

Fachliche Grundlagen internationaler Futterbewertungssysteme für Milchkühe und Zukunftsperspektiven für die deutschen Empfehlungen (Energie, Protein, Aminosäuren)

K.-H. SÜDEKUM

1. Einleitung

Die aktuellen Versionen von Futterbewertungssystemen für landwirtschaftliche Nutztiere und die damit zusammenhängenden Energie- und Nährstoffbedarfsangaben geben in der Regel den Stand des Wissens wieder, der von den Verfassern der Systeme als experimentell so weit gesichert angesehen wird, dass er als tragfähige Basis für verallgemeinerungsfähige Empfehlungen zur Rationsgestaltung dienen kann. Dies bedeutet implizit, dass zum einen grundsätzlich alle Futterbewertungssysteme Veränderungen und Weiterentwicklungen offen stehen und zum anderen, dass in besonderen Einzelfällen die Empfehlungen die realen Anforderungen nicht adäquat abzudecken vermögen. In Deutschland sind die Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Milchkühen (und Aufzuchttrindern) kürzlich (GfE 2001) publiziert worden, wobei die Energie- und Proteinversorgung basierend auf Veröffentlichungen der GfE der Jahre 1995 und 1997 in überarbeiteter Form vorgelegt wurden. Weil diese Arbeiten nun in einer leicht zugänglichen und gut verständlichen Form vorliegen, wurde es für den vorliegenden Beitrag nicht als sinnvoll angesehen, Grundzüge und Anwendung des deutschen Systems zu wiederholen. Vielmehr soll versucht werden, unter Einbeziehung neuerer Literaturbefunde die Bereiche anzusprechen, die vor allem wegen einer (noch) nicht befriedigenden Datenlage zukünftig einer intensiveren experimentellen Bearbeitung unterzogen werden sollten. Es muss betont werden, dass dabei im Rahmen dieser Arbeit eine stark subjektiv geprägte Sichtweise präsentiert wird, die keinesfalls - wie es der

Titel der Arbeit nahe legen könnte - den Anspruch auf repräsentative Wiedergabe einer autorisierten deutschen Expertenmeinung erheben kann und will.

2. Energiebewertung

In einem Vergleich von vier europäischen Energiebewertungssystemen für Milchkühe (Vereinigtes Königreich, Niederlande, Frankreich, Deutschland) mit dem US-amerikanischen System des National Research Council (NRC 1989) konnten VERMOREL und COULON (1998) anhand einer Simulationsstudie mit 15 ausgewählten Futtermitteln zeigen, dass alle Systeme ähnlich gut und zuverlässig in der Lage waren, den Energiebedarf der Tiere und das Energielieferungsvermögen von Milchkuhrationen bis zu Milchleistungen von etwa 30 kg/Tag zu schätzen. Dies entspricht Futteraufnahmen, die bis zum Dreifachen des energetischen Erhaltungsbedarfs zu decken vermögen. Insbesondere zwischen den europäischen Systemen waren nur marginale Differenzen zu beobachten. Die Autoren (VERMOREL und COULON 1998) wiesen darauf hin, dass das NRC-System gegenüber den europäischen Systemen die Energiegehalte von Futtermitteln eher überschätzt, was bei restriktiver Futtermittelversorgung auch schon bei Milchleistungen von 20 bis 25 kg/Tag führen könnte. Bei höheren Milchleistungen wiesen alle Systeme eine nicht den tatsächlichen Bedarf deckende Futterzuteilung aus. Die stärksten Differenzen wurden für Rationen mit Heu gefunden. Als Ursachen für diese Befunde wurden genannt:

- Eine Überschätzung des Gehaltes an Nettoenergie Laktation (NEL) bei ho-

hen Futteraufnahmen, d. h., eine nicht korrekte Einschätzung der Verdaulichkeitsdepression pro Einheit Ernährungsniveau über dem Erhaltungsbedarf;

- Auftreten nicht-additiver Effekte (assoziative oder Interaktionseffekte), die bei hohen Futteraufnahmen häufig mit negativen Vorzeichen versehen sind (HUHTANEN 1991), während bei niedrigem Ernährungsniveau additive Wirkungen vorausgesetzt werden können: Als Beispiel kann die Depression der Faser-(Zellwand)-Verdauung in den Vormägen durch schnell fermentierbare Kohlenhydrate oder Fett angeführt werden. Demgegenüber wurden mit Ergänzungen von Protein oder gut fermentierbaren Zellwandbestandteilen häufig positive assoziative Effekte ermittelt (HUHTANEN 1991).
- Nicht befriedigende Bewertung von sehr konzentratfuttermittelnreichen Rationen, wie sie häufig im Hochleistungsbe- reich gefüttert werden.

Bereits KAUSTELL et al. (1997) führten mit Daten von 51 Milchleistungsversuchen (42 in Finnland, 4 in Dänemark und 5 in Großbritannien) einen Vergleich neun verschiedener Energiebewertungssysteme anhand der Differenz zwischen der auf Basis des jeweiligen Systems vorhergesagten und der gemessenen Milchleistung durch. Die Vorhersagegenauigkeit aller Systeme nahm mit zunehmendem Konzentratanteil in der Ration ab. Ähnlich wie VERMOREL und COULON (1998) stellten auch diese Autoren fest, dass das Milchbildungsvermögen von Futtermitteln bei hohen Milchleistungen und damit einhergehenden Futteraufnahmen überschätzt wird, während es bei niedrigen Futteraufnahmen unterschätzt wird.

Autor: Priv.-Doz. Dr. Karl-Heinz SÜDEKUM, Institut für Tierernährung und Stoffwechselfysiologie, Christian-Albrechts Universität, D-24098 KIEL, email: suedekum@aninut.uni-kiel.de

Es liegen noch keine publizierten Ansätze vor, in denen das deutsche oder andere europäische Energiebewertungssysteme in ihrer Vorhersagegenauigkeit für die Milchleistung verglichen wurden mit der erst im Januar 2001 erschienenen neuen Version des NRC-Systems (NRC, 2001) oder mit dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS, FOX et al. 1992, RUSSELL et al. 1992, SNIFFEN et al. 1992), wobei vor allem im CNCPS die Umsetzungen von Zellwand- und Reservekohlenhydraten (sowie Proteinen) in den Vormägen und im postminalen Verdauungstrakt sehr detailliert und unter Nutzung dynamischer Elemente modelliert wurden.

2.1 Futtermittelanalytik

Essentiell für Fortschritte in Richtung einer detaillierteren Erfassung der Umsetzungen von Zellwand- und Reservekohlenhydraten sowie Proteinen in den Vormägen und im postminalen Verdauungstrakt ist jedoch eine adäquat differenzierende analytische Charakterisierung vor allem der Kohlenhydratfraktionen in Futtermitteln und dabei und insbesondere eine genauere Erfassung aller Zellwandbestandteile (SÜDEKUM 1997). Für Lignin, das zum Beispiel über Quervernetzungen mit Hemicellulosen einen starken Einfluß auf die Verdauung von Zellwandbestandteilen ausübt, existiert trotz intensiver Forschungen nach wie vor keine Referenzmethode. Unterschiedliche Ligninbestimmungsmethoden lieferten für die selben Futtermittel sehr stark variierende Ergebnisse (REEVES 1993) und diejenigen Nachweisverfahren, die auch Struktur und monomere Zusammensetzung des Lignins erfassen können, sind für eine breitere Anwendung bisher zu aufwendig (REEVES und SCHMIDT 1994). Eine von SÜDEKUM et al. (1997) publizierte spektralphotometrische Methode zeigt Möglichkeiten zur quantitativen Ligninbestimmung auf, die ihrer einfachen Handhabung wegen auch Eingang in die Routineanalytik finden könnte. Als Ausgangsmaterial für die Ligninbestimmung wies die Neutral-Detergenzienfaser (NDF) eine ähnlich gute Eignung auf wie das Zellwandpräparat, das nach der Methode von MORRISON (1972) durch sukzessive Behandlung der Proben mit

heißem Wasser und organischen Lösungsmitteln gewonnen wurde. Da die NDF auch für die Analyse der monomeren Bausteine der Zellwandkohlenhydrate und als Schätzgröße für den Gesamtgehalt pflanzlicher Gerüstsubstanzen in der Routineanalytik anwendbar ist, bietet es sich an, diese Fraktion auch für eine differenziertere Ligninanalytik als Ausgangsmaterial zu verwenden. Keine der Rohnährstoff-Fractionen der Weender Futtermittelanalyse lässt sich dagegen in ein solches Analysenschema integrieren, da die Rohfaser als fettfreier organischer Rest der sukzessiven Behandlung von Futtermitteln mit verdünnten Säuren und Laugen nur noch einen in der Regel geringen Teil des Lignins enthält (NEHRING und HOFFMANN 1969, VAN SOEST 1976) und die stickstofffreien Extraktstoffe eine rechnerische Restgröße darstellen. Die Trennung und der Nachweis alkalilabiler phenolischer Monomeren, die eine große Bedeutung für die Quervernetzung des Lignins mit den Hemicellulosen haben, lässt sich mittels flüssigkeitschromatographischer Verfahren realisieren (zum Beispiel JUNG et al. 1983).

In zwei neueren Arbeiten konnten israelische Wissenschaftler an Weizenganzpflanzen demonstrieren, dass eine Bestimmung der monomeren Zusammensetzung der (Zellwand-)Kohlenhydrate erheblich dazu beitragen kann, reifebedingte Veränderungen im Futterwert nachvollziehen und interpretieren zu können. BEN-GHEDALIA et al. (1995a) bestimmten die monomere Zusammensetzung und *in vitro*-Verdaulichkeit der Zellwandkohlenhydrate von Weizenganzpflanzen, Blättern, Ähren und Halmen und konnten die Depression in der Zellwand-(NDF)-Verdaulichkeit, die zwischen Blüte und Teigreife des Weizens beobachtet wurde, der Xylanfraktion der Hemicellulosen und der Lignifizierung der Hemicellulosen zuordnen. Am gleichen Pflanzenmaterial untersuchten BEN-GHEDALIA et al. (1995b) die durch die Silierung der unterschiedlich reifen Pflanzen verursachten Veränderungen in der Zusammensetzung und den *in vitro*-Verdaulichkeiten von Kohlenhydratfraktionen. Die Autoren demonstrieren, dass die *in vitro*-Verdaulichkeit der Zellwandkohlenhydratmonomeren, nicht jedoch die der NDF, die

in Abhängigkeit vom Reifestadium variierenden Auswirkungen der Silierung auf den Futterwert erklären konnten. Es wurde deshalb empfohlen, um Fortschritte in der Eingrenzung des optimalen Entwicklungsstadiums von Weizen zur Silagegewinnung zu erzielen, Erntegut und Silagen auf Basis der monomeren Kohlenhydratzusammensetzung miteinander zu vergleichen (BEN-GHEDALIA et al. 1995b).

BOURQUIN und FAHEY (1994) sowie TITGEMEYER et al. (1996) wiesen darüber hinaus in exemplarischen Versuchen an Luzerne, Knautgras und Weizenstroh bzw. einer Bartgrasart (*Andropogon gerardii*) nach, dass eine Zellwandanalytik unter Einschluß von Lignin und alkali-labilen phenolischen Monomeren (*p*-Cumarsäure, Ferulasäure) sowie der monomeren Kohlenhydratzusammensetzung geeignet ist, Unterschiede im Futterwert zwischen Pflanzenarten und Pflanzenteilen (BOURQUIN und FAHEY 1994) beziehungsweise Effekte des Entwicklungsstadiums und chemischer Behandlungen auf den Futterwert (TITGEMEYER et al. 1996) genauer als bisher möglich zu quantifizieren und die Vorhersagbarkeit solcher Einflussgrößen zu verbessern.

2.2 Nährstoffverdaulichkeiten bei Rind und Schaf

Ein weiterer wesentlicher Grund für die skizzierten Probleme einer korrekten energetischen Futterbewertung über einen sehr weiten Bereich von Ernährungsniveaus könnte darin liegen, dass in den meisten Futterbewertungssystemen die Grundlage der Energiebewertung von Futtermitteln für Wiederkäuer der standardisierte Verdauungsversuch an Schafen ist (für Deutschland: AUSSCHUSS FÜR BEDARFSNORMEN DER GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE 1991). Aus den *in vivo* ermittelten Verdaulichkeiten der nach dem Weender Verfahren analysierten Rohnährstoffe wird der Energiegehalt über Schätzgleichungen berechnet (GfE, 2001). Diese Vorgehensweise kann unter drei grundsätzlichen Gesichtspunkten kritisch betrachtet werden:

- Die Anzahl an Versuchen, die an Schaf und Rind unter streng übereinstimmenden Bedingungen (Rationen, Ernährungsniveau, Umwelt) durchge-

führt wurden, ist vergleichsweise gering (COLUCCI et al. 1989).

- Bei der Ableitung der Energiegehalte von Futtermitteln aus der Gesamtverdaulichkeit wird nicht berücksichtigt, dass der Anteil der in den Vormägen fermentierten Energie an der gesamten Verdauung keine konstante Größe ist. Da aber bei hohen Leistungen Ausmaß und Geschwindigkeit der Bereitstellung energie- und stickstoffliefernder Substanzen für die mikrobielle Synthese in den Vormägen begrenzend für die Leistung sein können, ist eine differenzierte Betrachtung der Verdauung von energieliefernden Substanzen, d. h. vor allem Kohlenhydraten, und Rohprotein in den Vormägen und im gesamten Verdauungstrakt erforderlich. Weiterführende Aspekte zu dieser Problematik wurden in den beiden vergangenen Jahren im Rahmen der "Viehwirtschaftlichen Fachtagung" bereits vorgestellt (SÜDEKUM 1999, SCHWARZ 2000).
- Obwohl eine generelle Übereinstimmung der Verdauungsleistungen von Schaf und Rind unterstellt wird und experimentell vielfach belegt ist (Quellenangaben bei STEINGASS et al. 1994), berichteten andere Autoren (LINDGREN 1981, MERTENS und ELY 1982), dass Schafe Rationen mit einer Verdaulichkeit der Trockenmasse von über 66 % besser und solche mit einer geringeren Verdaulichkeit schlechter als Rinder verdauten.

Im folgenden Abschnitt soll am Beispiel von Winterweizen-Ganzpflanzensilagen verdeutlicht werden, dass selbst die angeführten differenzierteren Befunde von LINDGREN (1981) sowie MERTENS und ELY (1982) nicht verallgemeinerungsfähig sind. Der Futterwert von Getreide-Ganzpflanzensilagen ist in den letzten Jahren von mehreren Arbeitsgruppen weltweit intensiv untersucht worden. An Winterweizen-Ganzpflanzensilagen wurden Schaf-Rind Vergleiche von KIRCHGESSNER et al. (1989) durchgeführt. Die Ganzpflanzen wurden zu drei verschiedenen Entwicklungsstadien des Weizens (Mitte bis Ende der Milchreife, vor Beginn der Teigreife, Mitte der Teigreife) einsiliert und anschließend an Färsen und Hammel auf einem Ernährungsniveau entsprechend

dem 1,1 - 1,2fachen des energetischen Erhaltungsbedarfs verfüttert. Das Entwicklungsstadium des Weizens hatte nur bei den Färsen einen Einfluss auf die Verdaulichkeiten der organischen Masse. Sie verdauten die spät geerntete Variante schlechter als die beiden früher geernteten Silagen. Dagegen bestand zwischen den Tierarten bei allen drei Silagen ein deutlicher Unterschied zugunsten der Schafe, die Verdaulichkeiten der organischen Masse zwischen 64,4 und 66,6 % erzielten, während die korrespondierenden Werte bei den Rindern nur 57,5 - 61,8 % betragen. In eigenen Versuchen (SÜDEKUM et al. 1995) wurden bei Aufnahme von Winterweizen-Ganzpflanzensilagen entsprechend dem energetischen Erhaltungsbedarf trotz des erheblich höheren Niveaus der Verdaulichkeitswerte (> 70 %) die signifikant höheren Werte an den Rindern ermittelt. Neuere Befunde von PEX et al. (1996) und SÜDEKUM et al. (2000) ergaben ebenfalls eine Überlegenheit von Rindern gegenüber Schafen in der Verdauung von energiereichen Maissilagen (mit Ausnahme einer spät geernteten Variante mit einem Trockenmassegehalt von 39 %, die von beiden Spezies gleich verdaut wurde) beziehungsweise einer gemischten Rauhfutter:Konzentratfütteration. Aufgrund der letztgenannten Arbeiten kann nicht vermutet werden, dass die den Befunden von LINDGREN (1981) sowie MERTENS und ELY (1982) konträr entgegengesetzten Schaf-Rind Differenzen der Verdaulichkeiten von Winterweizen-Ganzpflanzensilagen ein auf dieses Futtermittel beschränkter Sonderfall sind.

Neben der Verdaulichkeit (~Energiekonzentration) ist der *ad libitum*-Verzehr die entscheidende Bestimmungsgröße für das Energielieferungsvermögen und Leistungspotential von Grün- und Rauhfuttermitteln in Wiederkäuerrationen. Wird die *ad libitum*-Aufnahme vergleichend an verschiedenen Wiederkäuerspezies untersucht oder sollen die an einer Tierart ermittelten Werte auf eine andere übertragen werden, dann kommt der Bezugsbasis für die Trockenmasseaufnahme wegen der großen Unterschiede in den Lebendmassen, wie sie z. B. zwischen Schaf und Rind bestehen, eine besondere Bedeutung zu. Traditionell

wurde für Schaf-Rind Vergleiche in Europa die metabolische Körpergröße, d. h. die Lebendmasse^{0,73} (BRODY 1945) oder Lebendmasse^{0,75} (KLEIBER 1961), verwendet, während Forscher in Nordamerika die Trockenmasseaufnahmen auf die Lebendmasse^{1,0} bezogen (MERTENS 1994). COLBURN und EVANS (1968) fanden an Jersey-Ochsen, die Knautgras- und Luzerne-Heu aufnahmen, dass die beste Bezugsgröße die Lebendmasse^{0,54} war, wogegen australische und neuseeländische Autoren häufig unter Bezug auf eine grundlegende Arbeit von GRAHAM (1972) als Potenz 0,9 oder 0,92 verwendeten. Je nach Bezugsbasis variiert deshalb die Größenordnung von Speziesdifferenzen erheblich. Eine retrospektive Umrechnung von publizierten Werten auf eine einheitliche Basis ist in der Regel nicht möglich, weil diese mit den Einzeltierwerten erfolgen müsste, die jedoch nicht publiziert sind und häufig auch nicht mehr verfügbar sein werden. Noch kritischer wird dieser an sich schon problematische Sachverhalt durch die Tatsache, dass nicht nur die Größenordnung, sondern auch das Vorzeichen der Differenzen von der Wahl der Bezugsgröße abhängt. Dies wird zunächst an zwei Beispielen demonstriert, bevor nachfolgend der Versuch unternommen werden soll, einen Ansatz zur Lösung des skizzierten Problems abzuleiten.

SÜDEKUM et al. (1995) ermittelten *ad libitum*-Aufnahmen von Winterweizen-Ganzpflanzensilage-Rationen an Hammeln und Ochsen. Bezogen auf die Lebendmasse^{1,0} nahmen die Schafe 7 g pro kg oder 35 % mehr organische Masse auf als die Rinder (26 versus 19 g/kg im Mittel von drei Winterweizen-Ganzpflanzensilage-Rationen. RÖH (1992) verwendete das gleiche Datenmaterial, bezog die Aufnahmen an organischer Masse aber auf die metabolische Körpergröße und fand, dass die Schafe um 11 g/kg^{0,75} oder 15 % niedrigere Aufnahmen an organischer Masse aufwiesen als die Rinder (73 versus 84 g/kg^{0,75}). Je nach Bezugsgröße konnte somit eine höhere oder niedrigere *ad libitum*-Aufnahme der Silagen durch Schafe gegenüber Rindern ermittelt werden. Ähnliche Befunde wurden bereits früher von AMANING-

KWARTENG et al. (1986) mitgeteilt. Bezogen auf die Lebendmasse^{1,0}, verzehrten Färsen und Hammel pro Tag ähnliche Mengen an NaOH-behandeltem Weizenstroh, das allein oder mit protein- oder energiereichen Ergänzungsfuttermitteln vorgelegt wurde. Wurde die Trockenmasseaufnahme jedoch auf die metabolische Körpergröße bezogen, war die *ad libitum*-Aufnahme bei den Färsen fast 50 % höher als bei den Hammeln.

Das Konzept, als Maßstab für den Vergleich der Futterraufnahmen von Spezies unterschiedlicher Lebendmassen die metabolische Körpergröße anzulegen, beruhte auf den Annahmen, daß Tiere Zugang zu energiereichem Futter hatten und der Energiebedarf die Futterraufnahme begrenzte. Da der Energiebedarf mit der metabolischen Körpergröße korreliert, wurde diese als geeignete Vergleichsbasis betrachtet (KLEIBER 1961). Das Alternativkonzept, als Bezugsgröße die Lebendmasse^{1,0} zu postulieren, wurde abgeleitet aus der Beziehung zwischen dem Darminhalt und der Lebendmasse von Herbivoren. PARRA (1978) sowie DEMMENT und VAN SOEST (1985) fassten Daten von Pflanzenfressern zusammen, deren Lebendmassen zwischen 10^{-2} bis über 10^3 kg variierten und berichteten, dass die Masse an Darminhalt mit der Lebendmasse^{1,032} korrelierte. Die Potenz war von 1 nicht signifikant verschieden. Zum gleichen Befund kamen in einer unabhängigen Studie CLEMENS und MALOIJY (1983). Direkte Speziesvergleiche an Schafen und Rindern, die 10 verschiedene Rationen mit Verdaulichkeiten der Trockenmasse zwischen 46 und 58 % erhielten, zeigten, dass auch die Pansenfüllung (kg) proportional zur Lebendmasse^{1,0} war (HENDRICKSEN et al. 1981, POPPI et al. 1981). Aus den Befunden von PARRA (1978) sowie DEMMENT und VAN SOEST (1985) schloss VAN SOEST (1994), dass die Futterraufnahme auf dieselbe Größe bezogen werden sollte wie die Kapazität des Verdauungstraktes. Diese Schlussfolgerung impliziert, dass eine Begrenzung der Futterraufnahme in Bezug zur Darmfüllung steht und die Tiere im Fall freier Futterwahl diejenigen Rationen bevorzugen würden, welche die Kapazität des Ver-

dauungstraktes, den Verdauungsbrei zu verarbeiten, nicht überlasten. Um die beiden unterschiedlichen Ansätze zumindest scheinbar miteinander in Einklang zu bringen, liegt es nahe, energiereiche Futtermittel, bei denen eine Limitierung der Futterraufnahme durch den Energiebedarf angenommen wird, auf der Basis der metabolischen Körpergröße zu vergleichen, und für energiearme Futtermittel die Lebendmasse mit der Potenz 1 als Basisgröße zu verwenden, weil eine physikalische Begrenzung der Futterraufnahme unterstellt wird. MERTENS (1994) konnte anhand einer Modellkalkulation für Schafe divergierender Lebendmassen (40 versus 60 kg) für faserreiche (= energiearm, Trockenmasseaufnahme pro kg Lebendmasse^{1,0}) und faserarme (= energiereich, Aufnahme auf die metabolische Körpergröße bezogen) Rauhfutter zeigen, dass eine solche Vorgehensweise die tierbedingte Variation in den Trockenmasseaufnahmen deutlich reduzierte. Der Übergang zwischen energiereichen und energiearmen Rauhfuttern liegt nach den von MERTENS (1994) illustrierten Daten bei einem Gehalt an Zellwandverbindungen (NDF) von ca. 70 % in der Trockenmasse.

Unter der Voraussetzung, daß aus Sicht der Futterbewertung das einem Futtermittel zuzuordnende Futterraufnahmepotential, das wesentlich von Variablen der Darmfüllung verursacht wird, entscheidend ist und nicht der Energiebedarf des Wiederkäuers, erscheint es angemessen, die *ad libitum*-Aufnahme von Grün- und Rauhfuttermitteln für Wiederkäuer auf die Lebendmasse mit der Potenz 1 zu beziehen, um die durch unterschiedliche Körpergrößen und Lebendmassen bedingte Variation in der Futterraufnahme zu minimieren (MERTENS 1994).

Der Speziesvergleich der Nährstoffverdaulichkeiten von drei Winterweizen-Ganzpflanzensilage-Rationen bei zwei unterschiedlichen Ernährungsniveaus (SÜDEKUM et al. 1995) lässt für die untersuchten Rationen aufgrund der unterschiedlichen Ausprägung spezies- und rationsbedingter Verdaulichkeitsdifferenzen in Abhängigkeit vom Ernährungsniveau die Schlussfolgerung zu, dass der Futterwert an der Tierart und bei dem Ernährungsniveau ermittelt werden sollte, für das es bestimmt ist. Zum

gleichen Schluss kamen COLUCCI et al. (1989), die Rationen mit unterschiedlichen Konzentratfutter zu Rauhfutter-Verhältnissen (20:80 bis 70:30) bei zwei Ernährungsniveaus an Milchkühen und Hammeln untersuchten. Wenngleich davon ausgegangen werden kann, dass eine rations- und tierartsspezifische Futterwertbestimmung eine größere Zuverlässigkeit in der Schätzung und Vorhersagbarkeit des Futterwertes von Grün- und Rauhfuttermitteln bewirkt, darf nicht außer Acht gelassen werden, dass die direkte Wirkung des einem Futtermittel zuzuordnenden Aufnahmepotentials weder durch den Energie- oder Zellwandgehalt bestimmt wird noch durch Variablen, die einen Hinweis auf die physikalische Struktur von Futtermitteln geben, weil die Tiere für diese Faktoren keine Sinneswahrnehmung haben (GROVUM 1988). Für die direkte Wirkung sind vielmehr unter anderem Faktoren wie die Dehnung des Verdauungstraktes, die Osmolarität der Pansenflüssigkeit und die Konzentrationen an kurzkettigen Fettsäuren im Panseninhalt verantwortlich (GROVUM 1988), die jedoch nur selten im Zusammenhang mit Studien zur Bestimmung der *ad libitum*-Aufnahmen erfasst werden (können).

2.3 Energiebedarf

Während die bisherigen Ausführungen, ausgehend von den vergleichenden Studien von KAUSTELL et al. (1997) sowie VERMOREL und COULON (1998), besonders die Zuverlässigkeit der geltenden energetischen Futterbewertungsverfahren kritisch beleuchten, konzentrierten sich AGNEW und YAN (2000) in ihrer vergleichenden Übersichtsarbeit, die außerordentlich umfangreiche Daten eigener neuer Versuche der Autoren beinhaltet, auf die Frage, inwieweit geltende Energiebewertungssysteme den Energieumsatz beziehungsweise Energiebedarf der Milchkuh zuverlässig einschätzen. Die Autoren stellten fest, dass der Energieerhaltungsbedarf heutiger Genotypen um etwa 25 % höher liegt als in den aktuellen Energiebewertungssystemen angegeben, als deren experimentelle Basis Studien aus den 60er und 70er Jahren des letzten Jahrhunderts dienten. Eine Ursache für den deutlich höheren Erhaltungsbedarf der "modernen" Milchkühe könnte nach AGNEW

und YAN (2000) sein, dass höher leistende Tiere einen höheren Anteil der Körpermasse in Form von Protein enthalten, welches intensiveren Synthese- und Abbauprozessen unterliegt als Körperfett und damit einen höheren energetischen Erhaltungsbedarf aufweist. Als problematisch schätzten AGNEW und YAN (2000) ein, dass alle betrachteten europäischen und US-amerikanischen Energiebewertungssysteme mit einem konstanten Wert für den Energiegehalt von Körpermasseveränderungen rechnen, wohingegen TAMMINGA et al. (1997) zeigen konnten, dass der Energiegehalt pro Einheit mobilisierter Körpermasse in den ersten acht Wochen der Laktation deutlich zunimmt, woraus Konsequenzen für den Energiebedarf und die Energieversorgung der Milchkühe resultieren. Nach AGNEW und YAN (2000) ist weiterhin kritisch zu sehen, dass in allen Energiebewertungssystemen davon ausgegangen wird, dass der Zellwand-(Faser-)Gehalt der Ration ohne Einfluss auf die Höhe des energetischen Erhaltungsbedarfes ist, während die Autoren – ausgehend von eigenen Gesamtstoffwechselversuchen und Literaturergebnissen zum Energieumsatz spezifischer Organe (Verdauungstrakt, Leber, Nieren) – postulieren, dass die Aufnahme faserreicher Rationen einen höheren Energieerhaltungsbedarf der Milchkühe bedingt.

3. Proteinbewertung

3.1 Vergleich von Proteinbewertungssystemen

In einem Vergleich des niederländischen mit dem neuen deutschen Proteinbewertungssystem für Milchkühe konnte gezeigt werden, dass für Rationen auf Basis Grassilage und Maissilage, die mit unterschiedlichen Konzentratfuttern ergänzt wurden, mit der zentralen Proteinwertkenngröße "nutzbares Rohprotein am Duodenum" (nXP) der Bedarf der Milchkühe adäquat gedeckt werden konnte und Milchviehrationen zufriedenstellend bewertet wurden (SPIEKERS et al. 1998). Größere Abweichungen zwischen vorhergesagten und tatsächlich gemessenen Leistungen für beide Proteinbewertungssysteme fanden

ETTLE und SCHWARZ (2001), die darüber hinaus demonstrieren konnten, dass die Vorhersagegenauigkeit zwischen Rationstypen stark variiert. Sowohl das deutsche nXP- als auch das niederländische DVE-System führten zu einer starken Überschätzung der tatsächlichen Milchproteinleistung bei Grünfutterrationen (nXP: 144 g; DVE: 223 g). Gras- und Maissilage-Rationen wurden zwar ebenfalls überschätzt, die Differenz zwischen geschätzter und gemessener Milchproteinmenge betrug aber bei den Maissilagen nur 80 g (nXP) beziehungsweise 48 g/Tag (ETTLE und SCHWARZ 2001).

In umfassenden Studien verglichen STEINWIDDER und GRUBER (1997) sowie TUORI et al. (1998) verschiedene europäische Proteinbewertungssysteme und stellten fest, dass zum Teil erhebliche Unterschiede zwischen den Systemen in der Berechnung des Bedarfs und der Versorgung der Tiere mit Protein (Aminosäuren) bestehen. Die Autoren verwendeten für den Systemvergleich Rationen, die als wirtschaftseigene Futtermittel entweder ausschließlich Heu und feuchte Grassilagen (mittlerer Trockenmassegehalt 23 %; TUORI et al. 1998) oder Heu, Grassilagen und maximal 40 % Maissilage in der Trockenmasse der Grundration (STEINWIDDER und GRUBER 1997) enthielten. Da in zahlreichen Regionen Europas Rationen gefüttert werden, die höhere Anteile an Maissilage aber – häufig aus witterungsbedingten Gründen – kein Heu enthalten, wird im Folgenden als Ergänzung zu den wesentlich umfangreicheren Arbeiten von STEINWIDDER und GRUBER (1997) sowie TUORI et al. (1998) das Beispiel zweier Rationen angeführt, deren wirtschaftseigener Futtermittelanteil aus angewelkter Grassilage und Mais im Verhältnis von 20:80 beziehungsweise 80:20 bestand (KLINCKHAMER 1998). Das Rauhfutter zu Konzentratfutter-Verhältnis beider Rationen betrug 60:40 in der Trockenmasse. Die *Tabellen 1* und *2* geben einen Überblick über die Zusammensetzung und die Kenngrößen der Rationen gemäß den Angaben der DLG-Futterwerttabelle für Wiederkäuer (UNIVERSITÄT HOHENHEIM –DOKUMENTATIONSTELLE

1997). Der Vergleich erfolgte unter folgenden Voraussetzungen:

- Es wurden nur Futtermittel ausgewählt, für die – unter der Maßgabe ähnlicher Trockenmasse- und (Roh-)Nährstoffgehalte – in den Futtermitteltabellenwerken der jeweiligen Länder Angaben zu den Energie- und Proteinwertkenngrößen zu finden waren. Dies wurde für erforderlich gehalten, weil Futterwertkenngrößen und Angaben zum Bedarf der Tiere in einem gegebenen Futterbewertungssystem nicht unabhängig voneinander betrachtet werden dürfen.
- Die beiden Rationen auf Basis Mais- und Grassilage sollten die gleichen Komponenten enthalten und sich nur in den Anteilen der Komponenten an der Rations-Trockenmasse unterscheiden.
- Die Rationen sollten – gemäß den Vorgaben des nXP-Systems – den Bedarf einer Milchkühe von 600 kg Lebendmasse für Erhaltung und eine tägliche Milchleistung von 30 kg erfüllen. Die *Tabellen 1* und *2* weisen aus, dass diese Vorgabe mit Ausnahme des Überschusses an im Pansen abgebautem Rohprotein in der Grassilageration (*Tabelle 2*; RNB 104 g/Tag) erfüllt wurde. Ein Ausgleich des hohen positiven RNB-Wertes konnte unter den angeführten Vorgaben nicht erreicht werden, beeinträchtigt aber nicht den Vergleich der Proteinbewertungssysteme.

Wie den *Tabellen 3* und *4* zu entnehmen ist, zeigen beide Rationen für den Vergleich der Proteinbewertungssysteme hinsichtlich der Proteinbedarfsdeckung der Rationen das gleiche Grundmuster. Das französische System weist eine sehr gute Übereinstimmung mit dem deutschen System auf. Nach dem britischen System wären die Milchkühe in beiden Fällen deutlich übertroffen, wobei die überschüssigen Mengen an umsetzbarem Protein etwa einer Milchmenge von 4,9 (Maissilage-Ration) beziehungsweise 8,4 kg Milch (Grassilage-Ration) pro Tag entsprechen würden (KLINCKHAMER 1998). Dem gegenüber weisen beide Rationen nach dem niederländischen System einen Mangel an darmverdaulichem Eiweiß auf, der einer Milchmenge von 3 (Maissilage-Ration) beziehungsweise 2,4 kg (Gras-

Tabelle 1: Ausgeglichene Maissilageration in Bezug auf den Energie- und Proteinbedarf einer laktierenden Milchkuh (600 kg Lebendmasse, 30 kg Milch pro Tag) bei Anwendung des nXP-Systems und Verwendung der Angaben der DLG-Futterwerttabelle für Wiederkäuer¹ (KLINCKHAMER 1998)

Futtermittel	TM (%) Anteil		Variablen ²				
			XP	UDP	NEL	nXP	RNB
Grassilage	35	120	158	15	6,3	130	4
Maissilage	21	480	93	25	6,0	129	-6
Gerste	88	120	119	25	8,2	165	-7
Rapsextraktionsschrot	88	100	394	25	6,9	213	29
Sojaextraktionsschrot	89	50	510	35	8,6	308	32
Trockenschnitzel	90	130	99	45	7,4	156	-9
Pro kg Ration	49,8	1000	156	27	6,7	154	0,09
Insgesamt pro Tag (19,4 kg TM-Aufnahme)					131 MJ	2999 g	1,8 g

¹ UNIVERSITÄT HOHENHEIM - DOKUMENTATIONSSTELLE (1997)

² TM: Trockenmasse; Anteil: Anteil des Futtermittels an der Rations-TM (g/kg TM); XP: Rohprotein (g/kg TM); UDP: Unabbaubares Rohprotein (% des XP); NEL: Nettoenergie Laktation (MJ/kg TM); nXP: Nutzbares Rohprotein am Duodenum (g/kg TM); RNB: Ruminale Stickstoffbilanz (g/kg TM).

Tabelle 2: Ausgeglichene Grassilageration in Bezug auf den Energie- und Proteinbedarf einer laktierenden Milchkuh (600 kg Lebendmasse, 30 kg Milch pro Tag) bei Anwendung des nXP-Systems und Verwendung der Angaben der DLG-Futterwerttabelle für Wiederkäuer¹ (KLINCKHAMER 1998)

Futtermittel	TM (%) Anteil		Variablen ²				
			XP	UDP	NEL	nXP	RNB
Grassilage	35	480	158	15	6,3	130	4
Maissilage	21	120	93	25	6,0	129	-6
Gerste	88	20	119	25	8,2	165	-7
Rapsextraktionsschrot	88	180	394	25	6,9	213	29
Sojaextraktionsschrot	89	20	510	35	8,6	308	32
Trockenschnitzel	90	180	99	45	7,4	156	-9
Pro kg Ration	55,1	1000	188	24	6,7	154	5,3
Insgesamt pro Tag (19,6 kg TM-Aufnahme)					131 MJ	3005 g	104 g

¹ UNIVERSITÄT HOHENHEIM - DOKUMENTATIONSSTELLE (1997)

² TM: Trockenmasse; Anteil: Anteil des Futtermittels an der Rations-TM (g/kg TM); XP: Rohprotein (g/kg TM); UDP: Unabbaubares Rohprotein (% des XP); NEL: Nettoenergie Laktation (MJ/kg TM); nXP: Nutzbares Rohprotein am Duodenum (g/kg TM); RNB: Ruminale Stickstoffbilanz (g/kg TM).

silage-Ration) pro Tag entspricht. Allerdings zeigen beide Rationen nach dem niederländischen System einen deutlichen Überschuss an im Pansen abgebautem Rohprotein (OEB-Werte), was auf Unterschiede in der Bewertung der Rohprotein-Abbaubarkeit der Futtermittel im Pansen und (oder) eine andere Bewertung der Futtermittel hinsichtlich ihres Energie- und Stickstofflieferungsvermögens für die mikrobielle Rohproteinsynthese in den Vormägen schließen lässt.

Insgesamt unterstützt der Vergleich der Proteinbewertungssysteme anhand der beiden silagereichen Rationen (KLINCKHAMER 1998) die Befunde, dass erhebliche Unterschiede zwischen Proteinbewertungssystemen in der Bewertung identischer Rationen bestehen (STEINWIDDER und GRUBER 1997, TUORI et al. 1998). Weiterhin lässt sich

der Vergleich aber auch so interpretieren, dass es sicher möglich ist, auf Basis verschiedener Systeme eine angestrebte Leistung durch Maßnahmen der gezielten Rationsgestaltung zu erreichen, es aber vermieden werden muss, für die gleichen Rationen von einem System zum anderen zu wechseln, weil Futterbewertung, Bedarfsschätzung und Versorgungsempfehlungen nicht unabhängig voneinander betrachtet werden dürfen.

3.2 Weiterentwicklung der Protein- und Aminosäurebewertung

FLACHOWSKY et al. (2000) zeigten, dass für die Mehrzahl von Milchkuhrationen die Energieversorgung den begrenzenden Faktor darstellt, bei Leistun-

gen ab 40 kg/Tag jedoch in zunehmendem Maße die Proteinversorgung (nXP) kritisch wird. Mit dem nachfolgende Ausführungen wird versucht, die Bereiche des deutschen Proteinbewertungssystems heraus zu arbeiten, die bisher noch als unzureichend entwickelt angesehen werden und in denen eine Erweiterung und Weiterentwicklung aus Sicht des Verfassers am meisten Fortschritt erwarten lässt, das heißt eine noch zuverlässigere Schätzung des Proteinwertes von Futtermitteln beziehungsweise des Proteinbedarfs der Milchkuh:

- Der Bezug der mikrobiellen Rohprotein-Syntheseleistung im Pansen auf die umsetzbare Energie oder im Gesamtrakt verdaute organische Masse lässt Unterschiede im Ort der Verdauung und Absorption energieliefernder Substanzen ebenso unberücksichtigt wie Unterschiede in Ausmaß und Geschwindigkeit des Abbaus im Pansen. Letzteres gilt auch für das Rohprotein. Die mikrobielle Syntheseleistung lässt sich durch eine synchrone Versorgung der Mikroorganismen mit Energie und N-Verbindungen verbessern, wozu jedoch Kenntnisse über ruminale Abbaucharakteristika der Futtermittel vorliegen müssen;
- Daten zum Ausmaß des Rohprotein-Abbaus im Pansen sind mittlerweile für viele Einzelfuttermittel in Futterwerttabellen dokumentiert. Diese Größen sind jedoch nur unter großem experimentellen Aufwand *in vivo* zu ermitteln, für Mischfutter liegen keine Werte vor und bei den Einzelfuttermitteln bestehen erhebliche Lücken hinsichtlich einer sicheren Datenbasis.

In beiden genannten Gebieten gibt es zur Zeit in Deutschland umfangreiche Versuche vor allem an Raps- und Sojaextraktionsschroten einschließlich "geschützter" Proteinträger in Kooperationsprojekten mit Beteiligten aus Bonn, Braunschweig, Stuttgart-Hohenheim und Kiel. Dabei wird als zweites zentrales Anliegen neben einer zuverlässigeren Einschätzung des Proteinwertes der Futtermittel der Frage nachgegangen, mit welchen Labormethoden, die deutlich weniger Aufwand erfordern als *in vivo*-Versuche an dünnarmfistulierten Tieren, der Proteinwert am zuverlässigsten

Tabelle 3: Proteinwert einer Maissilage¹ nach verschiedenen europäischen Proteinbewertungssystemen (KLINCKHAMER 1998)

Land	Variable ²	Bedarf g/Tag	Lieferung g/Tag	Differenz g/Tag
Deutschland	nXP	3000	2999	-1
	RNB	> 0	1,8	1,8
Niederlande	DVE	1741	1592	-149
	OEB	> 0	241	241
Frankreich	PDI	1834	1814	-20
Vereinigtes Königreich	MP	1663	1889	226

¹ 480 g Maissilage-Trockenmasse/kg Rations-Trockenmasse; zur Rationszusammensetzung siehe *Tabelle 1*.

² nXP: Nutzbares Rohprotein am Duodenum; RNB: Ruminale Stickstoffbilanz; DVE: Darmverdauliches Eiweiß; OEB: Unbeständige Eiweißbilanz; PDI: Im Dünndarm verdautes Protein; MP: Umsetzbares Protein; alle Angaben in g/Tag.

Tabelle 4: Proteinwert einer Grassilage¹ nach verschiedenen europäischen Proteinbewertungssystemen (KLINCKHAMER 1998)

Land	Variable ²	Bedarf g/Tag	Lieferung g/Tag	Differenz g/Tag
Deutschland	nXP	3000	3005	5
	RNB	> 0	104	104
Niederlande	DVE	1741	1626	-115
	OEB	> 0	871	871
Frankreich	PDI	1834	1836	2
Vereinigtes Königreich	MP	1663	2049	386

¹ 480 g Grassilage-Trockenmasse/kg Rations-Trockenmasse; zur Rationszusammensetzung siehe *Tabelle 2*.

² nXP: Nutzbares Rohprotein am Duodenum; RNB: Ruminale Stickstoffbilanz; DVE: Darmverdauliches Eiweiß; OEB: Unbeständige Eiweißbilanz; PDI: Im Dünndarm verdautes Protein; MP: Umsetzbares Protein; alle Angaben in g/Tag.

beurteilt werden kann. Es werden Verfahren mit und ohne Verwendung von Pansensaft geprüft.

Zur Deckung des Proteinbedarfs trockenstehender Kühe empfiehlt die GfE (2001) für den geburtsnahen Zeitraum (3. Woche ante partum bis zum Kalben) eine Rohprotein-Versorgung in Höhe von 1170 g/Tag. Unterstellt man eine tägliche Trockenmasse-Aufnahme von 10 kg, entspricht dies einem Rohprotein-Gehalt von knapp 12 % in der Trockenmasse. Versuche amerikanischer Autoren weisen zum einen darauf hin, dass diese Empfehlungen insbesondere für erstkalbende Tiere zu knapp sein könnten und unterstreichen zum anderen, dass wegen der häufig nicht ausreichenden Futteraufnahmen im geburtsnahen Zeitraum gezielt höhere Anteile an unabbaubarem (besser unabgebautem) Rohprotein (UDP) in den Rationen von Vorteil sind, um die Aminosäurenversorgung der Kuh sicher zu stellen. VAN SAUN et al. (1993) demonstrierten die Bedeutung

einer ausreichenden Rohprotein- und vor allem UDP-Versorgung kurz vor dem Kalben an erstlaktierenden Holstein Friesian-Kühen. Für drei Wochen vor dem erwarteten Kalbetermin wurden zwei Rationen verfüttert, die beide zu 2/3 aus Gras-/Leguminosensilage und zu 1/3 aus Konzentratfutter bestanden. Eine Ration enthielt 12,3 % Rohprotein in der Trockenmasse, wovon 27 % UDP waren. Die andere Ration enthielt 15,3 % Rohprotein mit 39 % UDP, so dass die Gehalte an im Pansen abbaubarem Rohprotein in beiden Rationen mit etwa 9 % in der Trockenmasse übereinstimmten. In den ersten sechs Laktationswochen gaben beide Gruppen die gleiche Menge an Milch, aber die Gruppe mit dem höheren Rohprotein- und UDP-Gehalt erzeugte mehr Milcheiweiß. Außerdem war die mittlere Körperkonditionsbewertung nach dem "body condition score" über den gesamten Beobachtungszeitraum bei den Tieren mit der höheren Rohproteinversorgung mit Werten von 3,24 günstiger als bei der anderen Grup-

pe (im Mittel 3,03). VAN SAUN (1993) berichtete, dass höhere UDP-Anteile am Rohprotein der Ration vor dem Kalben bei Milchkühen ab der zweiten Laktation unter anderem das Auftreten klinischer Ketosen verminderte. SANTOS et al. (2001) verglichen Rationen mit 12,7 % Rohprotein (36 % UDP) und 14,7 % Rohprotein (40 % UDP) in den letzten drei Wochen der Trächtigkeit bei erstkalbenden Tieren und Kühen ab der zweiten Trächtigkeit und stellten positive Effekte der Rohprotein reichen Ration bei den Erstkalbenden fest. Es muss betont werden, dass auch bei der Ration mit 12,7 % Rohprotein die tägliche Rohprotein-Aufnahme aufgrund der hohen Trockenmasse-Aufnahmen (12,3 kg) bei über 1500 g lag. Sicher sind die zitierten Befunde nicht direkt auf andere Produktionssysteme übertragbar, sie unterstreichen aber, dass die Protein- (und Energie-)versorgung vor dem Kalben immer noch zu den Abschnitten im Laktationszyklus zählen, die intensivere Forschungsarbeit lohnend erscheinen lässt.

Aus Sicht des Verfassers sollten zunächst konkrete Fortschritte hinsichtlich einer zuverlässigeren Beurteilung des Proteinlieferungsvermögens von Futtermitteln (nXP, UDP) erzielt werden, bevor die Frage intensiver bearbeitet wird, inwieweit die Berücksichtigung eines spezifischen Aminosäurenbedarfs analog dem Vorgehen bei monogastrischen Tierarten (Huhn, Schwein) auch für die Rationsgestaltung der Milchkuh relevant ist. Beim Herangehen an das Thema Aminosäurenversorgung stehen dann zwei Fragen im Vordergrund:

- Gilt auch bei sehr hohen Futteraufnahmen und damit einhergehenden hohen Passageraten aus den Vormägen die weitgehende Konstanz des Aminosäurenmusters am Duodenum (LEBZIEN 1997);
- Stimmt das Aminosäurenmuster des UDP mit dem des Futter-Rohproteins überein?

Die zweite Fragestellung ist sicher dann von zunehmender Bedeutung, wenn Rationen mit höheren Anteilen an "geschütztem" Protein, d. h. hohen UDP-Anteilen, eingesetzt werden. Eigene Untersuchungen an Rapsfuttermitteln (SÜDEKUM und ANDREE 1997) kön-

nen dahingehend interpretiert werden, dass das Aminosäuremuster eines chemisch (mit Formaldehyd) vor dem Abbau im Pansen geschützten Rapsextraktionsschrotes weitgehend dem des Futterrohproteins entspricht, während Rapssaat und ein handelsübliches, "ungeschütztes" Rapsextraktionsschrot deutlich veränderte Aminosäuremuster im UDP nach 2, 8, 24 oder 48 Stunden Inkubation der Futtermittel in den Vormägen aufwies.

4. Fazit

Die Weiterentwicklung und Erweiterung von Futterbewertungssystemen für Milchkühe erfordert als Voraussetzung zur besseren quantitativen Erfassung des Energie- und Proteinlieferungsvermögens von Futtermitteln zunächst in drei Bereichen Fortschritte:

- In der Analytik von Zellwand(kohlenhydrat)fraktionen;
- In der zuverlässigen Beurteilung übereinstimmender und divergierender Verdaulichkeiten von Futtermitteln bei Schaf und Rind;
- In der Quantifizierung des Nährstoffabbaus in den Vormägen.

Erst wenn in diesen Bereichen eine genauere und zuverlässigere Bewertung von Futtermitteln möglich ist, können weitergehende, in jüngerer Zeit verstärkt diskutierte Ziele von Futterbewertungssystemen – Vorhersage von Futteraufnahme, tierischer Leistung und Zusammensetzung tierischer Produkte unter Verwendung dynamischer, mechanistischer Tiermodelle – realisiert werden.

Von Seiten des Bedarfs der Milchkühe ist besonders der geburtsnahe Zeitraum sowohl vor als auch nach der Geburt des Kalbes im Hinblick auf den Energie- und Proteinbedarf noch nicht völlig befriedigend charakterisiert. Dies gilt im Hinblick auf den Proteinbedarf vor allem für Tiere in der ersten Trächtigkeit, für die Hinweise vorliegen, dass eine höhere als bisher empfohlene Proteinzufuhr – bei gleichzeitiger Anhebung des Anteils an im Pansen nicht abgebautem Rohprotein (UDP) – Leistung und Körperkondition der Tiere zu stabilisieren vermag.

5. Literatur

- AGNEW, R.E. und T. Yan, 2000: Impact of recent research on energy feeding systems for dairy cattle. *Livest. Prod. Sci.* 66, 197-215.
- AMANING-KWARTENG, K., R.C. KELLAWAY, J.C. SPRAGG und A.C. KIRBY, 1986: Relative intakes, digestibility and bacterial protein-synthesis by sheep and cattle fed high-roughage diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 16, 75-87.
- AUSSCHUSS FÜR BEDARFSNORMEN DER GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE (Hrsg.), 1991: Leitlinien für die Bestimmung der Verdaulichkeit von Rohnährstoffen an Wiederkäuern. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 65, 229-234.
- BEN-GHEDALIA, D., A. KABALA und J. MIRON, 1995a: Composition and in-vitro digestibility of carbohydrates of wheat plants harvested at bloom and soft-dough stages. *J. Sci. Food Agric.* 68, 111-116.
- BEN-GHEDALIA, D., A. KABALA, J. MIRON und E. YOSEF, 1995b: Silage fermentation and in vitro degradation of monosaccharide constituents of wheat harvested at two stages of maturity. *J. Agric. Food Chem.* 43, 2428-2431.
- BOURQUIN, L.D. und G.C. FAHEY, Jr., 1994: Ruminant digestion and glycosyl linkage patterns of cell wall components from leaf and stem fractions of alfalfa, orchardgrass, and wheat straw. *J. Anim. Sci.* 72, 1362-1374.
- BRODY, S., 1945. *Bioenergetics and Growth*. Hafner Publishing Co., New York.
- CLEMENS, E.T. und G.M.O. MALOIY, 1983: Digestive physiology of East African wild ruminants. *Comp. Biochem. Physiol.* 76A, 319-333.
- COLBURN, M.W. und J.L. EVANS, 1968: Reference base, W^b , of growing steers determined by relating forage intake to body weight. *J. Dairy Sci.* 51, 1073-1076.
- COLUCCI, P.E., G.K. MacLEOD, W.L. GROVUM, L.W. CAHILL und A. McMILLAN, 1989: Comparative digestion in sheep and cattle fed different forage to concentrate ratios at high and low intakes. *J. Dairy Sci.* 72, 1774-1785.
- DEMMENT, M.W. und P.J. VAN SOEST, 1985: A nutritional explanation for body-size patterns of ruminant and non-ruminant herbivores. *Am. Nat.* 125, 641-672.
- ETTLE, T. und F. J. SCHWARZ, 2001: Comparative studies on protein evaluation in dairy cow rations using the nXP and DVE systems. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 10, 136 S.
- FLACHOWSKY, G., P. LEBZIEN und U. MEYER, 2000: Zur Fütterung von Hochleistungskühen. *Züchtungskde.* 72, 471-485.
- FOX, D.G., C.J. SNIFFEN, J.D. O'CONNOR, J.B. RUSSELL und P.J. VAN SOEST, 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy. *J. Anim. Sci.* 70, 3578-3596.
- GFE (AUSSCHUSS FÜR BEDARFSNORMEN DER GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE), 2001: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- GRAHAM, N.McC., 1972: Units of metabolic body size for comparisons amongst adult sheep and cattle. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* 9, 352-355.
- GROVUM, W.L., 1988: Appetite, palatability and control of feed intake. In: D.C. Church (Ed.) *The Ruminant Animal. Digestive Physiology and Nutrition*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 202-216.
- HENDRICKSEN, R.E., D.P. POPPI und D.J. MINSON, 1981: The voluntary intake, digestibility and retention time by cattle and sheep of stem and leaf fractions of a tropical legume. *Aust. J. Agric. Res.* 32, 389-398.
- HUHTANEN, P., 1991: Associative effects of feeds in ruminants. *Norweg. J. Agric. Sci. (Suppl. 5)*, 37-57.
- JUNG, H.G., G.C. FAHEY, Jr. und J.E. GARST, 1983: Simple phenolic monomers of forages and effects of in vitro fermentation on cell wall phenolics. *J. Anim. Sci.* 57, 1294-1305.
- KAUSTELL, K., M. TUORI und P. HUHTANEN, 1997: Comparison of energy evaluation systems for dairy cow feeds. *Livest. Prod. Sci.* 51, 255-266.
- KIRCHGESSNER, M., W.E. HEINZL und F.J. SCHWARZ, 1989: Futterwert von Gersten- und Weizen-Ganzpflanzensilagen für Milchkühe bei unterschiedlichem Erntezeitpunkt. 1. Mitteilung: Inhaltsstoffe, Verdaulichkeiten und Energiegehalte. *Wirtschaftseig. Futter* 35, 171-186.
- KLEIBER, M., 1961: *The Fire of Life. An Introduction to Animal Energetics*. John Wiley and Sons, New York.
- KLINCKHAMER, H., 1998: Vergleich europäischer Proteinbewertungssysteme für Milchkühe. Dipl.-Arbeit, Institut für Tierernährung und Stoffwechselfysiologie, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- LEBZIEN, P., 1997: Zum Einfluss des Futterproteins auf das Aminosäuremuster des Proteins am Duodenum von Wiederkäuern. *Übers. Tierernährg.* 25, 137-153.
- LINDGREN, E., 1981: Prediction of energy value of mixed diets for lactating cows from digestibility experiments with sheep. *Swed. J. Agric. Res.* 11, 177-184.
- MERTENS, D.R., 1994. Regulation of forage intake. In: G. C. Fahey, Jr., M. Collins, D.R. Mertens, L.E. Moser (Eds.) *Forage Quality, Evaluation, and Utilization*. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, 450-493.
- MERTENS, D.R. und L.O. ELY, 1982: Relationship of rate and extent of digestion to forage utilization — a dynamic model evaluation. *J. Anim. Sci.* 54, 895-905.
- MORRISON, I.M., 1972: A semi-micro method for the determination of lignin and its use in predicting the digestibility of forage crops. *J. Sci. Food Agric.* 23, 455-463.
- NEHRING, K. und B. HOFFMANN, 1969: Untersuchungen zur Weiterentwicklung der Futtermittelanalyse. 1. Mitteilung. Die Problematik der Futtermitteluntersuchung. *Arch. Tierernähr.* 19, 561-570.

- NRC (National Research Council), 1989: Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 6th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
- NRC (National Research Council), 2001: Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Press, Oxford.
- PARRA, R., 1978: Comparison of foregut and hindgut fermentation in herbivores. In: G.G. Montgomery (Ed.) The Ecology of Arboreal Herbivores. Smithsonian Institution Press, Washington, DC, 205-229.
- PEX, E.J., F. J. SCHWARZ und M. KIRCHGESSNER, 1996: Zum Einfluß des Erntezeitpunkts von Silomais auf Verdaulichkeit und Energiegehalt von Maissilage bei Rind und Schaf. Wirtschaftseig. Futter 42, 83-96.
- POPPI, D.P., D.J. MINSON und J.H. TERNOUTH, 1981: Studies of cattle and sheep eating leaf and stem fractions of grasses. I. The voluntary intake, digestibility and retention time in the reticulo-rumen. Aust. J. Agric. Res. 32, 99-108.
- REEVES, J.B., III, 1993: Chemical studies on the composition of fiber fractions and lignin determination residues. J. Dairy Sci. 76, 120-128.
- REEVES, J.B., III und W.F. SCHMIDT, 1994: Solid state ¹³C NMR analysis of forage and by-product-derived fiber and lignin residues. Resolution of some discrepancies among chemical, infrared, and pyrolysis-gas chromatography-mass spectroscopic analyses. J. Agric. Food Chem. 42, 1462-1468.
- RÖH, H., 1992: Nährstoffverdaulichkeiten und Verzehrsleistungen von Rationen mit Winterweizen-Ganzpflanzensilagen: Vergleichende Untersuchungen an Schaf und Rind. Dipl.-Arbeit, Institut für Tierernährung und Stoffwechselphysiologie, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- 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. J. Anim. Sci. 70, 3551-3561.
- SANTOS, J.E.P., E.J. DePETERS, P.W. JARDON und J.T. HUBER, 2001: Effect of prepartum dietary protein level on performance of primigravid and multiparous Holstein dairy cows. J. Dairy Sci. 84, 213-224.
- SCHWARZ, F.J., 2000: Fütterung hochleistender Milchkühe (Energie- und Proteinversorgung, Wiederkäuergerechtigkeit). 27. Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL Gumpenstein, 19-25.
- SNIFFEN, C.J., J.D. O'CONNOR, P.J. VAN SOEST, D.G. FOX und J.B. RUSSELL, 1992: A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. J. Anim. Sci. 70, 3551-3561.
- SPIEKERS, H., K. HARDEBUSCH und E. PFEFFER, 1998: Vergleich der Proteinbewertungssysteme DVE und nXP in Milchleistungsfutter bei konstantem Rohproteinengehalt je MJ NEL. VDLUFA-Schriftenreihe 49, 441-444.
- STEINGASS, H., A. HAAS, R. STETTER, T. JILG und A. SUSENBETH, 1994: Einfluß des Fütterungsniveaus auf die Nährstoff- und Energieverdaulichkeit bei Schaf und Rind. Wirtschaftseig. Futter 40, 215-228.
- STEINWIDDER, A. und L. GRUBER, 1997: Vergleich verschiedener Proteinbewertungssysteme für Wiederkäuer. Bericht 24. Tierzuchttagung, BAL Gumpenstein, 6.-7. Mai 1997, 9-24.
- SÜDEKUM, K.-H., 1997: Aufnahme, Verdaulichkeit und ruminaler Nährstoffumsatz bei Wiederkäuern. Habilitationsschrift, Agrarwiss. Fak., Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- SÜDEKUM, K.-H., 1999: Wiederkäuergerechte Ernährung der Hochleistungskuh (Pansenstoffwechsel, Dünndarmverdauung, Kohlenhydratverdauung). 26. Viehwirtschaftliche Fachtagung, BAL Gumpenstein, 1-8.
- SÜDEKUM, K.-H. und H. ANDREE, 1997: Evaluation of three rapeseed commodities in the rumen of steers. 1. Degradation of organic matter and crude protein and disappearance of amino acids *in situ*. J. Anim. Feed Sci. 6, 23-40.
- SÜDEKUM, K.-H., P.L. KOVÁCS und A. SCHRÖDER, 2000: Vergleichende Untersuchungen an Rindern und Schafen zu den Nährstoffverdaulichkeiten einer gemischten Ration bei verschiedenen Fütterungsniveaus. 112. VDLUFA-Kongreß, Stuttgart-Hohenheim, Kurzfassungen der Vorträge, 93.
- SÜDEKUM, K.-H., H. RÖH, M. BRANDT, G. RAVE und M. STANGASSINGER, 1995: Comparative digestion in cattle and sheep fed wheat silage diets at low and high intakes. J. Dairy Sci. 78, 1498-1511.
- SÜDEKUM, K.-H., K. VOIGT, B. MONTIES und M. STANGASSINGER, 1997: Spectrophotometric investigations on lignin in wheat (*Triticum aestivum* L.): Influence of cell wall preparation, solvent, and standard. J. Agric. Food Chem. 45, 1220-1228.
- TAMMINGA, S., P.A. LUTEIJN und R.G.M. MEIJER, 1997: Changes in composition and energy content of liveweight loss in dairy cows with time after parturition. Livest. Prod. Sci. 52, 31-38.
- TITGEMEYER, E.C., R.C. COCHRAN, E.G. TOWNE, C.K. ARMENDARIZ und K.C. OLSON, 1996: Elucidation of factors associated with the maturity-related decline in degradability of big bluestem cell wall. J. Anim. Sci. 74, 648-657.
- TUORI, M., K.V. KAUSTELL und P. HUHTANEN, 1998: Comparison of the protein evaluation systems of feeds for dairy cows. Livest. Prod. Sci. 55, 33-46.
- UNIVERSITÄT HOHENHEIM - DOKUMENTATIONSSTELLE (Hrsg.), 1997: DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer. 7. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- VAN SOEST, P.J. 1976: The estimation of digestibility from chemical composition. Misc. Pap. Landbouwhogesch. Wageningen 12, 137-145.
- VAN SOEST, P.J. 1994: Nutritional Ecology of the Ruminant, 2nd Ed. Cornell University Press, Ithaca, NY.
- VAN SAUN, R.J., 1993.: Effects of undegradable protein fed prepartum on subsequent lactation, reproduction, and health in Holstein dairy cattle. Ph. D. Diss., Dept. Anim. Sci., Cornell Univ., Ithaca, NY. Zitiert bei VAN SAUN und SNIFFEN (1996).
- VAN SAUN, R.J. und C.J. SNIFFEN, 1996.: Nutritional management of the pregnant dairy cow to optimize health, lactation and reproductive performance. Anim. Feed Sci. Technol. 59, 13-26.
- VAN SAUN, R.J., S.C. IDLEMAN und C.J. SNIFFEN, 1993.: Effect of undegradable protein amount fed prepartum on postpartum production in first lactation Holstein cows. J. Dairy Sci. 76, 236-244.
- VERMOREL, M. und J.B. COULON, 1998: Comparison of the National Research Council energy system for lactating cows with four European systems. J. Dairy Sci. 81, 846-855.

