

Grundlagen zur Rationsberechnung für Milchkühe

Karl Wurm^{1*}

Nährstoffe im Futter

Der Gehalt an verschiedenen Nährstoffen schwankt je nach Pflanze, Futterart, Futtergewinnung und Konservierungsverfahren. Rohnährstoffe sind Stoffgruppen, die nach einer festgelegten, einfachen Methode bestimmt werden können (z.B. Rohwasser-, Rohprotein-, Rohfett- und Rohfaserbestimmung im Rahmen der Weender-Analyse). Die differenzierte Analytik einzelner, in den Rohnährstoffgruppen enthaltener Nährstoffe (z.B. der Struktur- und Nichtstrukturkohlenhydrate) stellt eine wichtige Ergänzung dar.

Wasser

Rinder können große Wassermengen schnell trinken (Fluchttier). Besonders für Milchkühe ist deshalb ein ausreichender Zufluss zur Tränke notwendig (mind. 12 l/min bei Selbstränker bzw. 20l/min bei Trogtränken). In Laufställen sollen je Kuh 10 cm Tränkenlänge vorhanden sein. Auch für kleine Herden sind zumindest zwei Tränken notwendig. Der weiteste Weg zur Tränke soll im Stall maximal 15 m betragen.

Die hygienischen Anforderungen an das Tränkewasser sind ähnlich wie beim Trinkwasser. Tränkeeinrichtungen gehören täglich kontrolliert und gereinigt!

Auch auf der Weide soll der Weg zur Tränke kurz sein.

Fett

Fette sind die energiereichsten Nährstoffe. In der Rinderfütterung muss jedoch der Fetteinsatz auf etwa 5–6 % in der Gesamtration begrenzt werden. Hohe Fettgehalte können zu einer Abnahme der Strukturkohlenhydratverdauung, Futteraufnahme und des Milchfettgehaltes führen. Hohe Fettgehalte (bis etwa 6 %) sind nur beim Einsatz von „pansengeschützten“ Fettquellen (z.B. calciumverseifte Fette, Palmöl etc.) zu empfehlen.

Eiweiß und andere stickstoffhaltige Verbindungen

In den Vormägen der Wiederkäuer werden die Futterproteine je nach Quelle und Futterbehandlung von den Pansenmikroben in einem Ausmaß von 100–20 % (im Mittel etwa 75 %) zu Peptiden, Aminosäuren und Ammoniak abgebaut. Diese Eiweißbausteine werden von den Pansenmikroben wiederum zur Bildung von Mikrobenprotein herangezogen. Das

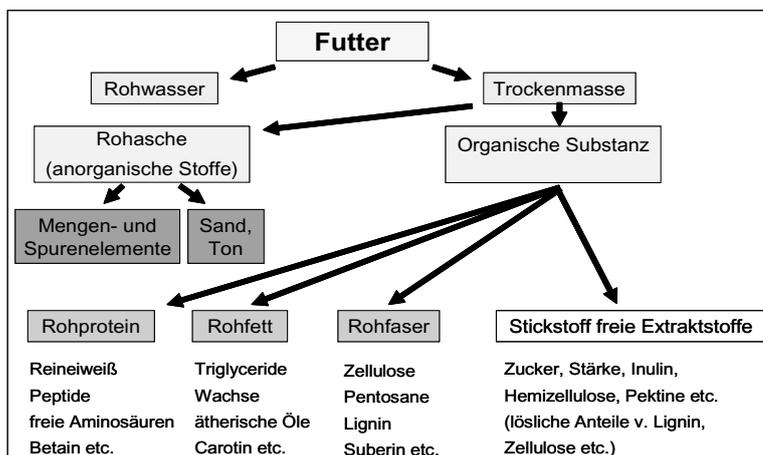


Abbildung 1: Rohnährstoffgruppen – Weender Futtermittelanalytik

Mikrobenprotein weist eine hohe Proteinqualität auf, d.h. die Aminosäurezusammensetzung des Mikrobenproteins entspricht in hohem Ausmaß dem Bedarf des Tieres. Der Proteinbedarf von Kühen wird überwiegend vom Mikrobenprotein gedeckt. Der verbleibende Aminosäurebedarf muss von jenen Proteinquellen gedeckt werden, welche den Pansen unabgebaut passieren („geschütztes Eiweiß“).

Kohlenhydrate und Lignin

Kohlenhydrate sind die am häufigsten vorkommenden organischen Verbindungen in der Natur.

Nichtstrukturkohlenhydrate (NFC):

Im Pansen geht **Zucker** sehr rasch in Lösung und wird auch von den Mikroben intensiv zu Fettsäuren, hauptsächlich Milchsäure, abgebaut. Der Zuckergehalt in der Gesamtration soll 7 % in der Trockenmasse nicht übersteigen.

Alle Getreidearten, Mais, aber auch die Leguminosen Ackerbohne und Erbse enthalten viel **Stärke**. Die Abbaubarkeit der Stärke wird von der chemischen Struktur (Futterart) und der Behandlung der Futtermittel beeinflusst. So hat beispielsweise die Maisstärke im Pansen eine geringere Quellfähigkeit als die Gerstenstärke. Maisstärke wird daher langsam abgebaut – größere Stärkemengen passieren die Vormägen. Feuchtmals (Maiskörnsilage etc.) weist im Vergleich zu Trockenmais einen rascheren Stärkeabbau im Pansen auf. Stärke, die den Pansen unabgebaut verlässt, kann im Dünndarm enzymatisch verdaut werden. Der Stärkegehalt in der Gesamtration soll 25 % in der Trockenmasse nicht übersteigen.

¹ Tierzucht- und Tierärztliche Abteilung, Landwirtschaftskammer Steiermark, Hamerlinggasse 3, A-8010 GRAZ

* Ansprechperson: Dipl.-Ing. Karl Wurm, E-mail: karl.wurm@lk-stmk.at

Strukturkohlenhydrate (NDF):

Die Strukturkohlenhydrate der Zellwände (**Zellulose, Hemizellulose, Pektine**) haben in der Pflanze eine wichtige Stützfunktion. Wiederkäuer können mit Hilfe der Pansenmikroben Strukturkohlenhydrate sehr effizient verdauen. Vor allem Grundfuttermittel und teilweise auch industrielle Nebenprodukte (z.B. Bierschrot, Trockenschnitzel) sind sehr reich an Strukturkohlenhydraten.

Lignin kann auch von Wiederkäuern nicht verdaut werden. Mit fortschreitendem Wachstum bzw. fortschreitender Reife nimmt die Verholzung der pflanzlichen Zellwände zu – der Ligningehalt steigt an und die Verdaulichkeit der Gesamtration geht damit zurück (Abbildung 2).

Energiebewertung

Die Beurteilung des Energiebedarfs von Tieren unterschiedlicher Produktionsrichtungen (Milch, Mast etc.) erfolgt mit verschiedenen Energiemaßstäben. Da sich die Verdauungsvorgänge, aber auch die Umsetzungsverluste im Stoffwechsel zwischen den Produktionsrichtungen unterscheiden, ist ein „Vermischen“ unterschiedlicher Bewertungsmaßstäbe nicht möglich.

In der Fütterung von Milchkühen erfolgt die Bewertung des Energiebedarfs bzw. des Energiegehaltes eines Futtermittels über die **Netto-Energie-Laktation (NEL)** in Mega Joule (MJ). Die **Netto-Energie-Laktation** entspricht jener Energiemenge in einem Futter, welche dem Tier tatsächlich zur Milchbildung zur Verfügung steht. Im NEL-System werden daher auch die Stoffwechselverluste (thermische Verluste) berücksichtigt (Abbildung 3).

Mikrobielle Kohlenhydratverdauung im Pansen

Durch die mikrobiellen Enzyme können prinzipiell alle Kohlenhydrate des Futters im Pansen abgebaut werden. Als Endprodukte dieses Abbaus entstehen vorwiegend die flüchtigen Fettsäuren Essigsäure (Acetat), Propionsäure (Propionat) und Buttersäure (Butyrat) sowie Methan (CH₄), Kohlendioxyd (CO₂) und in geringen Mengen Milchsäure (Lactat) sowie andere kurzkettige Fettsäuren. Die im Pansen gebildeten kurzkettigen Fettsäuren decken bis zu 80 % des Energiebedarfs von Kühen ab (Abbildung 4).

Proteinverdauung

Einen wesentlichen Beitrag zur Aminosäurebedarfsdeckung liefert das im Pansen gebildete Mikrobenprotein. Die Aminosäurezusammensetzung des Mikrobenproteins entspricht in hohem Ausmaß dem Bedarf der Tiere (Abbildung 5).

Nährstoffbedarf von Milchkühen

Energiebedarf

Der Energiebedarf kann in den Erhaltungs- und in den Leistungsbedarf aufgliedert werden. Der Erhaltungsbedarf dient zur Funktionserhaltung lebenswichtiger Organe und zur Sicherung der Leistungsbereitschaft. Dazu zählen beispielsweise der Energiebedarf für die Verdauung, die Nährstoffaufnahme, der Nährstoffumsatz sowie die

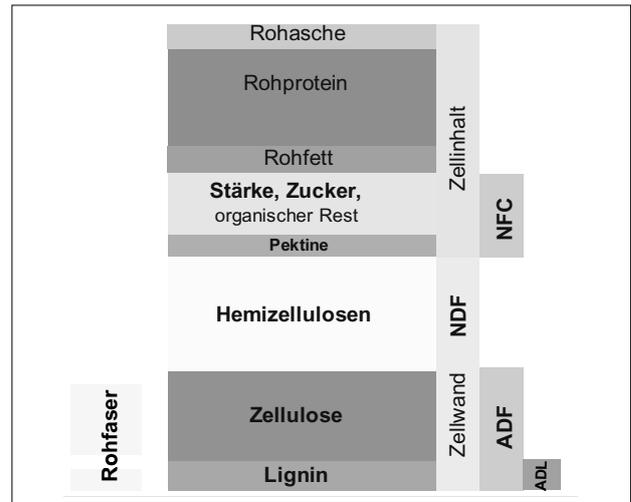


Abbildung 2: Erweiterte Nährstoffanalytik für Futtermittel

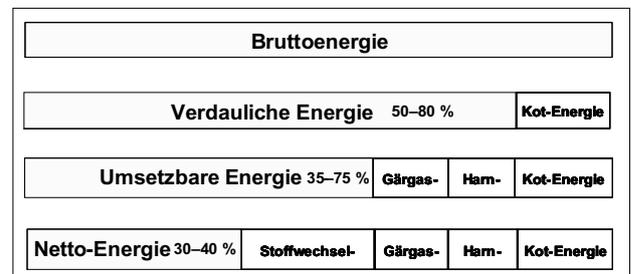


Abbildung 3: Energiemaßstäbe in der Tierernährung

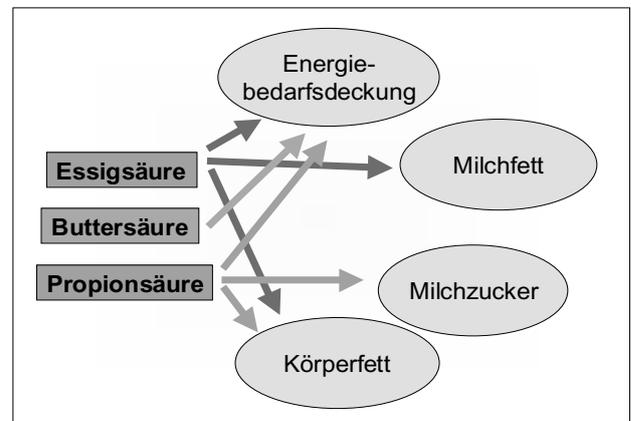


Abbildung 4: Die bedeutendsten Fettsäuren des Pansens und deren Verwertung im Stoffwechsel

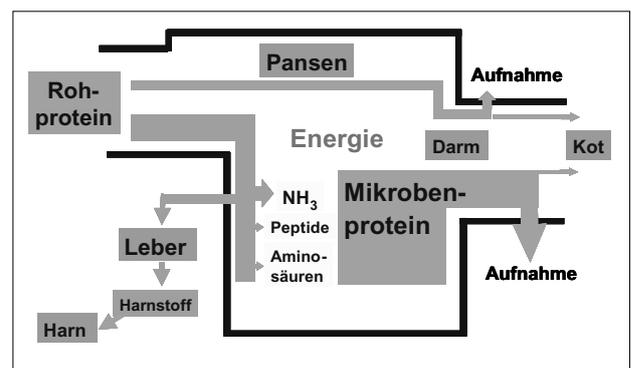


Abbildung 5: Schematische Darstellung des „Eiweißstoffwechsels“ bei Rindern

Bewegungsleistungen zur Aufrechterhaltung der Gesundheit und die Wärmeregulation. Der Erhaltungsbedarf nimmt mit steigendem Lebendgewicht zu. Sehr hohe bzw. sehr niedrige Umgebungstemperaturen, aber auch starke vertikale Bewegung (Almweiden) führen zu einer Erhöhung des Erhaltungsbedarfs.

Der Leistungsbedarf entspricht jener Energiemenge, die zur Bildung von Milch, Zuwachs und für das Wachstum des ungeborenen Kalbes (Fötus) aufgewendet werden muss (Tabelle 1).

Die Körpersubstanz, vor allem das Fett, ist ein gewisser „Nährstoffpuffer“. Bei energetischer Unterversorgung können Nährstoffreserven zur Energiebedarfsdeckung für die Milchbildung herangezogen werden. Eine langfristige und/oder deutliche energetische Unterversorgung verringert jedoch einerseits die Milchleistung und belastet andererseits auch den Stoffwechsel und damit die Gesundheit der Tiere.

Eiweißbedarf

In allen modernen Proteinbewertungssystemen wird das Angebot an mikrobiellem Protein und an pansenunabgebautem Protein im Dünndarm dem Bedarf der Tiere gegenübergestellt.

Im folgenden Abschnitt wird die Proteinbewertung entsprechend den deutschen Normen (GfE, 2001) dargestellt (Abbildungen 6 und 7, Tabellen 2 und 3).

Der Bedarf der Kühe an nutzbarem Rohprotein muss über das Futter weitestgehend gedeckt werden können. Milchkühe haben nur geringe Proteinreserven – es können maximal 100–200 kg Milch aus den Reserven gebildet werden. Die Höhe der mikrobiellen Proteinbildung im Pansen hängt im Wesentlichen von der Versorgung der Pansenmikroben mit Energie (fermentierbarer Substanz) ab.

Die mittlere Mikrobeneiweißbildung beträgt 10,1 g je MJ Umsetzbare Energie. Die Eiweißversorgung muss daher in engem Zusammenhang mit der Energieversorgung betrachtet werden.

Tabelle 1: Formeln zur Berechnung des täglichen Energiebedarfs von Milchkühen (GfE, 2001)

Erhaltungsbedarf: Energie (MJ NEL/Tag) = 0,293 * LG _{0,75} + eventueller Zuschlag für erhöhte Bewegungsaktivität
• Bewegungsaktivität (Weide-Steilflächen etc.) Zuschlag: 1–50 %
Leistungsbedarf: Energie (MJ NEL/Tag) = 3,2 ¹⁾ * kg Milch + eventuell Trächtigkeit + eventuell Körpergewichtszunahme
• Trächtigkeit: 6–4 Wochen vor Kalben (MJ NEL/Tag) = Ø +12,5 MJ
• Trächtigkeit: 3 Wochen bis Kalben (MJ NEL/Tag) = Ø +18 MJ
• Körpergewichtszunahme ²⁾ (MJ NEL/kg Zuwachs) = Ø +25,5 MJ
Gesamtbedarf: (MJ NEL/Tag) = Erhaltungsbedarf + Leistungsbedarf

¹⁾ Energiebedarf/kg Milch in Abhängigkeit vom Fett- und Eiweißgehalt der Milch:
MJ NEL/kg Milch = 0,95 + 0,37 * % Fett + 0,21 * % Eiweiß + 0,1
(0,1 = Zuschlag für den Rückgang der Verdaulichkeit der Energie mit zunehmendem Ernährungsniveau)
²⁾ Eine Lebendgewichtsabnahme liefert etwa 20,5 MJ NEL pro kg Abnahme

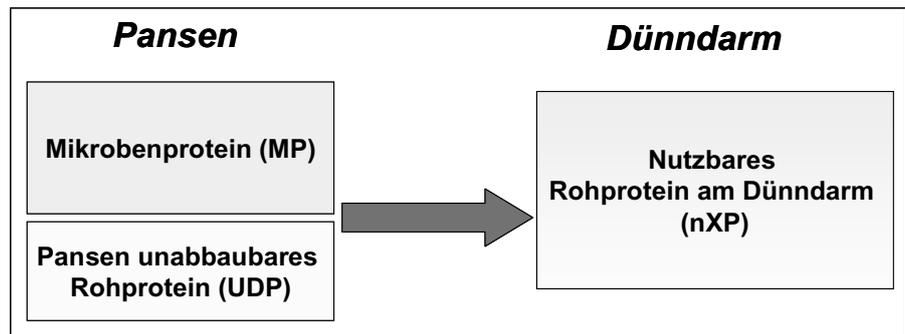


Abbildung 6: Eiweißbedarfsdeckung bei Rindern

Tabelle 2: Richtwerte für den Bedarf an nutzbarem Rohprotein am Dünndarm (nXP) für eine Kuh mit 650 kg Gewicht und 3,4 % Milcheiweiß

Leistung	Futteraufnahme kg/Tag	Gesamtbedarf ^{1) 2) 3)} g nXP/Tag
Trockenstehende Kuh		
4 Wochen vor dem Kalben (680 kg LG)	10,0	1080
3. Woche bis zum Kalben (710 kg LG)	10,0	1170
Laktierende Kuh		
10 kg Milch	12,5	1230
15 kg Milch	14,5	1650
20 kg Milch	16,0	2050
25 kg Milch	18,0	2460
30 kg Milch	20,0	2880
35 kg Milch	21,5	3280
40 kg Milch	23,0	3680
45 kg Milch	24,0	4065

¹⁾ Bei 50 kg Gewichtsabweichung ± 5 g nXP Bedarf
²⁾ Bei 0,1 % Milcheiweißabweichung ± 2,1 g nXP Bedarf je kg Milchleistung
³⁾ Bei 1 kg TM Aufnahmeabweichung ± 30 g nXP Bedarf

Tabelle 3: Formeln zur Berechnung des täglichen Bedarfs an nutzbarem Rohprotein (nXP) von Milchkühen (GfE, 2001)

Nettobedarf an Protein		
Endogene Harn N-Verluste (UNe) * 6,25	=	(5,9206 log kg LG – 6,76) * 6,25
+ Endogener Kot N-Verlust (FNe) * 6,25	=	(2,19 * kg TM) * 6,25
+ Oberflächenverlust an N (VN) * 6,25	=	(0,018 * kg LG _{0,75}) * 6,25
+ Milchprotein in g	=	kg Milch * % Eiweiß * 10
+ eventueller Proteinansatz in g	=	LG-Zunahme kg * 138 (wenn TZ unter 500 g und LG über 550 kg)

Ableitung des Bedarfs an nutzbarem Rohprotein am Dünndarm (nXP)

Aus dem Nettobedarf ergibt sich unter Berücksichtigung

- eines Anteiles des Aminosäuren-N am Nichtammoniak-N von 73%
- einer Absorbierbarkeit des Aminosäuren-N von 85%
- einer Verwertung der absorbierten Aminosäuren von 75%

durch Multiplikation mit dem Faktor 2,1 der Bedarf an nutzbarem Rohprotein am Dünndarm

Bedarf nXP (g) = g Nettobedarf * 2,1

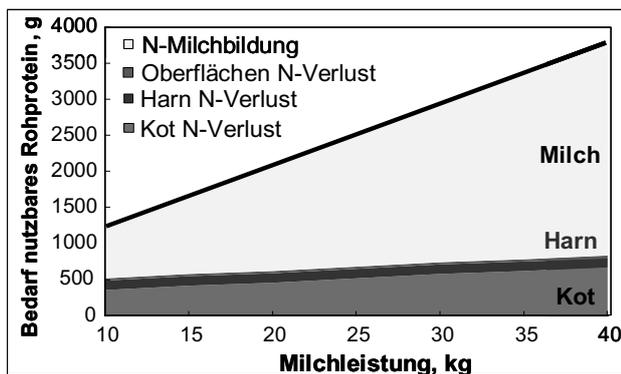


Abbildung 7: Bedarf an nutzbarem Rohprotein im Dünndarm in Abhängigkeit von der Milchleistung

Pansenunabbaubares Futtereiweiß (UDP)

Neben dem von den Mikroben gebildeten Eiweiß stellt das von den Pansenmikroben nicht abgebaute Futtereiweiß auch eine Eiweißquelle für das Tier im Dünndarm dar. In Abhängigkeit von der Pflanzenart und von der technologischen Behandlung (Erhitzung, Trocknung, chemisch geschützt usw.) kann das Futtereiweiß von den Mikroben im Pansen in unterschiedlicher Höhe abgebaut werden.

Der Anteil an UDP am gesamten Eiweißangebot im Dünndarm liegt in einer Milchviehration in Abhängigkeit von den eingesetzten Futtermitteln zwischen 10 und 35 %. Dieser geringe Anteil bedeutet, dass die Eiweißversorgung großteils über Mikrobeneiweiß erfolgt.

Stickstoffbilanz im Pansen

Die Pansenstickstoffbilanz (= ruminale N-Bilanz oder RNB) ist in der Rationsberechnung eine Maßzahl dafür, ob das Verhältnis von Energie zu Stickstoff (Rohprotein) im Pansen ausgeglichen ist.

- Eine positive ruminale N-Bilanz (RNB) ist ein Hinweis für einen Stickstoffüberschuss im Pansen. Dieser kann auf Grund eines Überangebots an pansenabbaubarem Eiweiß und/oder Energiemangel zustande kommen. Ein hoher Milhharnstoffgehalt (über 30 mg/100 ml Milch) ist ein Hinweis für diese Fütterungssituation.
- Eine negative RNB ist ein Hinweis für einen Stickstoffmangel (Rohproteinmangel) im Pansen. Ein geringer Milhharnstoffgehalt (unter 15 mg/100 ml Milch) ist ein Hinweis für diese Fütterungssituation.
- Damit die mikrobielle Aktivität im Pansen und das Leistungspotential der Tiere vollständig ausgeschöpft werden können, sollte eine möglichst ausgeglichene Stickstoff-Pansenbilanz angestrebt werden. In der Rationsgestaltung gilt es daher, eine mehr als 10 %ige Stickstoff-Über- bzw. -Unterversorgung zu verhindern.

Bewertung einer wiederkäuergerechten Ration

Die Komplexität der Wiederkautätigkeit, Speichelbildung und Pansenfermentation erfordert die Berücksichtigung von Nährstoffen, der physikalischen Struktur und managementbedingten Faktoren in der Rationsgestaltung.

Zucker und Stärke

Es müssen die absoluten Mengen in der Tagesration bzw. je Kilogramm Futter beachtet werden. Zusätzlich muss auch bei der Stärke eine Unterscheidung zwischen Pansen abbaubarer und beständiger Stärke getroffen werden.

Grenzwerte

Zucker (XZ)	max. 75 g je kg TM*
Zucker + unbeständige Stärke (XZ + XS – bXS)	max. 250 g je kg TM
Beständige Stärke (bXS)	10 bis 60 g je kg TM (max. 1.500g pro Tag)
Nicht-Struktur-Kohlenhydrate (NFC)	max. 380 g je kg TM (max. 440 g**)

*) eine Überschreitung ist im Einzelfall möglich – höhere Anteile an NDF und ADF bzw. beständiger Stärke sowie gleitende Futterumstellungen sind in diesen Fällen unbedingt erforderlich

**) nur bei hohen Anteilen an beständiger Stärke und NDF aus dem Grundfutter und TMR!

Rohfaser, NDF und ADF

Für die Versorgung mit Strukturkohlenhydraten liegen sehr unterschiedliche Empfehlungen vor. Einen Einfluss darauf haben die Grundfutterzusammensetzung, die Leistungshöhe, das Laktationsstadium, die Fütterungstechnik und das Management.

Grenzwerte

NDF	min. 280 g je kg TM (min. 250 g ^{*)})
NDF aus Grundfutter (NDFG)	min. 180 g je kg TM (min. 150 g [*])
ADF	min. 180 g je kg TM (min. 170 g ^{*)})
Rohfaser (XF)	min. 160 g je kg TM (min. 150 g ^{*)})

* nur bei hohen Anteilen an NDF aus Grundfutter, bei ausreichender Partikellänge, geringem NFC Anteil, hohen Anteilen an beständiger Stärke und TMR!

Futterpartikellänge

Mit hohem Kraftfutteranteil in der Ration muss zunehmend Augenmerk auf die Grundfutterpartikellänge gelegt werden.

Zur Ausbildung der notwendigen Faserschicht im Pansen sind mehr als **15 %** des Grundfutters mit einer tatsächlichen Partikellänge **über 2 cm** (besser 4–5 cm) erforderlich.

Eine einfache Methode der Bewertung der physikalischen Struktur von Rationen (insbesondere der TMR) ist die Schüttelbox.

Bedarf an Strukturwert (SW):

Mengenelemente und Spurenelemente

Die in der Literatur angegebenen Versorgungsempfehlungen mit Mineralstoffen beinhalten üblicherweise „Sicherheitszuschläge“. Diese Zuschläge sollen eine Unterversorgung mit Mineralstoffen auf Grund möglicher Schwankungen in der Verwertbarkeit der Mineralstoffe bzw. Mängel in der Abschätzung des Bedarfs der Tiere und des Angebots im Futter verhindern.

Letztendlich entscheidet nicht allein das Grundfutter, sondern auch das Kraftfutter über die Mineralstoffversorgung. Somit kann eine exakte Mineralstoffergänzung erst auf der Grundlage einer Gesamtbilanz erfolgen.

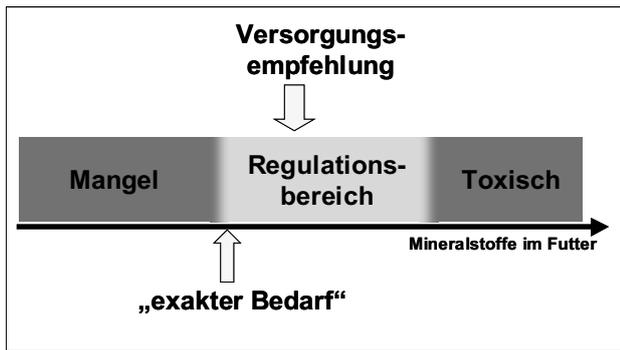


Abbildung 8: Bedarf an Mineralstoffen und Versorgungsempfehlungen (schematisch)

Table 4: Mineralstoffversorgungsempfehlungen für Milchkühe und Angebot in ausgewählten Futtermitteln je kg Trockenmasse (nach GfE, 2001, WIEDNER u. Mit., 2001)

Mineralstoff	Versorgungsempfehlung Milchkühe			Gehaltsbereich			
	40 kg Milch	10 kg Milch	Trocken- stehend	Grünland- futter	Mais- silage	Gersten- stroh	Gerste
Calcium, g/kg TM	6,4	4,1	3,2	5–10	2–2,5	4,5–5,0	0,8
Phosphor, g/kg TM	4,0	2,6	2,1	2–4	2–2,3	0,6–1,0	3,9
Magnesium, g/kg TM	1,6	1,5	1,5	2–3	1,3–1,5	0,8–1,0	1,3
Natrium, g/kg TM	1,5	1,2	1,0	0,2–0,5	unter 0,1	3,5–3,9	0,32
Kupfer, mg/kg TM	10	10	10	5–10	4–5	4–6	6,1
Mangan, mg/kg TM	50	50	50	40–100	25–30	70–90	18
Selen, mg/kg TM	0,20	0,20	0,20	0,05–0,30	0,15–0,20	k. A.	0,17
Zink, mg/kg TM	50	50	50	20–50	20–25	40–50	32

Die Mineralstoffergänzung kann über das Einmischen der Mineralstoffträger in das Kraftfutter oder individuelles händisches Zuteilen (Streuen über das Grundfutter etc.) erfolgen. Dabei können auch Mischungen von handelsüblichen Mineralstoffmischungen, Futterkalk und jodiertem Viehsalz eingesetzt werden.

Literatur:

DE BRABANDER, D.J., J.L. DE BOEVER, J.M. VANACKER, C.V. BOUCQUE and S.M. BOTTERMANN, 1999: Evaluation of physical structure in dairy cattle nutrition. In: Recent advances in Animal Nutrition (Eds. P.C. Gransworthy and J. Wiseman), Nottingham University Press, 111-145.

DLG (Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft), 2001: Struktur- und Kohlenhydratversorgung von Milchkühen. DLG-Information 2/2001

DLG (Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft), 1997: DLG Futterwerttabellen Wiederkäuer, 7., erweiterte Auflage

GfE (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 2001: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder

GRUBER, L., 2006: Schätzung der Futteraufnahme von Milchkühen, DLG- Information 1/2006

INRA, 1989: Ruminant Nutrition. Recommended Allowances and Feed Tables. Institut National de la Recherche Agronomique, INRA Paris, 389 S.

ÖAG (Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau), 2006: Futterwerttabellen für das Grundfutter im Alpenraum, ÖAG Info 8/2006.