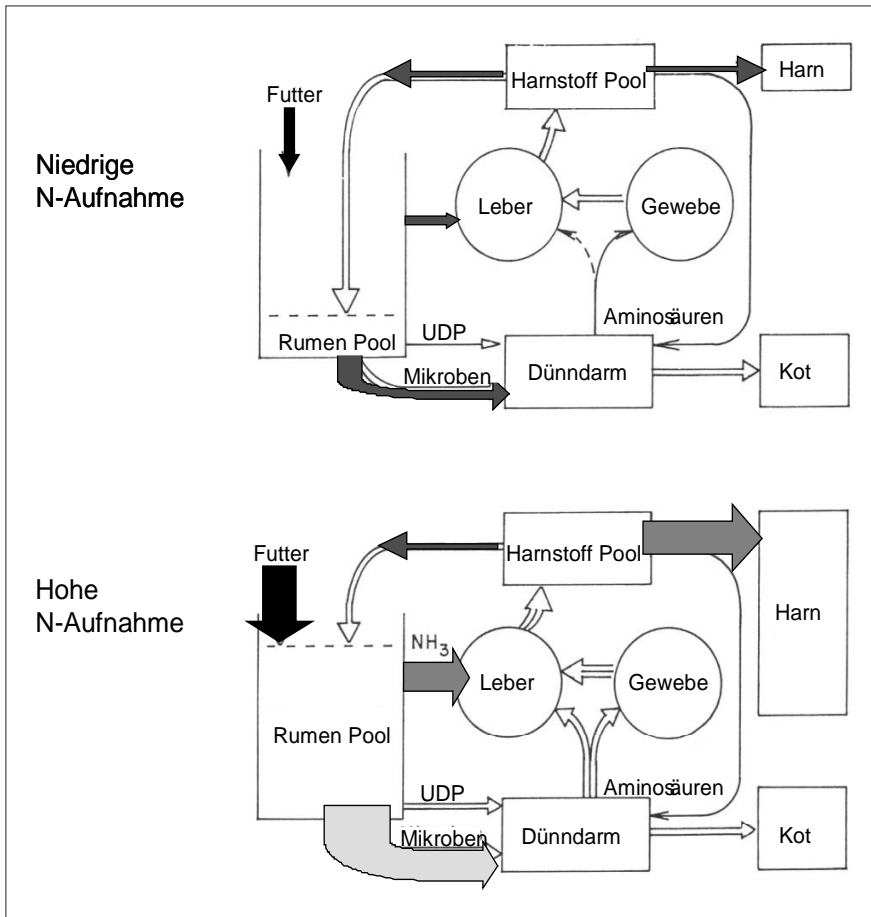


Abbildung 5: Vergleich des N-Metabolismus bei niedriger (Grafik oben) und hoher (Grafik unten) Aufnahme von Futter-N unter der Annahme, dass in beiden Fällen gleich viel Futterenergie vorhanden ist (modifiziert nach VAN SOEST 1994)

Bei einer hohen N-Aufnahme wird mehr mikrobielles Protein gebildet und der Proteinfluss in den Dünndarm steigt. Gleichzeitig wird überschüssiges NH_3 durch die Pansenwand in das Blut absorbiert. Große Mengen an absorbiertem N haben in den verschiedenen Geweben einen höheren Protein-Umsatz zur Folge und letztendlich wird mehr Harnstoff über Harn und Milch ausgeschieden.

In der Fütterung der Milchkuh ist eine hohe Proteinsynthese im Pansen (mikrobiell) und im Euter bei gleichzeitiger Geringhaltung der NH_3 -Verluste aus dem Pansen erwünscht, sodass von den Kühen möglichst wenig Harnstoff je kg erzeugter Milch ausgeschieden wird.

Das oben dargestellte theoretische Konzept von der notwendigen Übereinstimmung der ruminalen Fermentationsraten verschiedener Futter-Kohlenhydrate mit den ruminalen Abbauraten verschiedener Futter-Proteine zur Optimierung der mikrobiellen Proteinsynthese hat 1990

erstmals Eingang in ein komplexes Rationsprogramm gefunden (CNCPS = Cornell Net Carbohydrate and Protein System, FOX et al. 1990). Wegen der hohen Ansprüche an die Bedienung dieses Programms und die dafür erforderlichen Futtermittel-Analysen hat dieses Rationsprogramm in der Praxis bisher eine nur sehr eingeschränkte Anwendung gefunden.

Das in Österreich verwendete Proteinbewertungssystem der GfE (1997) klassifiziert die Futtermittel nach der ruminalen Abbaubarkeit des Futter-Rohproteins und schätzt die zu erwartende Menge an Mikrobenprotein in Abhängigkeit vom Gehalt an Umsetzbarer Energie. Es wird dabei weder der Anteil der verschiedenen, im Pansen abbaubaren, Rohprotein-Fractionen eines Futtermittel berücksichtigt, noch fließen in die Schätzung ruminale Abbauraten ein. Die für die Gesamtration geschätzte RNB (ruminale N-Bilanz) sollte möglichst ausgeglichen, d.h. nahe Null, sein.

2. Konsequenzen für die praktische Fütterung

Unabhängig vom angestrebten Leistungsniveau in einer Milchkuhherde ist es jedenfalls erstrebenswert, auf zwei zentrale fütterungsrelevante Prinzipien Bedacht zu nehmen.

a) Kühe müssen sich von Grundfutter satt fressen können: Diesem Prinzip kann man nur dann gerecht werden, wenn es den Tieren unabhängig von den stallbaulichen Voraussetzungen auch tatsächlich möglich ist, jederzeit hygienisch, geruch- und geschmacklich einwandfreies sowie nährstoffreiches Grundfutter aufzunehmen.

Die Steigerung der Futteraufnahme von laktierenden Kühen muss für jeden Milchviehalter ein vordringliches Ziel sein, denn je mehr Futter eine Kuh imstande ist zu verzehren, desto mehr Nährstoffe stehen dem tierischen Organismus nach Abdeckung des Bedarfs zur Aufrechterhaltung lebenswichtiger Funktionen für die Milchbildung zur Verfügung. Praktiker sollten daher größtes Interesse daran haben Faktoren der Futterqualität und -vorlage so zu beeinflussen, dass die Grundfutteraufnahme größtmöglich ist.

b) Mit welcher Effizienz (z.B.: Milchprotein in Prozent des Futterproteins) die über das Futter aufgenommenen Nährstoffe in Milch umgewandelt werden, hängt ganz wesentlich von der Ausgewogenheit der verzehrten Ration ab. Wiederkäuer haben in Hinblick auf das Niveau und die Qualität der Eiweißversorgung im Laufe der Evolution eine hohe Anpassungsfähigkeit entwickelt. Um die Effizienz der Futterprotein-Verwertung zu verbessern und die N-Ausscheidungen je erzeugtem Kilogramm Milch zu reduzieren, ist es nach CASTILLO et al. (2000) empfehlenswert einen Rohproteingehalt in der Gesamtration von ca. 150 g/kg Trockenmasse anzustreben.

FRANK et al. (2002) haben in einem Milchvieh-Versuch den Rohproteingehalt in der Gesamtration von 190 auf 140 g/kg Trockenmasse gesenkt und dadurch die Effizienz der N-Verwertung (N in der Milch in Prozent des Futter-N) von 29 auf 39 % gesteigert. Das durchschnittliche Milchleistungsniveau von 31 kg/Kuh und Tag konnte trotz der niedrigeren Rohproteinzufuhr gehalten werden.

Sehr junges Weidefutter vom Grünland zeichnet sich zwar durch seine Schmackhaftigkeit und seine hohe Nährstoffdichte aus, enthält jedoch deutlich mehr Eiweiß (bis über 200 g Rohprotein je kg Trockenmasse) als für eine effiziente Nutzung des Futterproteins notwendig ist. Bei alleinigem und ad libitum Verzehr von sehr jungem Weidefutter kommt es im Pansen zu einer hohen Freisetzungsrate von NH_3 und einer im Verhältnis dazu nicht ausreichenden Bereitstellung von Energie. Außerdem hat die noch suboptimale Strukturwirksamkeit von sehr jungem Grünfutter eine verringerte Kau- und Wiederkauaktivität und eine verkürzte Verweildauer des Futters im Pansen zur Folge und führt zur Ausscheidung von Kot in dünnbreiiger Form. Überschüssiges NH_3 wird – wie in *Abbildung 5* dargestellt – durch die Pansenwand ins Blut absorbiert, in der Leber wird daraus Harnstoff synthetisiert und dieser über Milch und Harn ausgeschieden.

Sommerfütterung/Weidehaltung

Das Beweiden von Dauergrünlandflächen gilt als eine der nachhaltigsten Formen der landwirtschaftlichen Erzeugung überhaupt (HEITSCHMIDT et al. 1996). Dies liegt in der Tatsache begründet, dass derzeit kein anderer Bereich der Landwirtschaft mit einem geringeren Aufwand an nicht erneuerbaren Ressourcen (z.B. fossiler Treibstoff) auskommt.

Weidefutter von gut gepflegten Flächen hat eine höhere Qualität (hoher Protein- und niedriger Fasergehalt, hohe Verdaulichkeit) als jedes andere konservierte Futter vom Grünland. Bei Weidehaltung ist es aber jedenfalls schwieriger als im Stall die tatsächliche Futteraufnahme der Kühe abzuschätzen und den Tieren eine annähernd gleiche Futterqualität während der gesamten Weidesaison zu bieten.

Nur in den seltensten Fällen liegen Analysen von Futterproben vor, die in regelmäßigen Abständen von der angebotenen Weide gezogen wurden. Rationsberechnungen müssen sich daher zur Abstimmung der Ergänzungsfütterung zumeist auf sehr grobe Schätzungen der Futteraufnahme auf der Weide und der Qualität des tatsächlich aufgenommenen Grünfutters stützen. Bei ganztägiger

Weide ist die zeitlich passende Abstimmung (Synchronisation) der Ergänzungsfütterung auf die Weideaufnahme während des Tages vielfach nur eingeschränkt möglich.

Zur Verbesserung der Strukturwirksamkeit der Tagesration empfiehlt es sich jedenfalls vor und nach dem Weidegang Heu (zumindest 2 kg je Kuh und Tag) anzubieten. Für Betriebe auf denen eine ökologisch verträgliche Erzeugung von Maissilage möglich ist, stellt diese wegen der hohen Energiedichte, des niedrigen Proteingehaltes und der raschen Verfügbarkeit der Energie im Pansen ein gut passendes Ergänzungsfuttermittel zum Weidefutter dar. Literaturangaben zu Folge, sollten nicht mehr als 6 bis 10 kg Maissilage-Frischmasse je Kuh und Tag angeboten werden, da es sonst zu einer reduzierten Weidefutter-Aufnahme kommt.

Als Komponenten einer Kraftfutter-Ergänzung eignen sich Getreidefuttermittel, da diese im Pansen schnell verfügbare Energie und nur wenig Protein enthalten. Der auf das Weidefutter und die zusätzlich (im Stall) angebotenen Grundfuttermittel abgestimmte Einsatz von bis zu 25 % Kraftfutter (bezogen auf die Rationstrockenmasse) zum Zweck des Nährstoffausgleichs, bietet die Möglichkeit einer besseren Nutzung der in den Grundfuttermitteln steckenden Nährstoffe. Bei händischer Zuteilung des Kraftfutters sollten jeder Kuh pro Teilgabe nicht mehr als 1,5 kg Kraftfutter vorgelegt werden. Soweit praktisch handhabbar sollte eine möglichst gleichmäßige Verteilung der einzelnen Kraftfuttergaben über den Tag angestrebt werden.

Winterfütterung

In Anlehnung an das Konzept von der zeitlich abgestimmten Bereitstellung der jeweiligen Futter-Kohlenhydrate und -Proteine im Pansen liegt der Schluss nahe, dass man bei Fütterung einer gut ausgewogenen TMR (Total Mixed Ration = Ganzmischration) den Anforderungen an eine optimierte Mikrogen-Proteinsynthese am besten gerecht wird.

TMR-Fütterung ist ein Fütterungskonzept für den Großbetrieb, auf dem eine entsprechende Gruppeneinteilung (Leistungsniveau, Laktationsstadium) mög-

lich ist. Die Vorlage einer TMR bringt es mit sich, dass jeder Bissen, den die Tiere aufnehmen, gleich zusammengesetzt ist und damit die ruminalen Abbauprozesse für alle Rationskomponenten zeitgleich ablaufen können. Schwankungen im Pansenmilieu (Konzentration an flüchtigen Fettsäuren, pH-Wert), wie sie bei der Aufnahme von größeren Mengen an Kraftfutter als separate Rationskomponente entstehen, können bei diesem Fütterungssystem verhindert werden. Wegen dieser Effekte erleichtert die TMR-Fütterung in der konventionellen Milchviehhaltung das Ausreizen der Grenzen des Kraftfutter-Einsatzes.

Aus Sicht des Tierverhaltens muss jedoch eingewandt werden, dass bei Vorlage einer TMR die Futterselektion nahezu gänzlich unterbunden wird. Sowohl auf der Weide als auch im Stall zeigen Rinder eine gewisse Neigung, die Aufnahme von geruch- und geschmacklich negativ beeinträchtigtem oder sehr stängeligem Futter zu verweigern. Wird versehentlich hygienisch bedenkliches Futter (verschimmelt oder verdorbenes Futter) als Einzelkomponente vorgelegt, kommt es unmittelbar zu einer Reduktion bzw. Verweigerung der Futtermittelaufnahme. Im Falle der TMR-Fütterung können derartige Fehler längere Zeit unbemerkt bleiben.

Auch für die Winterfütterung gilt es Bedingungen zu schaffen, die es den Kühen ermöglichen das im (Grund-)Futter steckende Protein möglichst effizient in Milchprotein umzuwandeln. Um selbst einfache Rationsberechnungen machen zu können, ist es unumgänglich, die am Betrieb vorhandenen Grundfutter-Komponenten auf ihren Nährstoff-Gehalt analysieren zu lassen. Ein möglichst guter Schätzwert für die tägliche Grundfutter-Aufnahme ist dann der Ausgangspunkt für die Formulierung einer nach Energie und Protein ausgewogenen Ration. Bei einem Milchnharnstoff-Gehalt unter 15 mg/100 ml liegt jedenfalls ein N-Mangel im Pansen vor und die Pansenmikroben sind in ihrem Wachstumspotenzial gehemmt. Milchnharnstoff-Gehalte über 25 (30) mg/100 ml geben Hinweis auf eine ineffiziente Nutzung des im Pansen anfallenden N.

Das Rohprotein von Heu besteht im Durchschnitt aus 25 bis 35 % löslichem

Protein. Werden (Klee-) Grasbestände jedoch nicht als Heu konserviert sondern siliert, macht der Anteil des löslichen Proteins am Rohprotein der Silage 50 bis 80 % aus (CHASE 1999b). Im Zuge der Vergärung wird Protein in lösliches Protein umgewandelt. In der Tendenz haben feuchtere Silagen einen höheren Anteil an löslichem Protein, da der Vergärungsprozess länger dauert. Ein Überschuss an löslichem und abbaubarem Protein in der Ration verschlechtert die N-Verwertung, erhöht die N-Ausscheidung und kann zu einer niedrigeren Milchleistung führen.

Wegen der erhöhten Menge an löslichem Protein in (Klee-) Grassilagen und der hohen ruminalen Abbauraten dieser Protein-Fraktion ist Maissilage mit ihrem hohen Gehalt an rasch verfügbarer Energie eine ideale Futterkomponente in Milchviehrationen. Ist Maissilage am Betrieb nicht verfügbar, kann durch den Einsatz von Kraftfutter (Getreidemischung) die Verwertung des schnell verfügbaren Rohproteins von (Klee-) Grassilagen verbessert werden. Aus Gründen der Vielseitigkeit und der Strukturwirk-

samkeit sind auch in der Winterfütterung zumindest 2 kg Heu je Kuh und Tag zu empfehlen.

Rationsprogramme, die sowohl die Nährstoffmengen also auch die ruminalen Abbauraten berücksichtigen, könnten zur Optimierung der mikrobiellen Proteinsynthese und der N-Verwertung beitragen.

3. Literatur

CASTILLO, A.R., E. KEBREAB, D.E. BEEVER, und J. FRANCE, 2000: A review of efficiency of nitrogen utilisation in lactating dairy cows and its relationship with environmental pollution. *Journal of Animal and Feed Science*, 9, 1-32.

CHASE, L., 1999a: Handouts for the course „Dairy Nutrition and Health“ – AS 355. Department of Animal Science, Cornell University, Ithaca, NY.

CHASE, L., 1999b: Animal management strategies to reduce nutrient excretion. Proceedings: Advanced Dairy Nutrition Course held at Cornell University, Ithaca, NY, August 16-19.

FOX, D.G., C.J. SNIFFEN, J.D. O'CONNOR, J.B. RUSSELL und P.J. VAN SOEST, 1990: The Cornell net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. *Search Agriculture*. Cornell University Agricultural Experiment Station. No. 34, Ithaca, NY.

FRANK, B., M. PERSSON und G. GUSTAFSSON, 2002: Feeding dairy cows for decreased ammonia emission. *Livestock Production Science*, 76, 171-179.

GfE, 1997: Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. Zum Proteinbedarf von Milchkühen und Aufzuchtrindern. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology*, 6, 217-236.

HEITSCHMIDT, R.K., R.E. SHORT und E.E. GRINGS, 1996: Ecosystems, Sustainability, and Animal Agriculture. *Journal of Animal Science*, 74, 1395-1405.

JOHNSON, R.R., 1976: Influence of carbohydrate solubility on non-protein nitrogen utilization in the ruminant. *Journal of Dairy Science*, 43, 184-191.

PITT, R., 1998: Handouts for the course „Applied Cattle Nutrition and Nutrient Management“ – AS 411. Department of Animal Science, Cornell University, Ithaca, NY.

RUSSELL, J.B., J.D. O'CONNOR, D.G. FOX, P.J. VAN SOEST und C.J. SNIFFEN, 1992: A Net Carbohydrate and Protein System for Evaluating Cattle Diets. I. Ruminant Fermentation. *Journal of Animal Science*, 70, 3551-3561.

RUSSELL, J.B., 1998: Handouts for the course „Applied Cattle Nutrition and Nutrient Management“ – AS 411. Department of Animal Science, Cornell University, Ithaca, NY.

VAN SOEST, P.J., 1994: Nutritional ecology of the ruminant. Second edition, Chapter 18. Cornell University Press, Ithaca, NY.