

Mineralstoffe: Bedarf – Haushalt – Antagonismen

Minerals: requirement – metabolism – antagonists

Wilhelm Windisch^{1*}

Zusammenfassung

Unsicherheiten im Bedarf der Tiere an Mengen- und Spurenelementen, in den tatsächlichen Gehalten im Futter und ihrer Bioverfügbarkeit werden normalerweise durch Sicherheitszuschläge überbrückt. In einigen Fütterungssituationen sind jedoch genauere Kenntnisse über Bedarf, Stoffwechsel und mögliche Antagonisten unerlässlich, insbesondere wenn Sicherheitszuschläge unerwünscht sind. In diesem Beitrag sollen hierzu vier Beispiele gezeigt werden: Ca-Mangel am Ende der Trächtigkeit zur Prävention von Milchfieber, Schwankungen in der Phosphor-Verdaulichkeit der Futtermittel aufgrund von Phytat, die Interaktion zwischen dem Kalium-Gehalt des Futters und der Verdaulichkeit des Magnesiums, sowie der Effekt von Glucosinolaten auf den Transfer von Jod aus dem Futter in Richtung Milch.

Schlagwörter: Mineralstoffe, Stoffwechsel, Calcium, Phosphor, Magnesium, Jod

Summary

Uncertainties regarding macro and trace mineral requirement of livestock, actual contents in feedstuffs as well as bioavailability are commonly bridged by dietary safety margins. Some feeding situations, however, require more precise knowledge about requirement, metabolism and possible antagonist, in particular if safety margins are to be avoided. In this context, the present contribution shall give four examples: Ca deficiency at the end of gravidity for purpose of preventing milk fever, variations in phosphorus digestibility of feedstuffs due to phytic acid, the interaction between dietary potassium content and digestibility of magnesium, as well as the effect of glucosinolates on the transfer of iodine from feed into milk.

Keywords: minerals, metabolism, calcium, phosphorus, magnesium, iodine

Einleitung

Die Supplementierung des Futters landwirtschaftlicher Nutztiere mit Mengen- und Spurenelementen ist fester Bestandteil der guten Fütterungspraxis. Idealerweise sollte man hierbei von jedem einzelnen Mengen- und Spurenelement den nativen Gehalt im Futter analysieren und allfällige Versorgungslücken unter Berücksichtigung von Bioverfügbarkeit und eventuellen Wechselwirkungen über mineralische Zusätze ausgleichen. Angesichts der Vielzahl der in Frage kommenden Elemente und ihrer spezifischen Besonderheiten ist ein derart detailliertes Vorgehen in der Praxis jedoch nicht anwendbar. Stattdessen begrenzt man sich in der Regel auf wenige Standarddosierungen im Mineralfutter bzw. im Mischfutter, die normalerweise relativ hoch bemessen sind, um das Risiko einer defizitären Versorgung möglichst klein zu halten. Daraus erwächst im Durchschnitt eine gewisse Überversorgung an Mengen- und Spurenelementen. Hinzu kommen noch die Versorgungsempfehlungen (z.B. GfE 2001), die zur Kompensation von Schwankungen im nativen Gehalt der Futtermittel an Mineralstoffen und ihrer Bioverfügbarkeit sowie von Variationen des individuellen Bedarfs ebenfalls Sicherheitszuschläge enthalten. Dieses Konzept der pauschalierten Überversorgung an Mengen- und Spurenelementen zur Vermeidung eines Mangels hat sich für die normale Fütterungssituation durchaus bewährt.

Die Treffsicherheit muss jedoch immer wieder kritisch hinterfragt werden. Ebenso ist zu beachten, dass dieses Konzept sogar kontraproduktiv sein kann, wenn eine Überversorgung aus speziellen Gründen des Stoffwechsels oder zum Schutz der Umwelt und des Konsumenten von Lebensmitteln tierischer Herkunft unerwünscht ist. In all diesen Fällen sind die speziellen Aspekte des Mineralstoffhaushalts im Nutztier einschließlich möglicher antagonistischer Wirkungen des Futters genauer zu berücksichtigen. Nachdem in einem früheren Beitrag bereits auf die spezifischen Besonderheiten einiger Spurenelemente (Zn, Cu, Mn, Se) eingegangen wurde (WINDISCH 2003), sollen in diesem Beitrag beispielhaft einige spezielle Aspekte von Bedarf, Haushalt und Antagonismen von Calcium, Phosphor, Magnesium und Jod skizziert werden.

Calcium

Hinsichtlich einer bedarfsdeckenden Versorgung stellt Ca in der Regel keine größere Herausforderung an die Tierernährung dar. Die Faktoren des individuellen Bedarfs, des Lieferungsvermögens des Futters und der Verwertbarkeit in Nutztier sind gut bekannt (z.B. GfE 2001, NRC 2001) und können mit Hilfe mineralischer Futterkomponenten zielsicher eingestellt werden. Eine besondere Ausnahme bildet jedoch die Vorbereitungsfütterung trockenstehen-

¹ Universität für Bodenkultur, Institut für Tierernährung, Tierische Lebensmittel und Ernährungsphysiologie (TTE), Muthgasse 11, A-1190 Wien

* Ansprechpartner: Univ.-Prof. Dr. Wilhelm Windisch, email: wilhelm.windisch@boku.ac.at

der Milchkuhe zur Vermeidung von Milchfieber (Hypocalzämie). Die dabei zugrunde liegenden Mechanismen des Ca-Stoffwechsels bzw. ihrer Entgleisungen sind ein anschauliches Modell für das Zusammenspiel von Bedarf, Haushalt und Antagonismen von Calcium.

Milchfieber stellt eine regulative Überlastung des Ca-Stoffwechsels dar, die durch den Beginn der Laktation und den plötzlichen Abfluss großer Mengen an Ca vom Blut in Richtung Milch ausgelöst wird. Interessanterweise tritt Milchfieber bei Kalbinnen praktisch nicht auf. Dies liegt daran, dass Kalbinnen am Ende der Trächtigkeit noch ein eigenes Knochenwachstum aufweisen und deshalb permanent in einer knappen Ca-Versorgungslage stehen. Demgegenüber ist die Ca-Versorgung ausgewachsener Milchkuhe in der Trockenstehzeit aufgrund des geringen Ca-Bedarfs in der Regel zunächst sehr gut und kippt mit Einsetzen der Laktation dann plötzlich in ein Ca-Defizit um. Das regulative Problem des Ca-Stoffwechsels liegt somit primär in der großen Spannweite der Anpassungsreaktionen, die nach dem Abkalben innerhalb weniger Stunden zu überbrücken sind.

Die regulative Antwort des Ca-Stoffwechsels auf diese Situation ist gut bekannt: Nach Detektion des Abfalls der Ca-Konzentration im Blut durch die Nebenschilddrüse wird Parathormon (PTH) ausgeschieden, welches neben der Freisetzung von Ca aus dem Skelett und der Drosselung der renalen Ca-Exkretion die Niere zur Ausschüttung von Calcitriol anregt. Letzteres erhöht die Ca-Absorption aus dem Dünndarm und hält die renale Ca-Exkretion weiterhin niedrig. Der Rückgang der renalen Ca-Exkretion erfolgt zwar rasch, liefert jedoch aufgrund der insgesamt nur geringen Mengen an Ca im Harn keinen quantitativ relevanten Beitrag zur Entlastung des gesamten Ca-Stoffwechsels. Wesentlich bedeutsamer sind dagegen die Ca-Mengen, die infolge einer erhöhten Absorption aus dem Dünndarm in den Organismus einströmen. Die Umsetzung des stimulierenden Signals des Calcitriols auf die Ca-Absorption im Dünndarm erfolgt jedoch zeitverzögert und benötigt zur Entfaltung mindestens drei Tage. Auch das Skelett erlangt seine zur vollen Mobilisierungsfähigkeit erforderliche Dichte an ausgereiften Osteoklasten ebenfalls erst nach mehreren Tagen. Es ist deshalb wichtig, sowohl die Ca-Absorption aus dem Dünndarm als auch die Ca-Mobilisierung aus dem Skelett rechtzeitig vor dem Einsetzen der Laktation zu aktivieren, denn nur so sind die Anpassungsreaktionen des Ca-Stoffwechsels auch quantitativ stark genug, um den plötzlichen Abfluss von Ca in Richtung Milch ausreichend zu kompensieren.

Das Prinzip der „Aktivierung“ regulativer Anpassungsreaktionen des Ca-Stoffwechsels beruht auf einer gezielten Beeinträchtigung der Ca-Versorgung in den letzten Wochen der Trächtigkeit. Theoretisch lässt sich dies am einfachsten durch eine massive Senkung des Ca-Gehalts der Nahrung erzielen. Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass Ca-Aufnahmen unter etwa 20 g pro Tier und Tag das Problem des Milchfiebers weitgehend eliminieren könnten (THILSING-HANSEN et al. 2002). Leider lässt sich diese eigentlich sehr wirksame Maßnahme in der Praxis kaum anwenden, denn die nativen Ca-Gehalte typischer Futtermittel für Wiederkäuer sind hierfür in der Regel zu hoch.

Eine weit verbreitete prophylaktische Maßnahme ist die Verfütterung sogenannter saurer Salze zur Erzielung einer negativen Kationen-Anionen-Bilanz (DCAD oder DCAB: Dietary Cation Anion Difference oder Balance). Das DCAD-Konzept verursacht eine metabolische Acidose, in deren Folge die renale Ca-Exkretion stark ansteigt (ROCHE et al. 2003), wahrscheinlich infolge eines massiven Aktivitätsverlusts des für die Rückresorption des Ca aus dem Primärharn verantwortlichen Transportproteins (SUZUKI et al. 2008). Die Ca-Verluste über den Harn erhöhen den Ca-Bedarf des Organismus bzw. verschlechtern bei unverändertem Ca-Gehalt des Futters den Versorgungsstatus des Tieres an Ca und können auf diese Weise die homöostatische Kompensationskaskade des Ca-Stoffwechsels in Gang bringen.

Ein weiteres Prinzip, am Ende der Trächtigkeit die Ca-Versorgung zu beeinträchtigen, ist die gezielte Drosselung der Absorbierbarkeit des Calciums der Nahrung durch Ca-bindende Futtermittel oder Futterzusätze. So wurde beispielsweise Fett auf seine Eignung zur Bildung schwer verdaulicher Ca-Seifen mit wechselndem Erfolg geprüft (PALMQUIST et al. 1986). Eine andere Stoffklasse mit mutmaßlich Ca-bindender Wirkung sind Tonminerale aus der Klasse der Zeolithe, deren prinzipielle Eignung zur Prävention von Milchfieber nachgewiesen (GRABHERR et al. 2008a, b) und für diesen Verwendungszweck in der EU als Futterzusatzstoffe vor Kurzem auch zugelassen wurde (EFSA 2007).

Eine andere Substanz mit bekanntlich hohem Potential zur Bildung schwerverdaulicher Ca-Komplexe ist das Phytat, das in allen Körnern und Samen als P-Reserve des Pflanzenembryos vorkommt und insbesondere in Kleien und Extraktionsschrotten im Zuge des Verarbeitungsprozesses angereichert wird. Aufgrund der hohen Phytaseaktivität der Vormägen (MORSE et al. 1992) wird normalerweise ein Großteil den Phytats abgebaut, bevor es in den Dünndarm gelangt. Dies gilt jedoch weniger für Futtermittel, deren ruminale Abbaubarkeit aufgrund technischer Behandlungen reduziert ist, wie etwa die Extraktionsschrote, die zudem auch noch besonderes reich an Phytat sind (KONISHI et al. 1999, PARK et al. 1999, BRAVO et al. 2002). Neuere Studien mit pansengeschützter Reiskleie deuten darauf hin, dass die gezielte Einbringung von Phytaten in den Dünndarm den Ca-Versorgungsstatus trockenstehender Milchkuhe durchaus signifikant drosselt (MARTIN-TERESO et al. 2009, 2010, MARTIN-TERESO 2010). Demnach könnten phytatreiche und gleichzeitig pansenstabile Futtermittel in der Tat einen gewissen Beitrag zur Prävention von Milchfieber leisten, zumal sie sich mit den anderen oben genannten Maßnahmen kombinieren lassen. Insgesamt ist festzuhalten, dass all diese Fütterungsmaßnahmen letztendlich auf der gezielten Provokation eines Ca-Mangels beruhen. Aus diesem Grunde ist es in jedem Fall erforderlich, sämtliche Überschüsse an Ca im Futter zu vermeiden, soweit es die nativen Ca-Gehalte der Futtermittel zulassen.

Phosphor

Bei den Empfehlungen zur Versorgung von Milchkuhen an Phosphor wird eine Verwertbarkeit des Futterphosphors von 70 % unterstellt (GfE 2001). Dieser Wert liegt im Ver-

gleich zu Monogastriern sehr hoch und wird mit der hohen Phytaseaktivität des Pansens erklärt (MORSE et al. 1992). Tatsächlich dürfte die P-Verwertbarkeit im Durchschnitt noch deutlich höher sein, so dass in der pauschalen Annahme eines Wertes von 70 % erhebliche Sicherheitszuschläge enthalten sind. Phosphor ist jedoch ein zunehmend limitiert verfügbarer Nährstoff, dessen überhöhter Austrag über die Wirtschaftsdünger darüber hinaus auch aus ökologischen Gründen unerwünscht ist. Dies impliziert langfristig eine immer stärkere Orientierung der P-Zufuhr an den tatsächlichen Bedarf der Tiere und damit zwangsläufig auch die vermehrte Beachtung futterbedingter Unterschiede in der P-Verwertbarkeit.

Die ruminale Löslichkeit und Abbaubarkeit des Phosphors und auch die scheinbare P-Verdaulichkeit von Futtermitteln kann sich erheblich unterscheiden und sogar innerhalb des gleichen Futtermittels regional signifikant variieren (KINCAID et al. 2005, CHERRY et al. 2009). Eine besonders niedrige P-Verwertbarkeit scheint bei hohem Gehalt an Phytat und gleichzeitig reduzierter ruminale Abbaubarkeit gegeben zu sein. Entscheidend ist hierbei der Anteil des vollen Inositolphosphats (IP6), der die Passage durch die Vormägen übersteht, denn dieses IP6 ist die eigentliche stabile und in Dünndarm weitgehend unverdauliche Form des Phytats.

Im Allgemeinen reduzieren technische Maßnahmen, die üblicherweise zur Herstellung von pansengeschütztem Futterprotein angewandt werden (Erhitzen, Coaten mit Fett, Behandlung mit Formaldehyd, etc.), auch die ruminale Abbaubarkeit des Phytat-gebundenen Phosphors (KONISHI et al. 1999, PARK et al. 1999, BRAVO et al. 2002, MARTIN-TERESO et al. 2009, 2010). Die Tatsache, dass derart geschützte Phytate die Verfügbarkeit von Ca reduzieren (siehe vorheriges Kapitel), unterstreicht die Möglichkeit, dass auch beim Wiederkäuer quantitative relevante Mengen an weitgehend unverdaulichem Phosphor in den Dünndarm gelangen können.

In der normalen Fütterungspraxis werden Extraktionsschrote in großem Umfang als Eiweißlieferanten eingesetzt. Da diese Futtermittel gleichzeitig erhebliche Mengen an Phosphor in die Gesamtration importieren, hat das Risiko einer Unterversorgung an intestinal verdaulichem Phosphor derzeit wohl keine größere praktische Bedeutung. Das könnte sich allerdings ändern, wenn auch in der Milchviehfütterung eine präzisere Versorgung der Tiere mit verdaulichem P angestrebt wird, Eiweißfuttermittel mit geringerem Phytatgehalt als in Extraktionsschroten verstärkt eingesetzt werden (z.B. Trockenschlempe) und technische Behandlungen von Futtermitteln zum Schutz gegen ruminale Abbau noch weiter an Bedeutung gewinnen. In dieser Situation ist darüber hinaus noch zu beachten, dass auch die Pansenflora einen gewissen Eigenbedarf an Phosphor hat. So ist schon seit langem bekannt, dass starker P-Mangel die Effizienz der Proteinsynthese, die Abbaurate des Panseninhalts und damit auch die Verzehrkapazität der Tiere beeinträchtigt (BREVES und HÖLLER 1987).

Magnesium

Im Unterschied etwa zu Calcium und Phosphor kann Magnesium weder aus dem Skelett mobilisiert werden,

noch besteht die Möglichkeit einer gezielten Steuerung der Absorption, die bei ausgewachsenen Wiederkäuern darüber hinaus so gut wie ausschließlich auf die Vormägen begrenzt ist und eine relativ geringe Kapazität aufweist. Die Regulationsmöglichkeiten des Mg-Stoffwechsels sind somit auf die Exkretion eines Mg-Überschusses über den Harn begrenzt, was Wiederkäuer für die Situation einer unzureichenden Mg-Aufnahme über die Nahrung besonders verwundbar macht. Dies gilt insbesondere für laktierende Milchkühe, denn die tägliche Mg-Ausscheidung über die Milch übersteigt selbst bei mäßiger Leistungshöhe den extrazellulären Mg-Pool um ein Mehrfaches. Die Mg-Versorgung einer Milchkuh hängt somit unmittelbar von der Höhe der täglichen Mg-Aufnahme über das Futter und den exogenen Faktoren der Mg-Absorbierbarkeit aus dem Pansen ab (Übersicht siehe MARTENS und STUMPF 2009). Sinkt die Absorption an Mg unter den Bedarf (Milchsekretion, unvermeidliche endogene Verluste, Trächtigkeit, ggf. eigenes Knochenwachstum), kommt es rasch zu unspezifischen Störungen der Produktivität (Verminderung des Futterverzehrs, Leistungsdepression) und in seltenen Fällen sogar zur Weidetetanie (McCOY et al. 1996).

Einer der bekanntesten Störfaktoren der Absorption von Magnesium ist eine hohe Konzentration an Kalium im Inhalt der Vormägen. Diese Situation ist besonders bei Grundfutterbetonten Rationen anzutreffen, aber auch bei einer niedrigen Aufnahme an Natrium, da letzteres die Konzentration an Kalium im Speichel erhöht (Austausch von Kalium gegen Natrium). Die negative Wirkung des Kaliums auf die Mg-Absorption beruht im Wesentlichen auf der Beeinträchtigung der potentialabhängigen Komponente des Mg-Transports durch die Epithelzellen der Vormägen. So ist der Transport von Mg aus dem Pansen in Richtung Blut indirekt mit einer Anreicherung von K^+ in den Epithelzellen gekoppelt. Die betreffenden Mengen an K^+ müssen wieder ausgeschleust werden, was durch hohe K^+ -Konzentrationen im Pansen behindert wird (Details siehe MARTENS und STUMPF 2009).

In den Epithelzellen der Vormägen existiert jedoch neben dem mit K^+ gekoppelten Transportmechanismus noch ein weiteres System der Mg-Absorption. Es arbeitet elektrisch neutral und wird unabhängig vom K^+ -Gehalt des Panseninhalts vom Gefälle der Mg-Konzentration zwischen Pansen und Körperinnenseite angetrieben. Die Störung der Mg-Absorption durch hohe Kaliumgehalte im Futter ist somit nur auf einen der beiden Transportmechanismen begrenzt und kann über den zweiten Transportweg durch hohe Mg-Gehalte im Futter kompensiert werden (RAM et al. 1998). Aus diesem Zusammenhang wurden Schätzgleichungen der erforderlichen Mg-Aufnahme in Abhängigkeit von der Milchleistung und des Kaliumgehalts im Futter abgeleitet (WEISS et al. 2004). Bei ungünstigen Ausgangsbedingungen (hohe Milchleistung, hohe K-Gehalte im Futter) liegen die entsprechenden Mg-Konzentrationen im Futter zur Vermeidung einer Unterversorgung durchaus um den Faktor 2 über den Versorgungsempfehlungen (0,16 % in der TM; GfE 2001). In dieser Höhe hat Mg noch keine negative Wirkung auf die Akzeptanz des Futters (NRC 2001).

Neben Kalium werden auch hohe ruminale Konzentrationen an Ammoniak als Störfaktoren der Mg-Absorption disku-

tiert. Hierbei scheint es sich jedoch um allenfalls kurzfristige Effekte zu handeln, die bei plötzlichen Umstellungen der Ration auftreten können und innerhalb weniger Tage wieder verschwinden (Übersicht siehe MARTENS und STUMPF 2009). Eventuelle Störungen der Mg-Absorption durch eine Belastung mit Ammoniak (z.B. beim Weideaustrieb) können somit durch eine langsame Umstellung des Futters vermieden werden.

Insgesamt lässt sich die Frage der bedarfsdeckenden Versorgung einer Milchkuh mit Magnesium und der Berücksichtigung möglicher Störfaktoren der Mg-Absorption im Wesentlichen auf eine ausreichend hoch dimensionierte Mg-Aufnahme über das Futter reduzieren.

Jod

Die nativen Gehalte der Futtermittel am essentiellen Spurenelement Jod liegen zumeist wesentlich unterhalb der Versorgungsempfehlungen für Milchkühe (0,5 mg/kg TM; GfE 2001). Dies gilt insbesondere für einheimische Futtermittel. Aus diesem Grunde kann auf eine gezielte Supplementierung des Futters mit Jod nicht verzichtet werden (z.B. indirekt über die Jodierung von Viehsalz).

Jod kann jedoch mit einer bemerkenswert hohen Rate von 30 % und mehr vom Futtermittel in die Milch übergehen (SCHÖNE et al. 2009). Ähnlich hohe Transfer-Raten findet man auch bei Eiern (KAUFMANN et al. 1998). Der Hauptgrund für diesen ausgeprägten Jod-Transfer ist der sogenannten Natrium-Jodid-Symporter (NIS), der für den Transport von Jodid vom Blut ins Gewebe zuständig ist. Dieser Symporter wird nicht nur in der Schilddrüse sehr stark exprimiert, sondern auch in der Milchdrüse und bei eierlegenden Tieren im Ovar (DE LA VIEJA 2000). Auf diese Weise wird gewährleistet, dass die jungen Nachkommen einer Spezies bevorzugt mit Jod versorgt werden.

Die starke Reaktion des Jodgehalts der Milch und der Eier auf die Supplementierung des Futters mit Jod veranlasste die EFSA im Jahre 2005 zur Evaluierung des Risikos einer überhöhten Jodaufnahme der Bevölkerung als indirekte Folge einer massiven Jod-Supplementierung landwirtschaftlicher Nutztiere (EFSA 2005). Als Konsequenz dieser Untersuchung wurden die zulässigen Höchstgehalte an Jod im Futter für Milchkühe (und auch für Legehennen) massiv reduziert (derzeit nur noch 5 mg/kg; EU 2005).

Neben der Konzentration an Jod im Futter beeinflussen aber auch gewisse Futterinhaltsstoffe die Aufnahme von Jod in das Gewebe bzw. den Transfer in die Milch. Hier sind insbesondere die Glycosinolate zu nennen, die in allen Brassicaceae vorkommen und beispielsweise im Rapsextraktionsschrot im Zuge des Verarbeitungsprozesses sogar noch angereichert werden. Die Metabolite der Glycosinolate (hauptsächlich Thiocyanate) konkurrieren mit Jodid um den Natrium-Jodid-Symporter und stören so den Transfer von Jod aus dem Blut in das Gewebe (Schilddrüse, Milchdrüse, Ovar).

Den Konkurrenzeffekt von Glycosinolaten (bzw. deren Metabolite) kann man relativ einfach durch Steigerung der Jodaufnahme kompensieren. Die Allgegenwart Glycosinolat-haltiger Futtermittel in typischen Milchviehrationen ist der Hauptgrund, warum die Versorgungsempfehlungen für

Milchkühe relativ hoch angesetzt sind. Umgekehrt führt dieser Zusammenhang aber auch zu einer besonders starken Anreicherung an Jod in der Milch, wenn der Gehalt der Ration an Glycosinolaten sinkt. So konnten beispielsweise FRANKE et al. (2009) zeigen, dass der Austausch von Rapsextraktionsschrot gegen die praktisch Glycosinolatfreie Trockenschlempe als Eiweißfutter den Jod-Transfer in die Milch um etwa das Doppelte ansteigen lässt. Dies hatte im Bereich des zulässigen Maximums an Jod im Futter (5 mg/kg) zur Folge, dass die Jodmengen in einem Kilogramm Milch die tolerierbare Höchstmenge (UL, upper level) der Jodaufnahme eines Erwachsenen (500 µg/Tag, DGE 2008) um mehr als das Doppelte überschritt. Diese Befunde lassen vermuten, dass die Diskussionen um die Anpassung der futtermittelrechtlichen Obergrenzen des Jodgehalts in der Milchviehfütterung an die Belange der Lebensmittelsicherheit wohl noch nicht zum Abschluss gekommen sind.

Ausblick

Insgesamt ist das Konzept der pauschalierten Überversorgung an Mineralstoffen zur Vermeidung eines Mangels für die meisten Fütterungssituationen sowohl arbeitstechnisch und ökonomisch adäquat als auch physiologisch durchaus tolerierbar. Dies gilt auch für das Magnesium, denn die etwaigen Folgen einer überhöhten Aufnahme (z.B. beeinträchtigte Akzeptanz des Futters) stehen in keinem Verhältnis zu den Risiken einer Unterversorgung, insbesondere wenn hohe Kaliumkonzentration im Futter als Störfaktoren der Mg-Absorption analytisch nachgewiesen wurden. Auch beim Jod ist der gegenwärtige Spielraum wohl immer noch ausreichend groß, um die arbeitstechnischen Vorteile einer pauschalierten Überversorgung mit dem Schutz der Tiere vor Jodmangel und den Belangen der Lebensmittelsicherheit in Einklang zu bringen. Anders sieht es dagegen mit der zunehmenden Notwendigkeit der Minimierung des P-Einsatzes in der Fütterung und der gezielten Induktion von Ca-Mangel in der Ernährung trockenstehender Milchkühe aus. Während letzteres eine zeitlich befristete Sondersituation darstellt, betrifft der mit einer Reduktion der P-Zufuhr einhergehende Zwang zur verstärkten Beachtung der tatsächlichen P-Verwertbarkeit der Futtermittel die gesamte Wiederkäuerfütterung. In beiden Fällen gewinnt die Analyse der tatsächlichen Ca- bzw. P-Konzentrationen in den jeweils eingesetzten Futtermitteln einschließlich weiterer Faktoren ihrer Bioverfügbarkeit (z.B. Gehalt an Phytat, ruminale Abbaubarkeit) besonders an Bedeutung.

Literatur

- BREVES, G. und H. HÖLLER, 1987: Effects of dietary phosphorus depletion in sheep on dry matter and organic matter digestibility. *Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 58, 280-286.
- BRAVO, D., F. MENSCHY, C. BOGAERT und D. SAUVANT, 2002: Effects of fungal phytase addition, formaldehyde treatment and dietary concentrate content on ruminal phosphorus availability. *Anim. Feed Sci. Technol.* 99, 73-95.
- CHERRY, N.M., B. D. LAMBERT und J. P. MUIR, 2009: Ruminant and total tract phosphorus release from feedstuffs in cattle measured using the mobile nylon bag technique. *Anim. Physiol. Anim. Nutr.* DOI: 10.1111/j.1439-0396.2009.00954.x.

- DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung), 2008: D-A-CH-Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. 1. Aufl. 3. Korr. Nachdruck, Umschau Braus GmbH Verlagsgesellschaft, Frankfurt am Main, 179-184.
- DE LA VIEJA, A., O. DOHAN, O. LEVY und N. CARRASCO, 2000: Molecular analysis of the sodium/iodide symporter: impact on thyroid and extrathyroid pathophysiology. *Physiological Reviews* 80, 1083-1105.
- EFSA (European Food Safety Authority), 2005: Opinion of the scientific panel on additives and products or substances used in animal feed on the request from the commission on the use of iodine in feedingstuffs. *EFSA Journal* 168, 1-42.
- EFSA (European Food Safety Authority), 2007: Opinion of the scientific panel on additives and products or substances used in animal feed on the safety of zeolite (sodium aluminosilicate, synthetic) for the reduction of risk of milk fever in dairy cows. *EFSA Journal* 523, 1-11.
- EU, 2005: Regulation (EC) No. 1495/2005 of the European Parliament and of the Council of 08 Sept. 2005 amending the conditions for authorisation of a number of feed additives belonging to the group of trace elements. *OJEU* 2005, 48. L233/8-233/10.
- FRANKE, K., U. MEYER, H. WAGNER und G. FLACHOWSKY, 2009: Influence of various iodine supplementation levels and two different iodine species on the iodine content of the milk of cows fed rapeseed meal or distillers dried grains with solubles as the protein source. *J. Dairy Sci.* 92, 4514-4523.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuss für Bedarfsnormen), 2001: Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 8: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG-Verlag Frankfurt am Main, 135 S.
- GRABHERR, H., M. SPOLDERS, G. FLACHOWSKY und M. FÜRLL, 2008: Einfluss von Zeolith A auf die Futteraufnahme von trockenstehenden Milchkühen, auf den Mengen- und Spurenelementstoffwechsel im peripartalen Zeitraum sowie auf die Milchleistung in der folgenden Laktation. *Berlin, München Tierärztl. Wschr.* 121, 41-52.
- GRABHERR, H., M. SPOLDERS, M. FÜRLL und G. FLACHOWSKY, 2009: Effect of several doses of zeolite A on feed intake, energy metabolism and on mineral metabolism in dairy cows around calving. *Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 93, 221-236.
- KAUFMANN, S., G. WOLFRAM, F. DELANGE und W.A. RAMBECK, 1998: Iodine supplementation of laying hen feed: a supplementary measure to eliminate iodine deficiency in humans? *Zeitschrift für Ernährungswissenschaft* 37, 288-293.
- KINCAID, R.L., D.K. GARIKIPATI, T.D. NENNICH und J.H. HARRISON, 2005: Effect of grain source and exogenous phytase on phosphorus digestibility in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88, 2893-2902.
- KONISHI, C., T. MATSUI, W. PARK, H. YANO und F. YANO, 1999: Heat treatment of soybean meal and rapeseed meal suppresses rumen degradation of phytate phosphorus in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 80, 115-122.
- MARTENS, H. und F. STUMPF, 2009: Magnesium Stoffwechsel: Regulation und Risiken. In: 8. BOKU Symposium Tierernährung, Mineralstoffe in der Tierernährung: Leistung – Gesundheit – Umweltschutz. Eds.: Mair et al., Wien, Austria, 11-22.
- MARTIN-TERESO, J., A. GONZALES, H. VAN LAAR, C. BURBANO, M.M. PEDROSA, K. MULDER, L.A. DEN HARTOG und M.W.A. VERSTEGEN, 2009: In situ ruminal degradation of phytic acid in formaldehyde-treated rice bran. *Anim. Feed Sci. Technol.* 152, 286-297.
- MARTIN-TERESO, J., 2010: Rumen-protected rice bran to induce the adaptation of calcium metabolism in dairy cows. Thesis, Wageningen University, The Netherlands.
- MARTIN-TERESO, J., M. DERKS, H. VAN LAAR, K. MULDER, L.A. DEN HARTOG und M.W.A. VERSTEGEN, 2010: Urinary calcium excretion in non-lactating dairy cows in relation to intake of fat-coated rice bran. *Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 94, 129-136.
- McCOY, A., A. GOODALL und D.G. KENNEDY, 1996: Incidence of bovine hypomagnesaemia in Northern Ireland and methods of magnesium supplementation. *Vet. Rec.* 138, 41-43.
- MORSE, D., H.H. HEAD und C.J. WILCOX, 1992: Disappearance of phosphorus in phytate from concentrates *in vitro* and from rations fed to lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 75, 1979-1986.
- NRC (National Research Council), 2001: Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Rev. Ed., National Academy Press, Washington, DC., USA, 381 S.
- PALMQUIST, D.L., T.C. JENKINS und A.E. JOYNER, 1986: Effect of dietary fat and calcium source on insoluble soap formation in the rumen. *J. Dairy Sci.* 69, 1020-1025.
- PARK W.Y., T. MATSUI, F. YANO und H. YANO, 2000: Heat treatment of rapeseed meal increases phytate flow into the duodenum of sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 88, 31-37.
- RAM, L., J.T. SCHIONEWILLE, H. MARTENS, A.T. VAN 'T KLOOSTER und A.C. BEYNEN, 1998: Magnesium absorption by wethers fed potassium bicarbonate in combination with different dietary magnesium concentrations. *J. Dairy Sci.* 81, 2485-2492.
- ROCHE, J.R., D. DALLEY, P. MOATE, C. GRAINGER, M. RATH und F. O'MARA, 2003: Dietary cation-anion difference and the health and production of pasture-fed dairy cows 2. nonlactating periparturient cows. *J. Dairy Sci.* 86, 979-987.
- SCHÖNE, F., M. LEITERER, P. LEBZIEN, D. BEMMANN, M. SPOLDERS und G. FLACHOWSKY, 2009: Iodine concentration of milk in a dose-response study with dairy cows and implications for consumer iodine intake. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 23, 84-92.
- SUZUKI, Y., C.P. LANDOWSKY und M.A. HEDIGER, 2008: Mechanisms and regulation of epithelial Ca²⁺ absorption in health and disease. *Annual Review of Physiology* 70, 257-271.
- THILSING-HANSEN, T., R.J. JØRGENSEN und S. ØSTERGAARD, 2002: Milk fever control principles: a review. *Acta Vet. Scand.* 43, 1-19.
- WEISS, W.P., 2004: Macromineral digestion by lactating dairy cows: factors affecting digestibility of magnesium. *J. Dairy Sci.* 87, 2167-2171.
- WINDISCH, W., 2003: Spurenelement- und Vitaminversorgung laktierender Milchkühe. Bericht 30. Viehwirtschaftliche Fachtagung BAL Gumpenstein, 24.-25. April 2003, 55-60.