

Die neuen Versorgungsempfehlungen der GfE für Milchkühe: Was auf die Branche zukommt

Consequences of the new nutrient supply recommendations of the GfE for the industry

Markus Rodehutsord^{1*}

Zusammenfassung

Mit den neuen Versorgungsempfehlungen für Milchkühe hat die Gesellschaft für Ernährungsphysiologie im Jahr 2023 neue Systeme zur Energie- und Proteinbewertung eingeführt. Futtermittelbewertung und Bedarfsableitung werden demgemäß auf der Stufe der Umsetzbaren Energie vorgenommen, die für Futtermittel in einem dreistufigen Verfahren ermittelt wird. Im Proteinsystem sind die Aminosäuren entscheidend, die in ihrer Summe als dünndarmverdauliches Protein ausgedrückt werden und zudem einzeln kalkuliert werden können. Die Verdaulichkeit der Organischen Masse von Futtermitteln hat eine besondere Bedeutung, weil sie den größten Anteil an der Variation in der Umsetzbaren Energie ausmacht und zudem die Menge an mikrobiellem Protein wesentlich bestimmt. Das Futteraufnahmeniveau der Tiere wirkt auf die Verweilzeiten der Nährstoffe im Pansen. Hieraus ergeben sich Konsequenzen für die Futterwerte (Energie und Aminosäuren), die bei der Rationskalkulation berücksichtigt werden. Die neuen Systeme sind klar und nachvollziehbar aufgebaut, berücksichtigen das neueste Wissen, ermöglichen eine präzise Futtermittelbewertung und Bedarfsableitung und vereinfachen das Vorgehen in der praktischen Anwendung.

Schlagwörter: Wiederkäuer, Futtermittelbewertung, Bedarf, Energie, Aminosäuren

Summary

With the new nutrient supply recommendations for dairy cows, the Society of Nutritional Physiology introduced new energy and protein evaluation systems in 2023. Feed evaluation and requirement derivation are accordingly carried out at the metabolisable energy level, which is determined for feed in a three-stage process. In the protein system, amino acids are crucial, expressed in their entirety as small intestinal digestible protein and can also be calculated individually. The digestibility of the organic matter of feedstuffs is of particular importance because it accounts for the largest proportion of variation in metabolisable energy and also significantly determines the amount of microbial protein. The feed intake level affects the retention times of nutrients in the rumen. This has consequences for feed values (energy and amino acids) that are considered in ration calculation. The new systems are clearly structured and comprehensible, consider the latest knowledge, enable precise feed evaluation and requirement derivation, and simplify the process in practical application.

Keywords: Ruminants, Feed evaluation, Requirement, Energy, Amino acids

¹ Universität Hohenheim, Institut für Nutztierwissenschaften, Emil-Wolff-Straße 10, D-70599 Stuttgart

* Ansprechpartner: Prof. Dr. Markus Rodehutsord, email: markus.rodehutsord@uni-hohenheim.de

Einleitung

Die Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE)¹ hat neue Versorgungsempfehlungen für Milchkühe herausgegeben (GfE 2023). Dieses Werk umfasst neben der Energie und allen Nährstoffen auch eingehende Erörterungen zur Futtermittelaufnahme von Kühen und zu Faktoren, von denen eine Beeinflussung der Futtermittelaufnahme ausgeht. Außerdem werden die artgerechte Ernährung und Gesunderhaltung, Einflüsse der Fütterung auf die Zusammensetzung der Milch sowie Sonderwirkungen bestimmter Futtermittel und Futtermittelzusatzstoffe behandelt. Es werden zudem Umweltwirkungen aufgegriffen, die durch Maßnahmen der Milchkuhfütterung beeinflusst werden können; der Abgabe von Methan ist ein separates Kapitel gewidmet.

Für diesen Tagungsbeitrag wird der Schwerpunkt auf die Bereiche Energie und Aminosäuren gelegt. Dies trägt dem Umstand Rechnung, dass in diesen Bereichen neue Konzepte des Vorgehens bei der Futtermittelbewertung und Bedarfsableitung vorgestellt werden. Diese neuen Systeme bauen zwar auf Bekanntem auf, verändern jedoch die Vorgehensweisen bis hin zur Rationsplanung und Fütterung in der Praxis. Die Implementierung der neuen Systeme in die Praxis ist für die beteiligten Gremien, Institutionen und Unternehmen mit Herausforderungen verbunden, die vorzugsweise unter Einbeziehung aller Beteiligten koordiniert angegangen werden. Der DLG-Arbeitskreis Futter und Fütterung hat hierzu Vorschläge entwickelt und mit deren Umsetzung begonnen. Demnach ist vorgesehen, dass ab einem noch genau zu spezifizierendem Termin im letzten Quartal 2025 in der Praxis mit den neuen Systemen gearbeitet wird. Bis dahin bleibt die Zeit für die Vorbereitungen in der Beratung und Industrie, für die Anpassung der digitalen Instrumente, der Futterwerttabellen, Schulungsunterlagen und Praxisinformationen.

Energiebewertung und -bedarf

Die Energie wird zukünftig auch bei der Milchkuh auf der Stufe der Umsetzbaren Energie (ME, metabolisable energy) bewertet. Hierzu wurde ein neues Vorgehen für die Ermittlung der ME entwickelt, das sogenannte dreistufige Verfahren. Dies löst das bisherige Vorgehen der GfE (1995) ab, bei dem, als Zwischenschritt bei der Berechnung der NEL (Nettoenergie für Laktation), die ME mittels Regressionsgleichungen aus verdaulichen Rohnährstoffen berechnet wird. Diese einschneidende Änderung hat Gründe und geht auf eingehende Erwägungen zurück, die von der GfE (2023) ausführlich dargelegt wurden. In Ergänzung zu diesen Gründen sei auf den Umstand hingewiesen, dass mit der Umstellung auf die ME bei der Milchkuh das Vorgehen zur Energiebewertung bei allen Nutzungsrichtungen der Rinder und anderen Wiederkäuern einheitlich wird.²

Für die Ermittlung der ME mit dem dreistufigen Verfahren werden nur wenige Variablen benötigt, nämlich die Bruttoenergie (GE), das Rohprotein (CP), die Rohasche (CA) und die Verdaulichkeit der Organischen Masse (OMD, organic matter digestibility). Die, die drei Stufen zusammenfassende, Gleichung lautet:

$$\begin{aligned} \text{ME (MJ/kg TM)} = & [(GE \text{ (MJ/kg OM)} \cdot (\text{OMD (\%)} - 3,3) / 100 \\ & - 0,0037 \cdot \text{CP (g/kg OM)} \\ & - (0,7 + 0,014 \text{ OMD (\%)})] \cdot (1 - \text{CA (g/kg TM)})/1000 \end{aligned}$$

wobei GE, CP, CA und die Trockenmasse (TM) mit Standardverfahren der Laboranalytik bestimmt werden.

1 Die Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) ist eine Vereinigung von Wissenschaftlern aus den Bereichen der Tierernährung und Ernährungsphysiologie. Sie erarbeitet Bewertungsmaßstäbe für Futtermittel und gibt Versorgungsempfehlungen für Energie und Nährstoffe für Nutztiere heraus, die auch fortlaufend aktualisiert werden. Die wissenschaftlichen Empfehlungen und Stellungnahmen der GfE können über www.gfe-frankfurt.de abgerufen werden.

2 Der Ausschuss für Bedarfsnormen empfiehlt, die ME zukünftig für alle Wiederkäuer mit dem dreistufigen Verfahren zu ermitteln und die Futterwertdaten entsprechend zu vereinheitlichen.

Von hervorgehobener Bedeutung für den energetischen Futterwert ist die Höhe der OMD. Sie wird im Referenzverfahren mit Hammeln bei einer Versorgung im Bereich des Erhaltungsbedarfs ermittelt. Die Untersuchungspraxis wiederum bestimmt die OMD mit, anhand von Referenzwerten, abgeleiteten Schätzgleichungen, für deren Anwendung in Ergänzung zu Nährstoffanalysen *in vitro*-Kenngrößen (Gasbildung bzw. Enzymbiosliche Organische Masse) erforderlich sind. Für Grobfuttermittel sind solche Schätzgleichungen bereits entwickelt worden (GfE 2017, 2020, 2024), für Mischfuttermittel und Konzentrate ist die Arbeit hieran noch nicht abgeschlossen.

Das dreistufige Verfahren zur Ermittlung der ME führt im Vergleich zum bisherigen Vorgehen nicht grundsätzlich zu anderen Werten. Für viele Futtermittel bleiben die ME-Konzentrationen weitgehend gleich, für andere ändern sich die Werte, häufig jedoch nur geringfügig. Dies mit Einzelbetrachtungen zu untersetzen, bleibt anderen Tagungsbeiträgen vorbehalten. Am Beispiel von Grasprodukten sind jedoch in der *Abbildung 1* prinzipielle Änderungen gezeigt. So wird der energetische Wert von Grasprodukten mit dem dreistufigen Verfahren insbesondere bei solchen Aufwüchsen höher bewertet, die eine hohe OMD aufweisen, also z. B. in einem frühen Vegetationsstadium genutzt wurden.

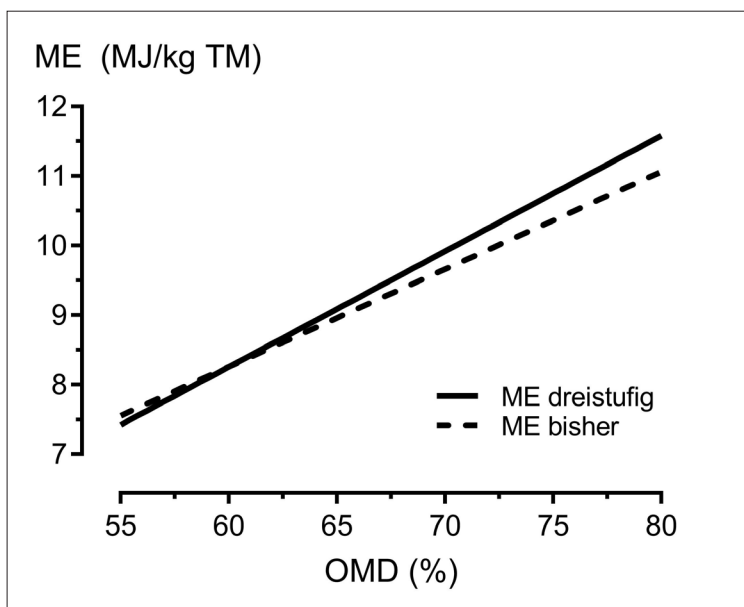


Abbildung 1: Modellhafter Vergleich der ME-Konzentration von Grasprodukten, berechnet nach dem dreistufigen Verfahren und dem bisher verwendeten Verfahren (GfE 1995). OMD: Verdaulichkeit der Organischen Masse.

Die Werte für die Faktoren des ME-Bedarfs der Milchkühe wurden nach der Auswertung der Literatur ebenfalls neu festgelegt. Für laktierende Tiere zeigte sich, dass die Werte sowohl für den Erhaltungsbedarf als auch für den Teilwirkungsgrad für Milchbildung höher sind als die Werte, die bei der Einführung des NEL-Systems (GEH 1986) verwendet wurden und seitdem unverändert blieben. Folglich wird nun für den Erhaltungsbedarf an ME während der Laktation ein Wert von $0,64 \text{ MJ je kg}^{0,75}$ Körpermasse verwendet und für den Teilwirkungsgrad der ME für Milchbildung ein Wert von $0,66$. Diese Werte erwiesen sich als unabhängig vom Leistungsniveau und Genotyp der Tiere und sie hängen nicht von der Zusammensetzung der Ration ab. Bei einem mittleren Leistungsniveau von etwa 30-35 kg Milch pro Tag ist der ME-Bedarf im neuen System etwa gleich hoch wie der umgerechnete Wert im NEL-System. Änderungen werden insbesondere im Bereich von hoher Milchleistung interessant, weil im neuen System der Bedarf etwas geringer kalkuliert wird. Negative Energiesalden in der Laktationsspitze sind daher gemindert. In Verbindung mit den zuvor angesprochenen relativen Änderungen der ME-Konzentrationen von Grobfuttermitteln dürfte dies die Bedeutung des Grobfutters in der Milchkuhfütte-

rung noch zusätzlich betonen. Hierdurch werden die Möglichkeiten zur Aufrechterhaltung der Strukturwirksamkeit der Ration bei hoher Milchleistung erweitert.³

Bewertung von und Bedarf an Aminosäuren und Protein

Für die Neukonzeptionierung des Proteinsystems sind zwei Aspekte von besonderer Bedeutung gewesen. 1.) Für die Versorgung des Tieres ist ausschlaggebend, welche Mengen an Aminosäuren bis zum Ende des Dünndarms absorbiert werden und somit für die Bedarfsdeckung zur Verfügung stehen. 2.) Auch die Milchkuh hat einen Bedarf an einzelnen essenziellen Aminosäuren. Dies galt für beide Aspekte grundsätzlich zwar schon immer; allerdings ergab sich die Notwendigkeit für eine differenzierende Berücksichtigung aus der Milchleistungsentwicklung der Populationen einerseits und der Differenzierung der Futterproteinqualitäten andererseits. So sind die Kenngrößen des neuen Proteinsystems das dünn darmverdauliche Protein (**sidP**, small intestinal digestible protein) als die Gesamtheit aller dünn darmverdaulichen Aminosäuren (**sidAA**, small intestinal digestible amino acids) sowie der mikrobielle N-Saldo im Pansen (**RMD**), der sich als Differenz zwischen dem ruminalen Futterrohproteinabbau und der mikrobiellen Rohproteinsynthese errechnet.⁴ Die Ableitung des sidP anhand der Summe der Aminosäuren bringt es mit sich, dass das Niveau der Futtermittel- und Bedarfswerte niedriger ist als es im System des nutzbaren Rohprotein am Duodenum (nXP) (GfE 1997) ist, weil nXP-Werte auch Nicht-Aminosäuren-Stickstoff enthalten. Im sidP-System (GfE 2023) sind die einzelnen Faktoren des Bedarfs und der Versorgung an den Wissensstand angepasst worden. Dabei ist die Anzahl der Faktoren nicht grundsätzlich anders als im nXP-System. Allerdings ist die Zuordnung der Faktoren zum Futterwert einerseits und zum Bedarf andererseits sachlogisch erfolgt, womit auch die Fortschreibung des sidP-Systems in der Zukunft leicht möglich sein wird. Um die Übersichtlichkeit zu erhalten wird in diesem Beitrag – anders als für die Energie – auf die Darstellung einzelner Faktoren weitgehend verzichtet und es werden stattdessen Zusammenhänge herausgearbeitet, die eine besondere Bedeutung haben.

Die Versorgung mit sidP erfolgt bekanntermaßen in Form von mikrobiellem Rohprotein (**MCP**; microbial crude protein) und im Pansen nicht abgebautem Futterrohprotein (**UDP**; ruminally undegraded crude protein). Die Menge an MCP wird von der Energie bestimmt, die den Mikroorganismen aus der Fermentation zur Verfügung steht, und die – gemäß den neuen Auswertungen – durch die verdaute organische Masse (**DOM**; digestible organic matter) gut beschrieben wird. Bis zu einer Futteraufnahme von 22 kg TM pro Tag wird mit einer MCP-Menge von 150 g je kg DOM gerechnet, bei einer höheren Futteraufnahme mit höheren Werten. Diese Beziehung lässt der OMD eine zentrale Bedeutung bei der Futtermittelbewertung zukommen: sie ist nicht nur die bedeutendste Variable für die ME (siehe oben), sondern beeinflusst auch die sidP-Konzentration von Futtermitteln. An das Beispiel der Grasprodukte anknüpfend, skizziert *Abbildung 2* deren sidP-Konzentration in Abhängigkeit von der OMD und der CP-Konzentration. In dieser Modellkalkulation ist für eine Erhöhung der sidP-Konzentration um 10 g/kg TM eine Erhöhung der CP-Konzentration im Futter um etwa 50 g/kg TM notwendig. Eine Erhöhung von sidP in gleicher Höhe würde erreicht, wenn die OMD um 10 Prozentpunkte stiege. Kombinationseffekte, die sich aus einer gleichzeitigen Veränderung von OMD und CP-Konzentration ergeben, sind in diesem Beispiel nicht berücksichtigt.

3 Die physikalisch effektive Neutral-Detergenzien-Faser (peNDF) und ihre Anwendung bei der Bewertung der Strukturwirksamkeit von Rationen ist Gegenstand eines separaten Kapitels in den neuen Versorgungsempfehlungen der GfE (2023) und wird in diesem Beitrag nicht behandelt.

4 $RMD = [\text{Ruminal abgebautes Futterrohprotein (RDP)} - \text{Mikrobielles Rohprotein (MCP)}] / 6,25$

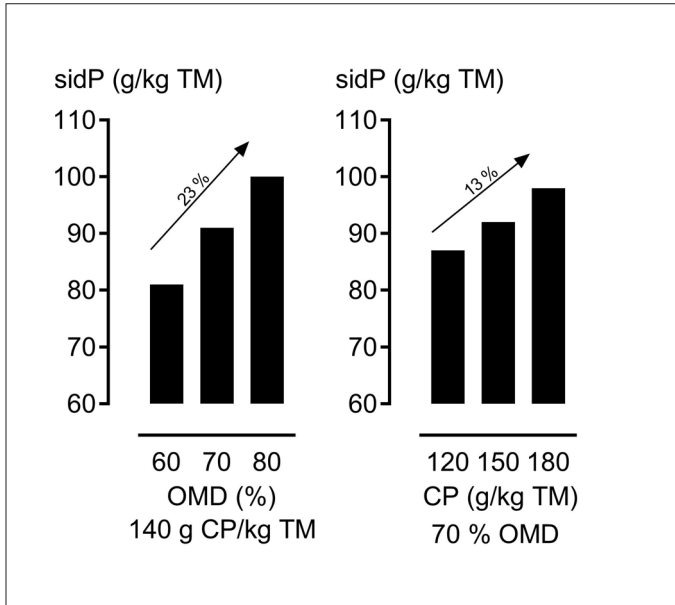


Abbildung 2: Modellkalkulationen zu Einflüssen auf die Konzentration von dünndarmverdaulichem Protein (sidP) von Grasprodukten. Dargestellt ist der Einfluss der Verdaulichkeit der Organischen Masse (OMD) (links) und der Konzentration von Rohprotein (CP) (rechts). Die weiteren Einflussgrößen (Parameter des ruminalen Abbaus, Dünndarmverdaulichkeiten, Rohaschekonzentration, Futteraufnahmelevel) sind in den Szenarien gleich.

Für die Berechnung des UDP-Anteils von Futtermitteln wird nicht mehr auf Daten zurückgegriffen, die mit am Duodenum fistulierten Kühen bestimmt wurden. Stattdessen werden Daten verwendet, die mit dem *in situ*-Verfahren mit pansenfistulierten Tieren ermittelt wurden und zukünftig werden (GfE 2022). Eine Zusammenstellung von Daten aus der Literatur steht zur Anwendung offen zur Verfügung und ist zur Fortschreibung vorgesehen.⁵ Die Anwendung des Konzepts und der Daten ermöglichen es, die Höhe der ruminalen Passagerate zu berücksichtigen, die durch die Höhe der Futteraufnahme der Tiere bestimmt wird und den UDP-Anteil beeinflusst. Je höher die Milchleistung der Tiere ist, desto stärker wirken sich diese Effekte aus und desto bedeutender werden sie für die sidP-Konzentration von Proteinfuttermitteln und für ihre Auswahl bei der Rationsplanung (Abbildung 3). Mit einem Anstieg im Futteraufnahmelevel (FAN) der Tiere ist eine Verminderung der Mikrobenproteinmenge verbunden, die auf den Rückgang der OMD zurückgeht (siehe folgender Abschnitt). Dieser Effekt wird allerdings durch den Anstieg im UDP überkompensiert.

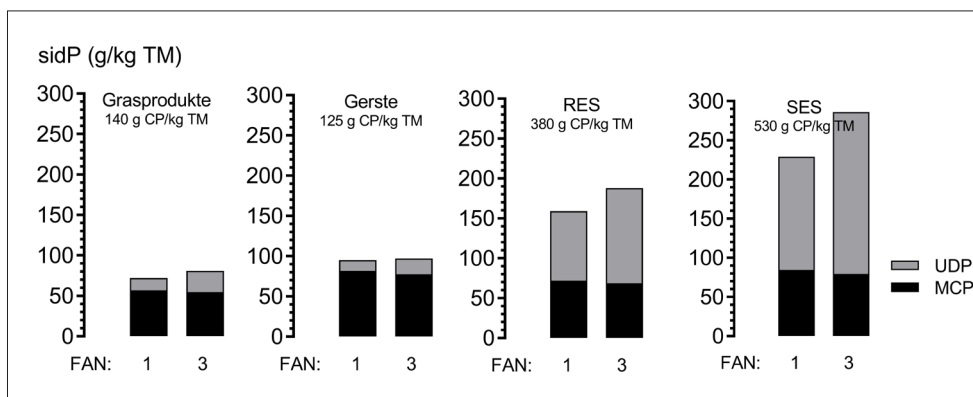
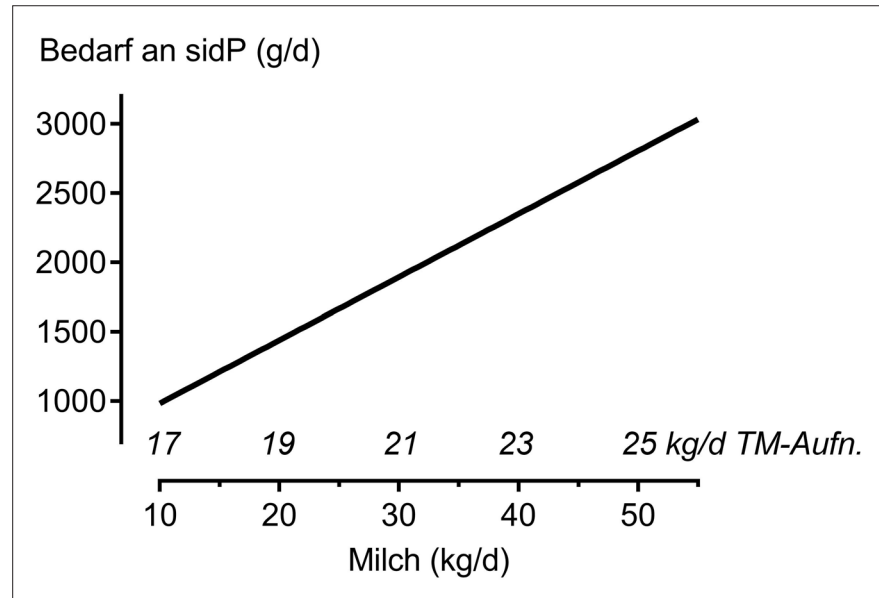


Abbildung 3: Beispiele für die Konzentrationen an sidP und die Aufteilung auf MCP und UDP bei einem Futteraufnahmelevel (FAN) von 1 und 3 (RES: Rapsextraktionsschrot, SES: Sojaextraktionsschrot)

Der Bedarf an sidP der Kühe ist während der Laktation sehr unterschiedlich und die Variation wird durch drei Faktoren bestimmt: die Höhe der Milchleistung, den Proteingehalt der Milch und die Höhe der Futteraufnahme. Die *Abbildung 4* illustriert dies

5 <https://zenodo.org/records/8245758>

Abbildung 4: Bedarf an sidP in Abhängigkeit von der Milchleistung (kalkuliert für 650 kg Körpermasse, ≥ 2 . Laktation, nicht tragend, Milchprotein 3,4 – 3,1 %)



beispielhaft in Abhängigkeit von der Höhe der Milchleistung und unter Annahme eines mit zunehmender Milchleistung zurückgehenden Milchproteingehalts. Der Bedarf an sidP beträgt dementsprechend zwischen circa 1 kg und circa 3 kg pro Tag. Überschlagsmäßig kann in diesem Szenario mit einem Mehrbedarf von 45 g sidP je kg zusätzlich produzierter Milch gerechnet werden.

Im sidP-System der GfE (2023) sind auch die Faktoren hinterlegt, die zur Kalkulation von Versorgung und Bedarf für einzelne Aminosäuren erforderlich sind. Diese Kalkulation ermöglicht es, mögliche Limitierungen durch die Versorgung mit erstlimitierenden Aminosäuren zu erkennen und bei der Auswahl von Proteinfuttermitteln und gegebenenfalls pansenstabilen Aminosäurenprodukten zu berücksichtigen. Für das MCP ergab die Literatursauswertung, dass die Aminosäurezusammensetzung zwar nicht in allen Studien gleich war, die Variation sich jedoch den möglichen Einflussfaktoren nicht zuordnen ließ. Das neue sidP-System arbeitet daher mit einem konstanten Aminosäuremuster des MCP. Für den Abbau der Futteramino­säuren zeigte sich, dass einzelnen Aminosäuren nicht wesentlich verschieden vom CP des Futters im Pansen abgebaut werden. Folglich wird das im Futterprotein analysierte Aminosäuremuster auch für das UDP angewendet, um den Fluss von ruminal nicht abgebauten Futteramino­säuren in den Dünndarm zu berechnen. Die zunehmende Bedeutung des UDP bei der Versorgung für steigende Milchleistung bringt es mit sich, dass ein eher ungünstiges Aminosäuremuster der Proteinfuttermittel bei der Versorgung quantitativ relevant wird, was über die Kalkulation der sidAA erkannt werden kann.

Die Dünndarmverdaulichkeit des Proteins und einzelner AA ist – anders als im nXP-System unterstellt – spezifisch für die Proteinquellen. Insbesondere bei den UDP-Quellen ist dies von Bedeutung, weil bei Futterbehandlungsverfahren die Möglichkeit eines Überschutzes besteht. Mit solchen Behandlungsverfahren mag zwar eine Erhöhung des UDP-Anteils im Futterrohprotein verbunden sein. Wenn jedoch die Dünndarmverdaulichkeit vermindert ist, wirkt sich dies negativ auf die sidP-Konzentration aus. Mit *in vitro*-Untersuchungen lässt sich die Dünndarmverdaulichkeit des Proteins schätzen. Die bislang verfügbaren Werte für Einzelfuttermittel sind in das Buch der GfE (2023) aufgenommen worden.

Rationskalkulation: Höhe der Futtermittelaufnahme beachten

Mit einem Anstieg der Futtermittelaufnahme ist eine Erhöhung der Passagerate des Futters durch den Pansen verbunden (Abbildung 5). Dies beeinflusst die Fermentationzeit, das

Ausmaß des Abbaus von Kohlenhydraten und Proteinen im Pansen und folglich die ME- und sidP-Werte von Futtermitteln. Diese Effekte auf die Futterwerte sind im Prozess der Rationskalkulation zu berücksichtigen, die auf eine bestimmte Leistung und damit assoziierte Futteraufnahme ausgerichtet ist. Hierzu wird das Futteraufnahmeniveau (FAN) kalkuliert. Das FAN 1 ist definiert als eine Futteraufnahme von 50 g TM je kg^{0,75} Körpermasse, näherungsweise entspricht dies einer Futteraufnahme zur Deckung des energetischen Erhaltungsbedarfs. Die aktuelle Futteraufnahme wird als Vielfaches des FAN 1 kalkuliert.

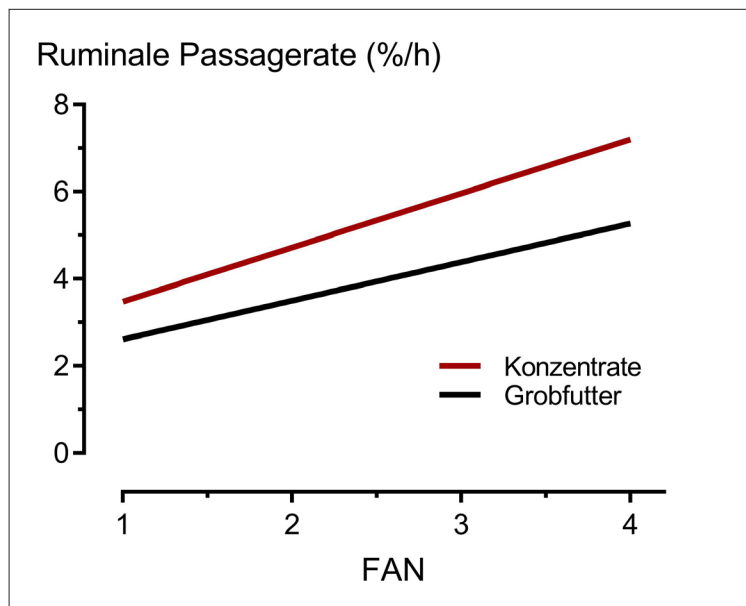


Abbildung 5: Veränderung der ruminalen Passagerate in Abhängigkeit vom Futteraufnahmeniveau (FAN) von Milchkühen

Ein Einfluss des FAN auf die ME-Konzentration resultiert aus Effekten auf die OMD und die Methanbildung. Diese beiden Effekte, die mittels Gleichungen beschrieben sind (GfE 2023), kompensieren sich bis zum einem FAN von circa 3 weitgehend. Erst bei einem hierüber hinausgehenden FAN ist ein deutlicher Rückgang in der ME-Konzentration der Ration zu berücksichtigen. Diese Anpassung der ME auf das aktuelle FAN ist nicht Gegenstand der Einzelfuttermittelbewertung, sondern der Rationskalkulation.

Der Einfluss des FAN auf die sidP-Konzentration ergibt sich in zweifacher Weise, wie bereits in *Abbildung 3* erkennbar wurde. Die bei steigendem FAN zurückgehende OMD bewirkt einen Rückgang der mikrobiellen Proteinmenge. Hingegen führt die bei steigendem FAN steigende Passagerate zu einem Anstieg der UDP-Menge, insbesondere bei Proteinfuttermitteln mit einem langsamen ruminalen Proteinabbau. Die Effekte des FAN auf das UDP kompensieren (mindestens) die Effekte des FAN auf das MCP. Ebenso wie bei der ME ist es erforderlich, die Anpassungen des sidP bei der Kalkulation der Rationen vorzunehmen.

Schlussfolgerungen

Die neuen Systeme zur Energie- und Aminosäurenversorgung von Milchkühen bringen einen Umstellungsaufwand für die Praxis mit sich. Diesen Aufwand zu tätigen lohnt sich, weil die Systeme den neuesten Stand des Wissens präzise abbilden, Futtermittelbewertung und Bedarfsableitung systematisch aufeinander abstimmen, auf bewährte Laborverfahren aufbauen, und bei neuen Kenntnissen fortgeschrieben werden können. Dies vereinfacht nicht zuletzt die Vermittlung der Systeme in der akademischen Lehre, der Berufsausbildung und der Weiterbildung.

Literatur

GEH (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie der Haustiere), 1986: Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 3 Milchkühe und Aufzuchtrinder. DLG-Verlag, Frankfurt (Main).

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 1995: Zur Energiebewertung beim Wiederkäuer. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 4, 121-123.

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 1997: Zum Proteinbedarf von Milchkühen und Aufzuchtrindern. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 6, 217-236.

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 2017: Gleichungen zur Schätzung der Umsetzbaren Energie und der Verdaulichkeit der Organischen Substanz von Grobfutterleguminosen für Wiederkäuer. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 26, 194-202.

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 2020: Gleichungen zur Schätzung der Umsetzbaren Energie und der Verdaulichkeit der Organischen Masse von Maisprodukten für Wiederkäuer. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 29, 171-175.

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 2022: Recommended protocol for the determination of nutrient disappearance in situ for estimation of rumen degradation. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 31, 177-189.

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 2023: Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Nr. 12. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Milchkühen. DLG-Verlag, Frankfurt (Main).

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 2024: Gleichungen zur Schätzung der Verdaulichkeit der Organischen Masse von grasbetonten Grünlandaufwüchsen für Wiederkäuer. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 33, 155-160.