

# Bedarfsgerechte Versorgung des Rindes mit Mineralstoffen und Spurenelementen im Hinblick auf Gesundheit, Fruchtbarkeit und Leistung\*)

Josef Pallauf, Gießen


*Hinsichtlich der Einflüsse der Energie- und Eiweißversorgung der Milchkuh auf Gesundheit, Fruchtbarkeit und Leistung konnten in den vergangenen Jahren wesentliche neue Erkenntnisse gewonnen werden. Dies war vor allem durch die genaueren Untersuchungen des mikrobiellen Stoffwechsels in den Vormägen möglich. Die Fortschritte in der Tierernährungsforschung auf dem Gebiet der Mineralstoffe und Spurenelemente erscheinen demgegenüber weniger auffällig. Bei steigendem Leistungsniveau verstärkt sich jedoch auch die Gefahr von Fertilitätsstörungen oder Gesundheits- und Leistungseinbußen, die durch Fehlernährung mit Mineralstoffen oder Spurenelementen verursacht werden können. Aus diesem sehr komplexen Thema sollen nachfolgend einige Aspekte behandelt werden.*

## Bedeutung von Mengen- und Spurenelementen sowie deren Wechselwirkungen für die Fertilität des Rindes

Mineralstoffe im weiteren Sinne können in Mengen- und Spurenelemente unterteilt werden. Als Spurenelemente werden dabei jene chemischen Elemente bezeichnet, die eine Konzentration von maximal 50 mg pro kg Körpermasse, d. h. 50 parts per million (50 ppm), normalerweise nicht überschreiten. In Tabelle 1 sind die kritischen Elemente, bei denen unter Praxisbedingungen die Gefahr einer Unterversorgung besteht, besonders hervorgehoben. Diese Abgrenzung ist bei den Mengenelementen ziemlich eindeutig. Calcium, Phosphor, Magnesium und insbesondere auch Natrium bedürfen besonderer Aufmerksamkeit und vielfach einer Ergänzung, während Kalium, Chlorid und Schwefel normalerweise in bedarfsdeckenden Mengen in der Futterration enthalten sind. Eine Zulage von Schwefel könnte lediglich bei extremen Rationen mit hohem Anteil an Nicht-Protein-Stickstoff (NPN) erforderlich sein.

Tabelle 1: Essentielle Mengen- und Spurenelemente

MINERALSTOFFE			
Mengenelemente		Spurenelemente	
Calcium	Kalium	Eisen	Jod
Phosphor	Chlorid	Kupfer	Selen
Magnesium	Schwefel	Zink	Molybdän
Natrium		Mangan	Nickel
		Kobalt	Chrom und andere

 Häufig keine bedarfsgerechte Versorgung der Milchkuh aus den nativen Gehalten der Futtermittel

Bei den Spurenelementen ist die Abgrenzung zwischen ausreichend aus nativen Gehalten der Futtermittel gelieferten Elementen und solchen, die teilweise ergänzungsbedürftig sind, weniger klar zu treffen. Ein besonderes Augenmerk richtet sich unter den Ernährungsbedingungen in der Bundesrepublik jedoch auf Kupfer, Zink, Mangan, Kobalt und eventuell noch Jod.

In Tabelle 2 sind erwiesene und mögliche Beteiligungen von Mineralstoffen und Spurenelementen an der Steuerung des Fruchtbarkeitsgeschehens aufgeführt. Calcium und Kalium wirken dabei insbesondere auf die Ovartätigkeit. Eine Abhängigkeit zwischen Ca- und P- bzw. Na-

und Kaliumversorgung und den fortpflanzungsphysiologischen Funktionen des Uterus dürfte nach GÜNTHER (1976) hingegen nur unter extremen Versorgungsbedingungen erkennbar sein. Essentielle Funktionen in allen drei aufgeführten Bereichen der Fertilität werden von einer Reihe von Spurenelementen erfüllt. So kann z. B. eine unzureichende Versorgung mit Mangan zu stiller Brunst bzw. Anöestrie oder erhöhter Abortrate bzw. zu einer Verschiebung des Geschlechter-Verhältnisses bei den Neugeborenen nach der männlichen Seite führen, wie dies ANKE und HENNIG (1972) aus Untersuchungen an Ziegen und Rindern berichten.

Tabelle 2: Steuerung von Fertilitätsphänomenen durch einige Mineralstoffe und Spurenelemente bei weiblichen Tieren (GÜNTHER, 1976)

Fertilitätsphänomene	Mineralstoff	Spurenelement
A Ovarcyclus, Follikelreifung, Ovulation, Brunst	Ca, K P ?, Na ?	Mn, Zn, J
B Samentransport, Befruchtung, Nidation, embryonale Frühentwicklung		Cu, Mn
C Placentation, foetale Entwicklung, Geburt	Ca ?, P ? Na ?, K ?	Mn, J Se, Co

Aus Feldstudien wurde verschiedentlich berichtet, daß durch orale oder parenterale Cu-Zulagen die Fruchtbarkeit von Kühen verbessert werden konnte. Zwischen der Cu-Konzentration des Blutes bzw. der Leber und der Fertilität des Rindes ließ sich dabei allerdings kein klarer Zusammenhang darstellen (HIDIROGLOU, 1979). Neuerdings berichtete BOSTEDT (1982) über Fälle von Cu-Mangel in der Bundesrepublik. Bei Färsen im zuchtfähigen Alter waren kleine unterentwickelte Ovarien zu verzeichnen. Die bei Kühen beobachteten Mangelsymptome waren verspäteter Eintritt des ersten Ostrus nach dem Kalben, schwach ausgeprägte Brunstsymptome und gehäuft auftretende Verzögerungen bei der Ovulation. Die Verbesserung der Cu-Versorgung zeigte dabei deutliche Erfolge.

Als Beispiel für die biochemischen Funktionen von Zink seien einige Zink-Metalloenzyme, wie Kohlensäureanhydratase, alkalische Phosphatase, Carboxypeptidase A und B sowie Lactat- und Glutamat-dehydrogenase angeführt. Darüber hinaus spielt Zink bei vielen Enzymen auch die Rolle eines aktivierenden Co-Faktors (siehe PALLAUF, 1971): Ein Rückgang der Aktivität der Kohlensäureanhydratase – kurz auch Carboanhydrase genannt – im Zinkmangel wird mit vermehrten Aborten in Zusammenhang gebracht (GÜNTHER, 1976).

Die Vielfalt der Zn-Enzyme läßt erahnen, welche weitreichenden Folgen ein Zinkmangel für den Organismus haben muß. Würden z. B. entwöhnte Ratten über 35 Tage mit einer sehr zinkarmen Diät depletiert, so zeigten sich unter anderem Anorexie, Alopecie und reduziertes Wachstum, während sich die Kontrolltiere mit derselben Diät plus ausreichender Zinkzulage völlig normal entwickelten (PALLAUF und KIRCHGESSNER, 1971).

Ausgeprägte Zinkmangelsymptome konnten von SCHWARZ und KIRCHGESSNER (1975) auch an Milchkuhen experimentell ausgelöst werden. An den Extremitäten zeigten sich dabei teils nässende, teils trockene gründartige Schuppen mit tiefen Rhagaden, die sehr leicht zu Blutungen und Sekundärfektionen führten. Nach Zinkzulage verschwanden diese Symptome innerhalb weniger Wochen vollständig. Die früher vielfach geäußerte Ansicht, Zinkmangel würde zur Anöestrie führen, konnte in diesen Untersuchungen allerdings nicht bestätigt werden (SCHWARZ und KIRCHGESSNER, 1975).

## Bedeutung der Phosphorversorgung

Bei den Mengenelementen wurde speziell Phosphormangel seit Jahrzehnten für Fruchtbarkeitsstörungen verantwortlich gemacht. Es ist zu vermuten, daß beispielsweise lange vor dem gezielten Einsatz von Mineralfuttermitteln die Verwendung von Kleie als Phosphorträger unter bestimmten Bedingungen positive Wirkungen auf Leistung und Fruchtbarkeit von Milchkuhen zeigte.

Es liegen eine Fülle von Erhebungen aus der Praxis sowie mehr oder minder exakte Untersuchungsergebnisse vor, nach denen bei Herden mit mangelhafter Fruchtbarkeit in der Vergangenheit häufig eine Unterversorgung mit P zu verzeichnen war. Statistisch gesicherte

\*) Nach einem Vortrag anlässlich einer wissenschaftlichen Tagung der Fachabteilung Mineralfuttermittel in Münster

Beziehungen zwischen Mineralstoffversorgung und Fruchtbarkeitsmerkmalen können jedoch kaum als klarer Beweis für Ursache und Wirkung gelten oder gar zwingend zur Aufklärung von Kausalzusammenhängen führen.

Da die Ursachen ernährungsbedingter Fertilitätsstörungen meist polyfaktorierter Natur sind, ist bei der Interpretation von Erhebungsergebnissen generell große Vorsicht geboten. Vielfach sind unter praktischen Bedingungen Spurenelement- und Mineralstoffmangel mit unzureichender Energie- und/oder Proteinversorgung gekoppelt, sei es durch mangelnde Grundfutteraufnahme oder durch unzureichende Kraftfuttergaben. In diesem Zusammenhang wird verschiedentlich auch von „Hungersterilität“ gesprochen.

KONERMANN stellte 1967 anhand von Untersuchungen in 123 Rinderherden fest, daß die auf einem P-Defizit beruhenden Fertilitätsstörungen durch Verbesserung der P-Versorgung aufgehoben werden konnten. Diese Tendenz blieb jedoch nur bis zu einem Überschuß von etwa 10 g P je Tier und Tag – gemessen an den damals gültigen Bedarfsnormen – erhalten. Eine weitere Erhöhung des P-Angebotes wirkte sich jedoch bereits wieder in Richtung einer Depression der Befruchtungsergebnisse aus. Ein hinsichtlich Fruchtbarkeit optimales Ca:P-Verhältnis wurde dabei zwischen 2,0–2,5:1 festgestellt, während sich ein Anstieg auf über 4:1 nachteilig auswirkte.

Bei unterschiedlichen Ca:P-Verhältnissen, verbunden mit Abstufungen im P-Gehalt des Futters, stellten auch STEEVENS et al. (1971) Unterschiede in den Konzeptionsraten fest. So wurde durch eine Erhöhung des P-Gehaltes der Ration um annähernd 50% der Besamungsindex von 2,6 auf 2,1 verbessert, obwohl die Vergleichsgruppe eine dem P-Bedarf entsprechende P-Menge erhielt.

Bei höheren P-Gaben dürfte nach GÜNTHER (1976) ein Ca:P-Verhältnis im Bereich zwischen 2,5–3,5:1 die besten Konzeptionsraten ergeben, während bei niedriger Gesamt-P-Versorgung ein Ca:P-Verhältnis von 1:1 bis 2:1 zu den höheren Konzeptionsraten führen dürfte.

In umfangreichen Untersuchungen von SONDEREGGER (1976) an Praxisbetrieben in der Schweiz zeigte sich, daß das Ca:P-Verhältnis in einem breiten Bereich zwischen 1,6 und 4,8:1 schwankte, ohne daß allerdings ein negativer Effekt auf die Fruchtbarkeit nachweisbar war. Ein positiver Einfluß der P-Zufuhr auf die Fertilität wurde dabei in 55 Praxisbetrieben festgestellt. Eine P-Versorgung von bis zu 10 g über dem von BECKER (1971) angegebenen Bedarf im 3. und 4. Laktationsmonat führte zu kürzeren Intervallen zwischen Abkalben und erneuter Gravidität. P-Überschüsse zeigten insgesamt keine nachteiligen Folgen, wenn dem Ca:P-Verhältnis die erforderliche Beachtung geschenkt wurde. Die günstigen Wirkungen eines begrenzten P-Überschusses könnten dabei jedoch zumindest teilweise auch auf einen damit verbundenen höheren Kraftfuttereinsatz sowie eine durch Mineralfuttergaben insgesamt verbesserte Wirkstoffversorgung zurückzuführen sein.

Sowohl durch höhere Kraftfuttergaben als auch durch Steigerung der P-Gehalte im Grundfutter (siehe PALLAUF, 1976) trat in den vergangenen Jahren teilweise eine wesentliche Verbesserung der P-Versorgung ein. Kommt in diesen Fällen dann auch noch ein P-reiches und Ca-armes Mineral- bzw. Kraftfutter zum Einsatz, so wird ein gegebenfalls vorhandener absoluter beziehungsweise relativer Mangel an Calcium unter Umständen noch verschärft.

LOTTHAMMER und AHLSEWEDE (1973) berichten, daß von 59 wegen Fruchtbarkeitsproblemen untersuchten Rinderbeständen (ausschließlich Betriebe ohne Zuckerrübenblatt-Fütterung) 85% der Betriebe in der Gesamtration ein Ca:P-Verhältnis aufwiesen, das unter 1:1 lag. Zu 80% zeigte sich dabei ein P-Überschuß von 20 bis 70 g je Tier und Tag. Die klinischen Befunde (vergrößerte Ovarien, selten Follikel) ähnelten den bei Proteinüberschuß festgestellten Symptomen. Ein überhöhter Einsatz proteinreichen Kraftfutters könnte in diesen Fällen sowohl zu einem Protein-, wie auch P-Überschuß geführt haben.

In einem weiteren Beitrag berichtet LOTTHAMMER (1980), daß im Durchschnitt mehrerer Jahre bei 535 erfaßten Betrieben mit Fruchtbarkeitsstörungen in 25% der Fälle ein P-Überschuß bzw. ein zu enges Ca:P-Verhältnis mit Ca-Mangel und in 16% der Fälle ein P-Mangel vorlag. Nach GÜNTHER (1976) toleriert eine Milchkuh allerdings das 2,5fache des Ca-Bedarfes und das 2,0fache des P-Bedarfes weitgehend ohne gesundheitliche Störungen, wenn das physiologisch optimale Ca:P-Verhältnis eingehalten wird.

Nicht unerwähnt sollen in diesem Zusammenhang die vielzitierten Versuche von HOLZSCHUH et al. (1970) bleiben, in denen bei experimentell erzeugtem P-Mangel zwar typische P-Mangelsymptome wie Skelettschäden, reduzierte Gewichtsentwicklung und verminderte Futteraufnahme auftraten, jedoch kein direkter negativer Einfluß auf die Fertilität der untersuchten Jungtiere und Schafe nachzuweisen war. Auch die Untersuchungen der Uteri und Ovarien zu Versuchsende ergaben keine Hinweise auf funktionelle Störungen. Die Autoren schließen jedoch indirekte Beziehungen zwischen P-Versorgung und Fruchtbarkeitsstörungen nicht aus. WIESNER (1972) kommt zu dem Schluß, daß dem Element Phosphor für die Fertilität des Rindes wohl nicht die dominierende Rolle zukommt, die diesem Element in der Vergangenheit teilweise zugeschrieben wurde.

Wie bereits erwähnt, ist aber auch festzustellen, daß extreme P-Mangelercheinungen heute sehr viel seltener vorzufinden sind als dies früher der Fall war. Falsch wäre es jedoch, die P-Gehalte der Rationen pauschal als nicht mehr ergänzungsbedürftig zu betrachten.

Neuerdings wurde mehrfach untersucht, ob sich der P-Bedarf der Pansenmikroben wesentlich vom Bedarf des Wirtstieres unterscheidet (siehe DURAND und KAWASHIMA, 1980). Dabei wird geschätzt, daß etwa 5,7 g P je kg im Pansen fermentierter organischer Substanz erforderlich sind. Bei 65%iger Fermentierung der Gesamtverdaulichen organischen Substanz im Pansen würde dies 3,7 g P je kg verdaulicher organischer Substanz bedeuten. Damit läge der P-Bedarf der Pansenmikroben im Bereich der auch für das Wirtstier unterstellten Größenordnung.

### Interaktionen und Verwertung von Mineralstoffen und Spurenelementen

Neben Ca und P müssen zur Ermöglichung einer optimalen Fruchtbarkeit in der Fütteration der Milchkuh auch die übrigen Elemente in einem physiologischen Verhältnis zueinander vorliegen. Tabelle 3 zeigt, daß hierbei gewisse Grenzen weder unter- noch überschritten werden sollten. Vor allem das Verhältnis von K:Na ist in manchen Grundfuttermitteln häufig extrem weit und muß dann durch zusätzliche Natriumgaben entsprechend enger eingestellt werden.

**Tabelle 3: Gewichtsverhältnisse zwischen Mengen- und Spurenelementen im Hinblick auf optimale Fertilitätsphänomene weiblicher Rinder (GÜNTHER, 1976)**

Ca : P	= > 1 : 1 und < 3,5 : 1
K : Na	= > 4 : 1 und < 20 : 1
K : P	= > 1 : 1 und < 7 : 1
Ca : Mn	= > 100 : 1 und < 200 : 1
Ca : Zn	= > 100 : 1 und < 200 : 1
Ca : Cu	= > 300 : 1 und < 500 : 1

Aufgrund zahlreicher Wechselwirkungen zu Calcium ist auch für die Spurenelemente neben der absoluten Menge zur Bedarfsdeckung ein physiologischer Rahmen für ihr optimales Gewichtsverhältnis zu Calcium vorgegeben, der möglichst nicht verlassen werden sollte.

Tabelle 4 gibt nach MILLS und WILLIAMS (1971) weitere Beispiele für Einflüsse und Wechselwirkungen bei der Spurenelementverwertung. Während bei monogastrischen Organismen das Phytin der generativen Pflanzenteile eine besondere Rolle spielt, ist beim Wieder-

käuer u. a. das Problem der reduzierten Kupferverwertung bei hohen Schwefel- und Molybdängehalten der Diät gegeben. In einer Reihe neuerer Untersuchungen konnte gezeigt werden, daß bei Lämmern und Kälbern vor dem Entwöhnen von der Tränke die Absorptionsrate für Kupfer mit 50–70% wesentlich höher liegt als nach dem Entwöhnen mit 10–30% (siehe BREMNER und DAVIES, 1980).

**Tabelle 4: Nahrungskomponenten, die in hohen Konzentrationen die Spurenelementverwertung verschlechtern**

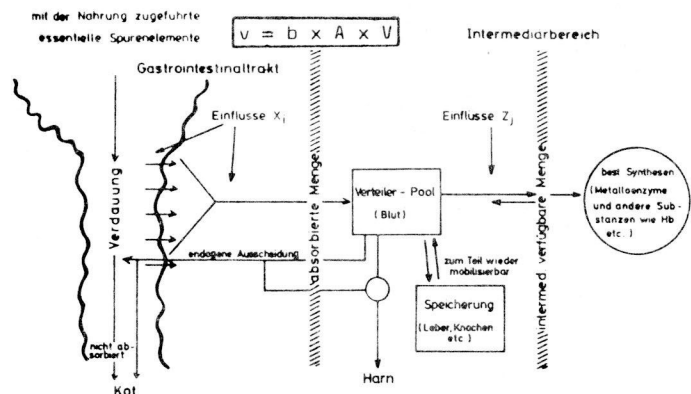
beeinflusstes Element	Nahrungsbestandteile
Cu	Mo, org. und anorg. S-Verbindungen (Phytin <sup>*)</sup> , Fe, Zn, Cd
Fe	Ca, P, Cu, Zn, Carbonate, Phytin <sup>*)</sup>
Mn	P, Phytin <sup>*)</sup>
Se	org. und anorg. S-Verbindungen, Sn
Zn	Ca, Cu, Cd, Phytin <sup>*)</sup>

<sup>\*)</sup> bei monogastrischen Tieren

Die Ursache der Cu-Mo-S-Interaktion wird heute in der Bildung von Tetrathiomolybdät (MoS<sub>4</sub><sup>2-</sup>) im Pansen vermutet, das wahrscheinlich sowohl die intestinale Absorption von Cu reduziert, als auch dessen intermediäre Verfügbarkeit verschlechtert. Der Blut-Cu-Spiegel ist dabei erhöht, während die Leber reduzierte Cu-Gehalte aufweist (siehe BREMNER und DAVIES, 1980). Auch andere Diätfaktoren können die Verwertung der Spurenelemente stark beeinflussen. In Untersuchungen am Schaf fand GRACE (1975) eine Verfügbarkeit des nativen Kupfergehaltes aus Weidelgras von 30%, aus Weißklee von 34% und aus Rotklee von nur 9%.

Obwohl in der Mineralstoff- und Spurenelementforschung in der Vergangenheit große Fortschritte erzielt wurden, sind noch keineswegs alle grundlegenden Vorgänge bei Absorption und Verwertung vollends geklärt. Methodisch wird heute die Absorbierbarkeit aus dem Gastrointestinaltrakt (A) von der intermediären Verfügbarkeit (V) getrennt (Abbildung 1). Aus beiden Größen ergibt sich schließlich die

**Abbildung 1: Schematisierte Auftrennung der Verwertung von Spurenelementen in Teilmengenbereiche.**



(Kirchgeßner, Müller, Weigand, Graßmann, Schwarz, Pallauf, Roth, 1974).

Gesamtverwertung eines Elementes. Die intermediär verfügbare Menge (v) eines Spurenelementes errechnet sich somit als Produkt aus der zugeführten Menge (b) x Absorbierbarkeit x intermediäre Verfügbarkeit. Die Quantifizierung der Einzeleinflüsse stellt dabei allerdings noch ein weithin ungelöstes Problem dar.

### Schwermetalle als Schadstoffe

Wechselwirkungen zu den essentiellen Mengen- und Spurenelementen weisen auch die anorganischen Schadstoffe auf. Im Vordergrund wissenschaftlicher Forschung stehen dabei die Schwermetalle Pb, Cd und Hg, die z. B. durch Hemmung von Enzymen, Störungen des Elektrolythaushaltes und des Ca-, Fe-, und Zn-Stoffwechsels den Organismus belasten. Speziell bei Cadmium kann zwar von einer relativ niedrigen Absorptionsrate im Gastrointestinaltrakt ausgegangen werden, doch reichert sich dieses Schwermetall durch eine lange Verweildauer im Organismus an.

Die Kontamination des Bodens und der Pflanze wird im allgemeinen mit der sprunghaft gestiegenen Industrialisierung im 20. Jahrhundert in Zusammenhang gebracht und stellt auch heute noch in erster Linie ein Problem in Ballungsgebieten dar. In unmittelbarer Nähe von Industrieanlagen kann dabei ausnahmsweise die akute Toxizität von Bedeutung sein. Diese scheint bei Milchkühen oder allgemein bei ausgewachsenen Wiederkäuern im Falle des Cd relativ gering zu sein. MILLER et al. (1967) konnten bei fünf Milchkühen, die in einem 14tägigen Versuch täglich 3 g Cd als CdCl<sub>2</sub> - entsprechend 250 bis 300 ppm Cd in der Futtertrockenmasse - erhielten, trotz eines starken Absinkens des Kraftfutterverzehrs und der Milchleistung sowie des Körpergewichtes klinisch keine Anzeichen einer akuten Toxizität feststellen.

Bei längerfristiger Aufnahme liegen die tolerierbaren Mengen um Zehnerpotenzen tiefer. Gemessen an den von OELSCHLAGER (1974) ermittelten Durchschnitts- und Höchstgehalten an Cadmium in verschiedenen Futtermitteln des süddeutschen Raumes besteht nach heutiger Kenntnis für den Wiederkäuer im allgemeinen noch keine Gefahr einer chronischen Toxizität. Die Gehalte von Grünfuttermitteln reichten dabei von ca. 0,1 ppm Cd in der TM des Weidegrases bis ca. 0,6 ppm in der TM von Rübenblatt, während Getreide mit Ausnahme von Weizen noch niedrigere Gehalte aufwies. Besondere Aufmerksamkeit erfordert dagegen der hohe Cd-Gehalt in mineralischen Futtermitteln, der vor allem durch die Einmischung von Rohphosphaten und Zinksalzen verursacht werden kann. An einer allerdings nur geringen Probenzahl (n = 7) ermittelte OELSCHLAGER (1974) zwischen 1 und 21 ppm Cd in handelsüblichen Mineralfuttermitteln für Rinder. Im Organismus führt das Cd sowohl zu einer verminderten Absorption von Zn, Cu und Fe als auch zu einer Umverteilung dieser Elemente, so daß daraus z. B. typische Cu-Mangelzustände entstehen können (GROPPEL, 1969) und das Cd somit sekundär toxisch wirken dürfte. Dadurch werden wiederum Gesundheit, Fruchtbarkeit und Leistung des Rindes negativ beeinflusst.

### Möglichkeiten zur Ermittlung des Versorgungsstatus

Die Möglichkeit, mit Hilfe von Mineralstoff- und Spurenelementanalysen aus Blut-, Serum-, Speichel- oder Organproben einfach und zuverlässig auf die Versorgungslage des Organismus zu schließen, besteht leider aus verschiedenen Gründen nicht uneingeschränkt. Vielmehr führten umfangreiche Untersuchungen zu der Erkenntnis, daß nur bei bestimmten Mengen- und Spurenelementen mit Hilfe geeigneter Parameter und unter Berücksichtigung physiologischer Veränderungen und exogener Einflüsse gewisse Rückschlüsse auf den

Versorgungsstatus möglich sind. Zu diesen teilweise geeigneten Parametern zählen u. a. der Spurenelementgehalt des Haares, der Mineralstoffgehalt des Speichels sowie der Mineralstoff- und Spurenelementgehalt des Blutserums.

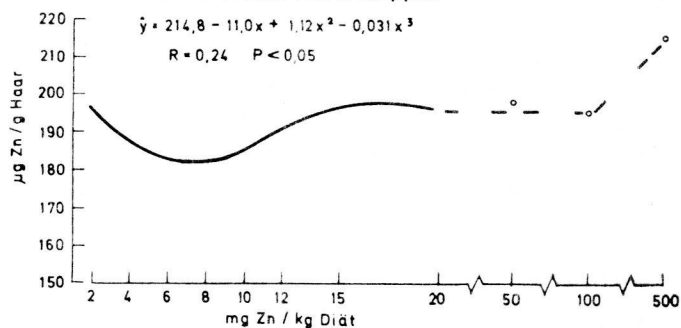
**Analysen des Haares und des Speichels:** Zur Haaranalyse ist zu bemerken, daß eine Reihe endogener und exogener Einflüsse auf das Haar einwirken, die demzufolge mögliche Rückschlüsse auf den Versorgungsstatus erschweren.

Im Falle der Mengenelemente ist die Haaranalyse als ungeeignet anzusehen. Außerdem reagiert der Aschegehalt des Haares relativ träge auf Versorgungsänderungen, und einmal eingelagerte Elemente können nicht mehr mobilisiert werden.

Dennoch hat man auch beim Menschen versucht, aus dem Haar-Zinkgehalt auf die Zinkversorgung aus der Nahrung zu schließen, zumal es Anhaltspunkte aus Tierexperimenten gibt, daß durch Zinkmangel Lernfähigkeit und Intelligenz des wachsenden Individuums negativ beeinflusst werden.

Abbildung 2 zeigt Ergebnisse über die Abhängigkeit der Zinkkonzentration des Haares vom Diätzinkgehalt aus Versuchen am Modelltier Ratte (PALLAUF und KIRCHGESSNER, 1973). Dabei ergab sich eindeutig, daß ein positiver Zusammenhang nur in einem engen Bereich, der im vorliegenden Beispiel anhand einer halb-synthetischen Caseindiät

**Abbildung 2: Abhängigkeit der Zinkkonzentration des Haares vom Diätzinkgehalt - die berechnete Regression gilt für den Bereich von 2-20 ppm**



mit hoher Zn-Verwertbarkeit zwischen etwa 8 und 15 ppm Diätzink lag, besteht. Bei extremer Mangellage blieb der Zinkgehalt des Haares durch völlige Stagnation des Haarwachstums konstant, während zwischen 4-8 ppm Diätzink der Haar-Zinkgehalt sogar abfiel. Dies wiederum erklärt sich aus dem unterschiedlichen Anteil von altem Normalhaar und neugewachsenem zinkarmem Haar nach dreiwöchiger Versuchsdauer.

Nach der in Tabelle 5 wiedergegebenen Zusammenstellung ist die Haaranalyse zur Beurteilung des Versorgungsstatus bei einer Reihe von Spurenelementen geeignet. Anhand der vielen aufgeführten weiteren Einflußfaktoren ist allerdings erkennbar, daß der Haartest auch erhebliche Schwächen aufweisen kann.

**Tabelle 5: Anzeigevermögen des Spurenelementstatus durch das Haar sowie endogene Abhängigkeit und Normalwerte (ANKE u. RISCH, 1979)**

Parameter	Mn	Cu	Zn	Se	Mo	J	Cd	Pb	Hg
Anzeigevermögen	++	++	+	+++	+++	+++	+++	++	++
beeinflusst durch:									
Haarart	+++	++	++	+	-	-	+		
Haarfarbe	+++	-	-	-	+++	-	(+)		
Geschlecht	-	-	+	-	-	-	+		
Haaralter	+++	(+)	(+)	-	-	++			
Alter, adult	-	-	-	-	-	-	(+)		
Abstammung	-	++	++						
Gravidität	-	++	-						
Schnittiefe	-	(+)	-					+	+
Normalwerte (ppm)									
Kuh, schwarzes Deckhaar	> 6,0	> 6,0	> 100	> 0,25	< 0,35	> 0,08	< 0,1	< 10	

+ = Starke homoostatische Kontrolle bzw. schwacher endogener Einfluß  
+++ = Schwache endogene Kontrolle bzw. starker endogener Einfluß

Untersuchungen des Mineralstoffspiegels im Speichel werden vor allem als Versorgungskriterium für Natrium und Kalium herangezogen (Tabelle 6). Natriummangel führt dabei zu einer deutlichen Senkung des Na-Spiegels im Speichel, während der K-Spiegel kompensatorisch stark ansteigt.

**Tabelle 6: Vorläufige Grenzwerte für den Natrium- und Kaliumgehalt im Speichel (Niederländische Kommission zur Untersuchung der Mineralstofffütterung, 1973)**

Natrium mg/ 100 ml	Kalium mg/ 100 ml	Beurteilung der Natriumversorgung
über 300	unter 50	normale bis gute Versorgung (Normalwerte: 330 ± 30 mg Na/100 ml bzw. 30 ± 10 mg K/100 ml)
300 - 200	50 - 150	Hinweis auf ungenügende Versorgung, evtl. noch keine nachteiligen Folgen
200 - 100	150 - 250	ungenügende Versorgung, Mangelerscheinungen zu erwarten
unter 100	über 250	starker Mangel, Auftreten von teilweise erheblichen Mangelerscheinungen

**Blutanalysen:** Sehr differenziert stellt sich die Eignung von Mineralstoffgehalten des Blutserums bzw. Blutplasmas als Versorgungskriterium dar. Der Ca-Spiegel wird über einen sehr weiten Versorgungsbereich durch eine ausgeprägte Homöostase unter hormoneller Kontrolle in einem engen physiologischen Bereich konstant gehalten. Dies ist wegen vielfältiger Funktionen des Ca, wie Beeinflussung der Permeabilität der Zellmembranen, Beteiligung an der Muskelkontraktion und der Nervenreizleitung, Aktivierung von Enzymen (Trypsin, Thrombokinase) sowie als Baustein des Skeletts und der Zähne, erforderlich.

Die Einhaltung eines bestimmten Ca-Spiegels im Blut genießt deshalb verständlicherweise eine sehr hohe Priorität. Eine langfristige Ca-Unterversorgung geht daher zu Lasten des Knochengewebes (Rachitis bzw. Osteomalacie), während kurzfristige Störungen der Ca-Zufuhr im allgemeinen kompensiert werden. Eine Hypocalcämie stellt deshalb bereits eine sehr ernsthafte Erkrankung dar, auf die später noch eingegangen wird. Für die Beurteilung des nutritiven Versorgungsstatus ist der Blut-Ca-Spiegel daher ungeeignet.

Das Anzeigevermögen des Gehaltes an anorganischem Phosphat im Blutserum ist noch umstritten. Der Gehalt scheint aber gewissen Versorgungsänderungen zu folgen, so daß er bei laufender Kontrolle nach Ergebnissen von HOLZSCHUH et al. (1970) Hinweise über die Phosphorversorgung geben kann. Die NIEDERLÄNDISCHE KOMMISSION ZUR UNTERSUCHUNG DER MINERALSTOFFFÜTERUNG (1973) kommt dagegen zu dem Schluß, daß der Gehalt an anorganischem P im Serum wegen starker Schwankungen als nicht geeignet anzusehen ist, um einigermaßen brauchbare Informationen über den Versorgungsgrad der Tiere zu liefern. Eine Hyperphosphatämie wurde neuerdings auch als typisches Anzeichen der durch einen Vitamin-D-wirksamen Inhaltsstoff des Goldhaifers (*Trisetum flavescens*) verursachten Enzootischen Calcinose beschrieben. In Untersuchungen von RIEDER et al. (1982) waren in einem Rinderbestand des Voralpengebietes, bei dem ein goldhaferreicher Grünlandaufwuchs die Futtergrundlage darstellte, während der Sommerfütterung die Gehalte an anorganischem gebundenem Phosphor im Blutserum von normal 4,5–6,5 mg/100 ml auf im Mittel bis zu 9–10 mg/100 ml Serum erhöht. Nach goldhaferfreier Neuansaat der Grünlandflächen waren klinische Calcinose Symptome wie Abmagerung, Aufkrümmen des Rückens, vorgebeugte Vorderextremitäten und Bewegungsstörungen nicht mehr festzustellen. Auch der Serumspiegel an anorganischem Phosphat lag im Mittel unter 6,0 mg/100 ml und bewegte sich damit wieder im Normalbereich. Weit deutlicher als für Phosphor stellt sich das Anzeigevermögen des Serums für die alimentäre Mg-Versorgung dar. Als Normalbereich gelten dabei 3,2 bis 1,8 mg Mg/100 ml (WIESNER, 1972).

Anhand des Spurenelementes Zink an Laborratten durchgeführte Depletions- und Repletionsstudien (KIRCHGESSNER und PALLAUF, 1972; PALLAUF und KIRCHGESSNER, 1972) ergaben eine klare lineare bzw. kurvilineare Abhängigkeit zwischen Diät-Zinkspiegel und Zinklevel in Serum, Leber und Skelett nur in einem relativ kleinen Versorgungsabschnitt, dem suboptimalen Bereich von etwa 5–15 ppm Diätzink. Nach Überschreiten der Bedarfsgrenze wird über einen sehr weiten Bereich durch Homöostase ein einheitlicher Zinkspiegel beibehalten. Erst ab 100 ppm bzw. 500 ppm Zink reichte in diesen Untersuchungen das Regulationsvermögen, das sowohl auf reduzierter Absorptionsrate als auch erhöhter endogener Ausscheidung beruht (WEIGAND und KIRCHGESSNER, 1978), nicht mehr vollständig aus, so

daß es schließlich zu einer Akkumulation von Zink in den untersuchten Geweben kam.

**Biochemische Versorgungskriterien:** Auf der Suche nach möglichst empfindlichen Bedarfs- bzw. Versorgungskriterien haben auch biochemische Parameter große Bedeutung erlangt (KIRCHGESSNER et al. 1979). Vor allem spurenelementabhängige Enzyme wurden in diesem Zusammenhang getestet. Tabelle 7 zeigt Ergebnisse aus einem Zinkmangelversuch an jungen Laborratten (PALLAUF und KIRCHGESSNER, 1976). Nach einer 35tägigen Depletionsphase der Mangeltiere mit nur 1 ppm Zink in der Diätrockenmasse lag der Zinkspiegel im os femoris um 62% und im Blutserum um 50% niedriger als in der Pair-fed-Kontrollgruppe. Den größten Abfall zeigte jedoch mit 83% die Aktivität der alkalischen Phosphatase im Blutserum.

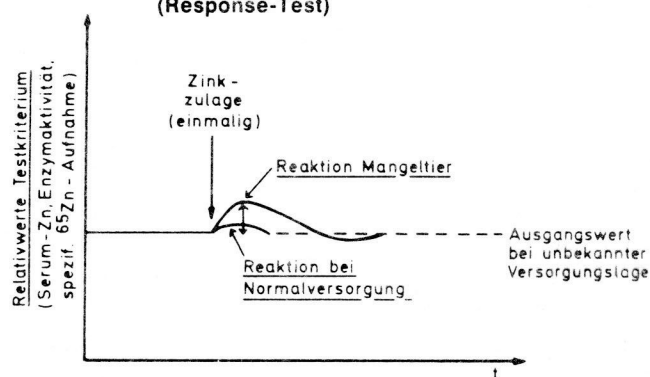
**Tabelle 7: Kriterien der Zinkversorgung wachsender Ratten nach 35tägiger Zn-Mangelernährung im Vergleich zu Kontrolltieren mit gleicher Futtermittelaufnahme (pair-fed)**

Kriterium	pair-fed Ratten	Mangelratten	P <
Zinkgehalt Femurknochen ( $\mu\text{g/g}$ Frischmasse)	82 ± 6	31 ± 5	0,001
Zinkgehalt Serum ( $\mu\text{g/ml}$ )	1,4 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,001
Aktivität alk. Phosphatase im Serum (mU/ml)	138 ± 29	24 ± 4	0,001

Da aber auch die Enzyme vielfältigen Einflüssen unterliegen, wurde verschiedentlich ein spezifischer Response-Test vorgeschlagen (Abbildung 3), anhand dessen unter bestimmten Voraussetzungen

relative Ausschläge nach einmaliger Spurenelementapplikation gemessen werden. Das ausreichend versorgte Tier zeigt dabei eine geringere Reaktion als das Mangeltier. Aber auch der Responsetest weist noch einige Schwächen auf. Die wissenschaftliche Forschung befaßt sich deshalb neuerdings auch verstärkt mit der Ermittlung des Sättigungsgrades spezifischer spurenelementbindender Proteine und deren Eignung als möglichst empfindlichem und frühzeitig anspre-

**Abbildung 3: Schema zur Ermittlung der Versorgungslage unabhängig von individuell verschiedenen Ausgangswerten (Response-Test)**



chendem Parameter. Nach KIRCHGESSNER et al. (1979) zeigen die Ergebnisse der tierexperimentellen Studien über Verwertung und Interaktionen von Spurenelementen, daß zur Diagnose einer Mangelsituation bislang noch stets mehrere Stoffwechselformen untersucht werden müssen.

### Beispiele für spezifische Störungen des Mineralstoffwechsels

**Hypocalcämische Gebärlähmung:** Die klassische Gebärlähmung, genauer als Hypocalcämische Gebärlähmung bezeichnet, kann vor allem bei Hochleistungskühen unmittelbar nach dem Abkalben auftreten. Die Erkrankung stellt in therapeutischer Hinsicht – die richtige Diagnose vorausgesetzt – kein unlösbares Problem dar, während eine zufriedenstellende Prophylaxe aus verschiedenen Gründen nicht ganz einfach zu realisieren ist. Zudem sind die kausalen intermediären Störungen trotz neuerer Erkenntnisse der Endokrinologie noch nicht restlos bekannt.

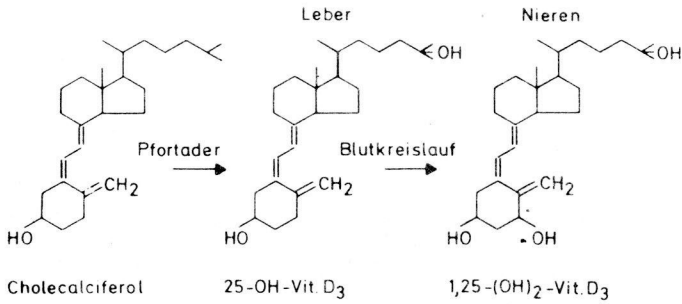
Wie der Terminus „Hypocalcämische Gebärlähmung“ bereits ausdrückt, handelt es sich dabei um einen Mangel an  $\text{Ca}^{2+}$  im Blutserum (Normalbereich 2,5 mmol/l). In aller Regel liegt der Erkrankung eine Störung des intermediären Regulationssystems zugrunde, während Calciummangel im Futter kaum zu den Primärsachen zählt. Die endokrine Regulation des Ca-Status beruht im wesentlichen auf zwei Hormonen, dem Parathormon (PTH) aus den Epithelkörperchen der Nebenschilddrüse und dem Calcitonin aus den parafollikulären Zellen (C-Zellen) der Schilddrüse.

Im Falle eines Absinkens des Blut-Ca-Spiegels wird PTH aus der Nebenschilddrüse freigesetzt und gelangt an seine Erfolgsorgane Nieren, Darm und Skelett, wo es unterschiedliche Funktionen übernimmt. Als zentrale Funktion muß wohl die erst anfangs der 70er Jahre entdeckte Umformung des aus der Leber stammenden Vitamin-D<sub>3</sub>-Metaboliten 25-Hydroxycholecalciferol zu 1,25-Dihydroxycholecalciferol in der Niere angesehen werden (Abbildung 4 nach GÜNTHER et al., 1981), das seinerseits dann in den Ca-Stoffwechsel eingreift, indem es in der Dünndarmwand die Bildung eines Ca-bindenden Proteins induziert. Der Einfluß des Parathormons selbst auf die Erhöhung der intestinalen Ca-Absorption ist wenig umstritten, jedoch noch nicht genau geklärt.

Im Knochengewebe schließlich bewirken Vitamin D und Parathormon im Falle eines hypocalcämischen Zustandes gemeinsam den Eintritt von  $\text{Ca}^{2+}$  in das Blut, wobei Vitamin D allgemein den Umsatz von  $\text{Ca}^{2+}$  im Skelett erhöht (GÜNTHER, 1966/67), während PTH wohl spezifischer

die Freisetzung von  $Ca^{++}$  zur Aufrechterhaltung des normalen Blutspiegels an  $Ca^{++}$  von 8–12 mg/100 ml (rund 2,5 mmol/l) Plasma auslöst. Bei einem Anstieg des Blutspiegels über diesen Sollwert stellt die Nebenschilddrüse die PTH-Sekretion ein und der Gegenspieler des PTH, das Calcitonin, verändert nun die intermediären Abläufe in Richtung geringerer Ca-Absorption und verstärkter Einlagerung von  $Ca^{++}$  in das Skelett.

**Abbildung 4: Metabolischer Weg des Vitamin D<sub>3</sub> zum aktiven Hormon als Dihydroxy-Vitamin D<sub>3</sub>**



Als eine der auslösenden Ursachen der Gebärparese muß auch noch nach heutiger Kenntnis eine – häufig nur schwer zu vermeidende – überhöhte Ca-Versorgung in der Trockenzeit angesehen werden. Die Ca-Stoffwechsellage ist dabei durch eine infolge geringer PTH-Sekretion niedrige Ca-Absorption gekennzeichnet. Eine hohe Calcitonin-Ausschüttung bewirkt im Skelett nun primär die Einlagerung von Ca. Bei einsetzender Laktation steigt der Calciumbedarf für die Milchsynthese sprunghaft an und der Organismus kann den physiologischen Ca-Spiegel des Blutes nicht mehr aufrechterhalten. Die oft geäußerte

These einer in diesen Fällen ungenügenden PTH-Freisetzung kann aufgrund von PTH-Messungen im Blut (MAYER et al., 1969; JÖNSSON et al., 1980) und elektronenmikroskopischer Untersuchungen der Nebenschilddrüse (CAPEN und YOUNG, 1967) allerdings nicht uneingeschränkt gestützt werden. Vielmehr scheint plötzlich freigesetztes PTH erst allmählich, und zwar in erster Linie wegen der zeitaufwendigen Umformung des Vitamin D<sub>3</sub> in 1,25 (OH)<sub>2</sub>-D<sub>3</sub>, intermediäre Veränderungen auszulösen, wobei eine erhöhte Ca-Absorption im Intestinaltrakt kurzfristiger möglich sein dürfte als die insgesamt unabdingbare Inanspruchnahme des Skeletts als Ca-Spender.

Einem erhöhten Ca-Bedarf steht insgesamt eine im Puerperium deutlich verminderte Ca-Absorption gegenüber, die möglicherweise auch hormonelle Ursachen hat. Primär wird die verringerte Ca-Absorption wohl durch eine reduzierte Motorik des Gastrointestinaltraktes und einen Rückgang der Futteraufnahme, der auch mit dem Alter zuzunehmen scheint, hervorgerufen (MOODIE und ROBERTSON, 1961 und 1962; DIRKSEN und KAUFMANN, 1978). Die eigentlichen Ursachen dieser puerperalen Hypomotilität konnten bisher nicht geklärt werden, doch wird vermutet, daß die geburtsbedingten hormonellen Veränderungen, insbesondere der erhöhte Östrogenspiegel, eine Rolle spielen. Letztlich ist auch noch unklar, ob die herabgesetzte Motorik des Gastrointestinaltraktes als Ursache oder als Wirkung der Hypocalcämie angesehen werden muß.

Seit langem ist bekannt, daß die Erkrankungshäufigkeit für die hypocalcämische Gebärlähmung mit dem Alter der Tiere ansteigt. Neben dem stärkeren Rückgang der Futteraufnahme im geburtsnahen Zeitraum und einem niedrigeren Absorptionskoeffizienten für Ca dürfte vor allem eine Verminderung der leicht austauschbaren Ca-Fraktion aus dem Skelett bei älteren Tieren prädisponierend wirken (HANSARD et al. 1954 a und b). Schließlich kann eine besonders im Vergleich zur Körpermasse der Milchkuh hohe Milch- bzw. Milchfettleistung die Gefahr einer Gebärparese-Erkrankung erhöhen. Als überdurchschnittlich gefährdet sind hier die Rassen Jersey, Guernsey und Angler zu nennen. Eine genetische Disposition dürfte jedoch auch bei Tieren anderer Rassen vorkommen. Es werden dabei Heritabilitätskoeffizienten angenommen, die in der Größenordnung der für die Milchmengenleistung geschätzten genetisch bedingten Varianz liegen. In Schweden werden deshalb laut JÖNSSON (1979) Kühe, die an Gebärparese erkrankten, nicht mehr als A-I-Bullenmütter zugelassen.

**Prophylaxe der Gebärparese:** Bezüglich der Vorbeuge der hypocalcämischen Gebärlähmung kann nach wie vor eine möglichst niedrige Ca-Versorgung ante partum als die wichtigste und wirksamste Maßnahme angesehen werden. Die in Tabelle 8 aufgeführten neuen Richtzahlen zur Mineralstoffversorgung der Milchkuh für den letzten

Monat der Trächtigkeit (AUSSCHUSS FÜR BEDARFSNORMEN DER GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE DER HAUSTIERE, 1978) wurden faktoriell vom Erhaltungsbedarf plus zusätzlicher Mineralstoffeinlagerung in die Konzeptionsprodukte abgeleitet. Mit nur 46 g Ca bei 34 g P (Ca:P = 1,35:1) tragen diese Richtzahlen dem Bestreben einer knappen Calciumversorgung vor dem Kalben Rechnung. Einer in diesem Zusammenhang gleichfalls oft empfohlenen erhöhten P-Versorgung bzw. der Einstellung eines engeren Ca:P-Verhältnisses kommt nur sekundäre Bedeutung zu, da letztlich nur über eine Verminderung des Gehaltes an  $Ca^{++}$  im Blut vermehrt PTH

**Tabelle 8: Mineralstoffeinlagerung in Konzeptionsprodukte und Bedarf für den letzten Monat der Trächtigkeit**

	Ca	P	Mg	Na
tagl. Einlagerung in g	8	5	0,3	0,3
ergibt zusätzlichen Bruttobedarf in g	20	8	1,5	0,4
entspricht Bedarf für kg Milch	6,2	4,7	2,5	0,7
tagl. Gesamtbedarf für 650 kg LM und Trächtigkeit* in g	46	34	15	10
frühere Zahlen (Becker, 1971) in g	71	44	18	19

\*ohne Berücksichtigung einer zusätzlichen Reservebildung

ausgeschüttet wird. Nicht selten bereitet – besonders wenn Ca-reiche Grundfuttermittel eingesetzt werden – das Einhalten derart niedriger Ca-Gehalte unter praktischen Bedingungen Schwierigkeiten. Zumindest in diesen Fällen müssen dann andere Vorbeugungsmaßnahmen ergriffen werden. Besondere Bedeutung hat hierbei die tierärztliche Injektion von Vitamin-D-Präparaten im geburtsnahen Zeitraum erlangt. Dabei besteht allerdings erstens der Nachteil des Dosierungsproblems, d. h. der Gefahr von Calcinose bzw. Arteriosklerose bei Überdosierung und zweitens das Problem der termingerechten Anwendung bei nicht genau prognostizierbarem Abkalbetermin. Die applizierten Mengen an Vitamin D<sub>3</sub> oder D<sub>2</sub> betragen 20–30 Mill. I. E. täglich vom 7. bis zum 3. Tage ante partum. In den letzten Jahren wurden Vitamin-D<sub>3</sub>-Metaboliten (z. B. 1- $\alpha$ -OH-D<sub>3</sub>) bzw. Analoge experimentell auf ihre prophylaktische Wirkung untersucht. Nach diesen Ergebnissen scheint das Dosierungsproblem zumindest teilweise weiterhin zu bestehen, wohin-

gegen die direkte Beeinflussung des Plasma-Ca-Spiegels durch 1- $\alpha$ -OH-D<sub>3</sub> eine wirksame Applikation dieser Verbindung im geburtsnahen Zeitraum bzw. auch noch post partum ermöglichen dürfte (SANSOM et al., 1976).

Ebenfalls nur auf gefährdete Einzeltiere kann sich die orale Verabreichung von gut verfügbaren Ca-Salzen, insbesondere von CaCl<sub>2</sub>, beschränken. Das wegen des bitteren Geschmacks möglichst in Gel-Form anzuwendende CaCl<sub>2</sub> zeigte bei etwa viermaliger Anwendung von jeweils ca. 150 g im peripartalen Zeitraum durchaus prophylaktische Wirkung (JÖNSSON und PEHRSON, 1970).

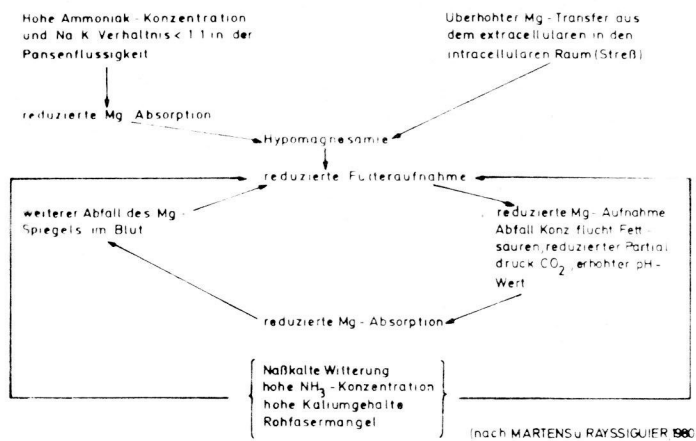
Auf eine Veränderung der Absorptionsbedingungen für Ca im Gastrointestinaltrakt, insbesondere über eine Verschiebung des pH-Wertes, zielt schließlich eine Verwendung von Ammoniumchlorid ab, deren Wirkung sich nach GREUPNER et al. (1977) direkt oder indirekt auch auf andere Ca-speichernde bzw. am Ca-Stoffwechsel beteiligte Kompartimente erstreckt. Empfohlen wird eine Einmischung von täglich ca. 100–150 g NH<sub>4</sub>Cl in das Krautfutter, beginnend etwa drei Wochen vor dem Kalben bis ca. drei Tage danach. Neben einer möglichen Futterverweigerung ist bei dieser Methode jedoch die Gefahr einer zusätzlichen Leberbelastung durch die erhöhte N-Zufuhr gegeben.

**Weidetetanie:** Die hypomagnesiämische Weidetetanie, auch als Grastetanie oder Laktationstetanie bezeichnet, äußert sich in Appetitlosigkeit, Nervosität und Muskelkrämpfen der erkrankten Tiere. Die intermediären Ursachen der Weidetetanie als Störung des Magnesiumstoffwechsels scheinen vielfältiger Natur zu sein. Eine sehr wesentliche Rolle spielt der Mg-Gehalt der Ration. Als Einflußfaktoren auf den Mg-Gehalt der Futterpflanzen gelten:

- Pflanzenart
- Vegetationsstadium
- Bodenart
- Düngung
- Niederschlagsmenge

Allgemein sind dikotyle Pflanzen Mg-reicher als monokotyle, doch die Schwankungsbreite ist erheblich. Junge Pflanzen sind Mg-reicher als ältere, was sich bei der heutzutage angestrebten frühzeitigen Nutzung von Pflanzenbeständen im Hinblick auf die Mg-Versorgung positiv auswirkt. Eine hohe Düngungsintensität – insbesondere einseitige N-Düngung – verschiebt jedoch die Zusammensetzung des Grünlandbestandes immer mehr in Richtung Gräser, die als relativ Mg-arm angesprochen werden müssen. Die einseitige Zusammensetzung des Grünlandbestandes hat die Weidetetanie auch vornehmlich zu einem regionalen Problem in Norddeutschland, den Niederlanden, Dänemark und einigen anderen Ländern werden lassen. Abbildung 5 gibt ein Schema zur Pathogenese der Hypomagnesiämie wieder. Bei der Absorption im Organismus des Tieres konkurriert das Mg in erster Linie

**Abbildung 5: Pathogenese der Hypomagnesämie unter der Vorbedingung niedriger Diät-Mg-Gehalte (< 0,2% Mg in TM)**



mit Ca, das in der Ration mengenmäßig gegenüber dem Mg deutlich überwiegt. Die Auslösung der Weidetetanie scheint jedoch durch das Zusammenwirken einer ganzen Reihe von Faktoren zu erfolgen. Als wichtigste Abschnitte der Mg-Absorption können neueren Arbeiten zufolge (siehe MARTENS und RAYSSIGUIER, 1980) Pansen und Omasum des Wiederkäuers bezeichnet werden, wodurch sich manche bisher unbekannt Einzelheiten des Mg-Stoffwechsels leichter erklären lassen. So beeinflussen neben der durch niedrigen Rohfasergehalt des jungen Weidegrases bedingten hohen Passagerate und damit verbundenen niedrigeren Absorption des Mg eine Reihe weiterer Faktoren die Verwertung negativ. Zu nennen sind dabei ein hoher pH-Wert, ein zu enges Na:K-Verhältnis im Pansen, das sich durch das im Speichel enthaltene Na normalerweise zugunsten des Na verschiebt, weiterhin ein hoher Proteingehalt in der Ration sowie verschiedene komplexbildende Substanzen. Negativ wirkt sich auch eine Energieunterversorgung aus. Dies führt unter anderem zu einer verminderten Bakterienproteinsynthese im Pansen, wodurch wiederum die  $\text{NH}_3$ -Konzentration erhöht wird. Dazu kommen exogene Reize auf den Organismus, wie z. B. Hunger, Kälte und außerdem intermediäre Veränderungen wie Lipolyse als kompensatorische Reaktion auf eine unzureichende Energieversorgung.

Die vorbeugenden Maßnahmen gegen die Weidetetanie konzentrieren sich auf folgende Punkte:

1. Allmählicher Futterwechsel im Frühjahr.
2. Anhebung des Mg-Gehaltes des Grünfutters durch Düngung und/oder Besprühen des Weidebestandes mit Mg-Verbindungen.
3. Verabreichung eines Mg-reichen Spezialmineralfuttermittels (z. B. 8–12% Mg gegenüber 2–4% Mg im normalen Mineralfutter) bzw. zusätzliche Gaben von 50 g MgO (entsprechend rd. 30 g Mg) pro Tier und Tag ca. 4 Wochen vor dem Weideaustrieb bis wenige Wochen danach.

Schließlich zählt auch eine wiederkäuergerechte Ration, d. h. eine ausreichende Gabe an strukturiertem Futter sowie ein Mindestrohfasergehalt von 18% der Gesamttrockenmasse in der Ration bei ausreichender Energieversorgung zu den erforderlichen, wenn auch u. U. nur schwer einzuhaltenden prophylaktischen Maßnahmen.

### Mengenelemente – Bedarf und anzustrebende native Gehalte in Futtermitteln

Der Bedarf eines Organismus an Mineralstoffen wird heute in der Regel faktoriell aus Erhaltungs- und Leistungsbedarf zunächst in Form des Nettobedarfes ermittelt. Die unvollständige und stark schwankende Verwertung der alimentär zugeführten Mineralstoffe erfordert jedoch für die praktische Rationsgestaltung die Ermittlung eines Bruttobedarfes, der unter möglichst genauer Berücksichtigung der Absorptionsrate im Gastrointestinaltrakt sowie der intermediären Verfügbarkeit aus dem Nettobedarf abgeleitet werden sollte. Da die wissenschaftlichen Kenntnisse über die vielfältigen Einflüsse auf die Mineralstoffverwertung noch sehr lückenhaft sind, ist die Festlegung von Bruttobedarfszahlen noch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet.

Die derzeit gültigen Empfehlungen zur Mineralstoffversorgung von Milchkuhen (Tabelle 9) tragen dieser Problematik insofern Rechnung, als hierbei nicht von „Bruttobedarf“ gesprochen wird, sondern von „Empfehlungen zur Versorgung“. Ausgehend vom Nettobedarf wurde bei diesen Zahlen eine mittlere Verwertung von 40% bei Calcium, von 60% bei Phosphor, von 20% bei Magnesium und von 80% bei Natrium unterstellt. Vereinfachend werden diese Empfehlungen zur Mineralstoffversorgung in der Praxis dennoch häufig als „Bruttobedarf“ oder „Bedarf“ bezeichnet. Im Gegensatz zu den Spurenelementen, bei denen sowohl der Bedarf der Nutztiere als auch die Gehalte in

**Tabelle 9: Empfehlungen zur Mineralstoffversorgung von Milchkuhen (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie der Haustiere, 1978)**

	Ca	P	Mg	Na
	g	g	g	g
tagl. Grundbedarf 550 kg LM	22	22	11	7
" " 650 kg LM	26	26	13	9
Diff. zwischen 550 u. 650 kg LM	4	4	2	2
Teilbedarf je kg Milch	3,2	1,7	0,6	0,6
tagl. Gesamtbedarf bei 650 kg LM				
10 kg Milchleistung	58	43	19	15
20 kg "	90	59	25	22
30 kg "	122	76	31	28
35 kg "	138	84	34	31

den Futtermitteln in der Regel in mg pro kg Futtertrockenmasse ausgedrückt werden, wird der Bedarf bei den Mengenelementen normalerweise in g pro Tier und Tag angegeben.

Da die aus Analyseergebnissen resultierenden Tabellenwerte für die Gehalte in den Futtermitteln aber ebenfalls als Konzentrationsangaben vorliegen, erscheint es zweckmäßig, auch die Bedarfsgröße auf die Dimension g Element je kg Futtermittel oder % der Trockenmasse umzurechnen. Die Trockenmasse kann jedoch eine sehr unterschiedliche Proteinkonzentration sowie Energiedichte aufweisen. Es wäre deshalb wissenschaftlich exakter, den Mineralstoffgehalt nicht auf Trockenmasse, sondern auf Energiegehalt und/oder Proteingehalt eines Futtermittels zu beziehen. In der praktischen Milchviehfütterung hat sich diese Bezugsbasis bisher allerdings noch nicht durchgesetzt.

In Tabelle 10 wird gezeigt, daß bei einer unterstellten Aufnahme an Trockenmasse von 13 kg bis maximal etwa 21,5 kg je Kuh neben der Energiekonzentration auch die Konzentration der Mineralstoffe in der Trockenmasse ganz erheblich ansteigen muß, wenn die Tagesmilchleistung von 10 kg auf 30–40 kg ansteigt. Für die Praxis ist es dennoch wünschenswert, einen anzustrebenden Gehalt an Mineralstoffen in Futtermitteln festzulegen. Wird in der Winterfütterung z. B. eine mittlere Trockenmasseaufnahme aus dem Grundfutter von rd. 10 kg je Tier und Tag sowie eine daraus erzielbare Milchleistung von bis zu 10 kg täglich unterstellt, so müßten zur Bedarfsdeckung je kg Futtertrockenmasse bis zu 5,8 g Calcium, 4,3 g Phosphor, 1,9 g Magnesium und 1,5 g Natrium enthalten sein.

Eine besondere Problematik bringen die großen Schwankungen der nativen Mineralstoffgehalte von Futtermitteln mit sich. Weil eigene Analysen vielfach fehlen, muß bei Rationsberechnungen in der Regel auf Tabellenwerte, z. B. aus der DLG-MINERALSTOFFTABELLE (1973), zurückgegriffen werden. Dabei stellt sich die Frage nach der Sicherheit

**Tabelle 10: Maximale Aufnahme an Futtertrockenmasse (Grund- und Kraftfutter) und erforderliche Mindestkonzentration an Energie und Mineralstoffen in der Gesamtration einer Milchkuh (650 kg LM)**

Milchleistung kg/Tag	tagliche Aufnahme an Trockenmasse		Mindestkonzentration					
	% der Lebendmasse	kg TM je Kuh	Energie		Mineralstoffe			
			StE/kg TM	NEL MJ/kg TM	g/kg TM			
					Ca	P	Mg	Na
10	2,0	13	465	5,3	4,5	3,3	1,5	1,2
20	2,5	16,5	535	6,1	5,5	3,6	1,5	1,3
30	3,0	19,5	590	6,8	6,3	3,9	1,6	1,4
40	3,3	21,5	(665)	(7,7)	7,2	4,3	1,7	1,6

dieser Tabellenangaben. Aus biostatistischer Sicht wäre denkbar, den für Kalkulationen verwendeten Mittelwert ( $\bar{x}$ ) um eine Standardabweichung der Einzelwerte zu reduzieren ( $\bar{x}-s$ ). Die Wahrscheinlichkeit, daß der unterstellte Tabellenwert im Einzelfall mindestens erreicht bzw. überschritten wird, könnte damit von 50% der Fälle wie bei Verwendung des Mittelwertes, auf 84% der Fälle gesteigert werden (PALLAUF, 1978). Im Idealfall setzt dies allerdings eine Normverteilung der Einzelwerte voraus, die erfahrungsgemäß nicht immer gegeben ist. Vielfach handelt es sich um eine sogenannte schiefe Verteilung der Einzelwerte um den Mittelwert, die dann wiederum besonderen Gesetzmäßigkeiten unterliegt.

### Mineralstoffergänzung von Futterrationen für die Milchkuh

**Winterfütterung:** In Tabelle 11 sind zwei Beispiele für Rationen in der Winterfütterung aufgeführt. Der native Mineralstoffgehalt in der Grundfütterung aus Grassilage, Maissilage und Wiesenheu bzw. aus Zuckerrübenblatt-Silage, Grassilage, Wiesenheu und Trockenschnitzeln wurde, wie in den folgenden Berechnungen, dabei sowohl aus Mittelwerten ( $\bar{x}$ ) der DLG-Tabelle als auch aus reduzierten Mittelwerten ( $\bar{x} - s$ ) berechnet. Diese Rationen liefern über den Erhaltungsbedarf hinaus Protein und MJ Nettoenergie-Laktation (NEL) für rund 10 kg Tagesmilchleistung. Wird von den laut Tabellenangaben errechneten Mineralstoffgehalten nun der Bedarf für Erhaltung plus 10 kg Milch abgezogen, zeigen sich bei Berechnung der Gehalte nach Mittelwerten erhebliche Ca-Überschüsse und deutliche P-Defizite. In Ration I fehlen darüber hinaus auch 8 g Na je Kuh und Tag. Zur Ergänzung sind 100 g eines P-reichen Mineralfutters (2% Ca, 12% P, 2% Mg und 9% Na) angezeigt. Wird mit reduzierten Mittelwerten gerechnet und damit, wie bereits erwähnt, die statistische Sicherheit des Erreichens bzw. Überschreitens der unterstellten Gehalte von 50% auf 84% erhöht, so reichen 100 g Mineralfutter nicht vollständig aus, um die P-Defizite in beiden Rationen sowie das Na-Defizit in Ration I abzudecken. Unter stärkerer Berücksichtigung der Streuung wird das native Na-Angebot aus Grünlandaufwuchs und Maissilage so gering, daß es beinahe zu vernachlässigen ist.

Auch THALMANN et al. (1979) berichten anhand von Grundfutteruntersuchungen aus Baden-Württemberg von extrem niedrigen und stark schwankenden Na-Gehalten, die nur einen sehr untergeordneten Beitrag zur Na-Versorgung der Milchkuh leisten können.

In Untersuchungen aus Hessen (WEISS, 1981) zeigte sich zudem erneut, daß eine Unterversorgung an Natrium auch vielfach durch

Tabelle 11: Beispielsrationen Winterfütterung

Ration I: 15 kg Grassilage angew. (30 % TM) 15 kg Maissilage (27 % TM) 4 kg Wiesenheu 2. Schnitt	g pro Kuh und Tag							
	Berechnung nach $\bar{x}$				Berechnung nach $\bar{x} - s$			
	Ca	P	Mg	Na	Ca	P	Mg	Na
Gehalt in der Grundration	87	35	24	7	66	30	21	1
Bedarf bei 10 kg Milch	58	43	19	15	58	43	19	15
Zufuhr minus Bedarf	+29	-8	+5	-8	+8	-13	+2	-14
100 g Mineralfutter Typ I (8/12/2/9)	8	12	2	9	8	12	2	9

Ration II: 15 kg Zuckerrübenblattsilage 20 kg Grassilage angew. (30 % TM) 3 kg Wiesenheu 1. Schnitt 1.5 kg Trockenschnitzel	g pro Kuh und Tag							
	Berechnung nach $\bar{x}$				Berechnung nach $\bar{x} - s$			
	Ca	P	Mg	Na	Ca	P	Mg	Na
Gehalt im Grundfutter	115	36	33	33	73	29	18	15
Bedarf bei 10 kg Milch	58	43	19	15	58	43	19	15
Zufuhr minus Bedarf	+57	-7	+14	+18	+15	-14	-1	0
100 g Mineralfutter Typ I (8/12/2/9)	8	12	2	9	8	12	2	9

einen überhöhten Kaliumgehalt im Grundfutter verursacht wird. Durch Zufütterung von 50 g Viehsalz je Kuh und Tag konnte hierbei eine deutliche Verbesserung erzielt werden.

Eine gute Na-Versorgung aus dem Grundfutter ergibt sich lediglich bei Verfütterung von Beta-Ruben und deren Produkten sowie in geringerem Maße auch noch bei Grasaufwuchs mit hohem Anteil an Lolium perenne. Auf weidelgrasreichen Weiden Norddeutschlands kann deshalb auch durch Na-Düngung eine wesentliche Erhöhung der Na-Gehalte im Aufwuchs erzielt werden, wie dies neuerdings durch Untersuchungen von ERNST (1980) bestätigt wurde.

**Weidegang:** Die Mineralstoffversorgung bei Weidegang (Tabelle 12) ist bei einem unterstellten Milcherzeugungswert der beiden ausgewählten Rationen von 16 kg durch ein deutliches Ca-Defizit und eine erhebliche Lücke in der Na-Versorgung gekennzeichnet. Zum Ausgleich sind in beiden Rationen 100 g eines sehr Ca-reichen, aber P-armen Mineralfutters notwendig. Auch könnte der zusätzliche Einsatz von 30 g Viehsalz empfehlenswert sein, vor allem unter Berücksichtigung der hohen Streuung bei den nativen Na-Gehalten. Das sich bei dem Berechnungsmodus  $\bar{x} - s$  ergebende hohe Ca-Defizit kann selbst durch 200 g Mineralfutter mit 18% Ca noch nicht vollständig abgedeckt werden. Dieses Beispiel zeigt, daß eine hundertprozentige Sicherheit der bedarfsgerechten Mineralstoffversorgung in Extremsituationen kaum zu realisieren ist. Eine Ca-Imbalance bzw. ein zu enges Ca-P-Verhältnis wurde vielfach auch bei der Fütterungsberatung hessischer Betriebe festgestellt (WEISS, 1981).

Tabelle 12: Mineralstoffversorgung von Milchkühen bei Weidegang

Ration I: 70 kg Weidegras (19 % TM) 1 kg Wiesenheu	g pro Kuh und Tag							
	Berechnung nach $\bar{x}$				Berechnung nach $\bar{x} - s$			
	Ca	P	Mg	Na	Ca	P	Mg	Na
Gehalt in der Grundration	65	65	34	9	36	52	25	4
Bedarf bei 16 kg Milchleistung	77	53	23	19	77	53	23	19
Zufuhr minus Bedarf	-12	+12	+11	-10	-41	-1	+2	-15
100 g bzw. 200 g Mineralfutter Typ III (18/5/2/9)	18	5	2	9	36	10	4	18

Ration II: 60 kg Weidegras 6 kg Grassilage stark angew. (43 % TM)	g pro Kuh und Tag							
	Berechnung nach $\bar{x}$				Berechnung nach $\bar{x} - s$			
	Ca	P	Mg	Na	Ca	P	Mg	Na
Gehalt in der Grundration	67	63	31	8	40	51	23	3
Bedarf bei 16 kg Milchleistung	77	53	23	19	77	53	23	19
Zufuhr minus Bedarf	-10	+10	+8	-11	-37	-2	0	-16
100 g bzw. 200 g Mineralfutter Typ III (18/5/2/9)	18	5	2	9	36	10	4	18

**Sommerstallfütterung:** Tabelle 13 zeigt zwei Beispiele aus der Sommerstallfütterung. Eine Ration aus 65 kg Welschem Weidelgras und 10 kg guter Maissilage entspricht einem Milcherzeugungswert von 14 kg und weist, nach Mittelwerten kalkuliert, nur relativ geringe Versorgungslücken bei P und Na auf, die durch 100 g eines Mineralfutters mit mittlerem Ca- und P-Gehalt leicht abzudecken sind. Wird der zugrundegelegte Tabellenmittelwert jedoch wiederum um eine Standardabweichung reduziert ( $\bar{x} - s$ ), so reichen 150 g desselben Mineralfutters kaum aus, die Defizite auszugleichen.

Tabelle 13: Beispielsrationen Sommerstallfütterung

Ration I: 65 kg Welsches Weidelgras 1. Schnitt (19 % TM) 10 kg Maissilage (27 % TM)	g pro Kuh und Tag							
	Berechnung nach $\bar{x}$				Berechnung nach $\bar{x} - s$			
	Ca	P	Mg	Na	Ca	P	Mg	Na
Gehalt in der Grundration	86	47	22	16	64	35	19	0
Bedarf bei 14 kg Milchleistung	71	50	21	17	71	50	21	17
Zufuhr minus Bedarf	+15	-3	+1	-1	-7	-15	-2	-17
100 g bzw. 150 g Mineralfutter Typ II (11/8/2/9)	11	8	2	9	15	12	3	14

Ration II: 50 kg Winterraps (10 % TM) 7 kg Wiesenheu 1. Schnitt	g pro Kuh und Tag							
	Berechnung nach $\bar{x}$				Berechnung nach $\bar{x} - s$			
	Ca	P	Mg	Na	Ca	P	Mg	Na
Gehalt in der Grundration	132	40	25	11	95	30	16	7
Bedarf bei 14 kg Milchleistung	71	50	21	17	71	50	21	17
Zufuhr minus Bedarf	+61	-10	+4	-6	+24	-20	-5	-10
100 g bzw. 150 g Mineralfutter Typ I (8/12/2/9)	8	12	2	9	12	15	3	14

Bei der Verfütterung von 50 kg grünem Winterraps und 7 kg Wiesenheu (Ration II) tritt eine empfindliche Unterversorgung an P und Na auf. Mit 100 g eines P-reichen Mineralfutters kann die nach Mittelwerten berechnete Lücke gut geschlossen werden. Bei Berechnung der nativen Gehalte nach  $\bar{x} - s$  hingegen waren mindestens 150 g desselben Mineralfutters zum bedarfsgerechten Ausgleich von P, Mg und Na erforderlich.

Mineralfutter hat grundsätzlich die Funktion, die Grundfütterung hinsichtlich des Gehaltes an Mengen- und Spurenelementen sowie insbesondere in der Winterfütterung mit den fettlöslichen Vitaminen A, D und E zu komplettieren. Unter bestimmten Bedingungen, vor allem in Rationen mit höheren Anteilen an Maissilage, Ruben, Heu geringerer Qualität und Stroh dürfte zusätzlich eine Ergänzung von Beta-Carotin über das Mineralfutter empfehlenswert sein.

### Mineralisierung des Milchviehmischfutters

Aufbauend auf der ausgeglichenen Grundfütterung sollte 1 kg Kraftfutter sowohl den Protein- und Energiebedarf als auch den Mineral- und Wirkstoffbedarf für 2,0-2,2 kg Milch decken. In Tabelle 14 ist ein Beispiel für die bedarfsgerechte Mineralisierung eines industriell hergestellten Milchviehmischfutters mit geringem Getreideanteil wiedergegeben. Ergänzungsbedürftig sind die Elemente Calcium und evtl. Natrium. Als Zusatz sind 2,5% einer sehr Ca-reichen Mineralstoffmischung (22% Ca) angezeigt. Der überwiegend als Phytin-Phosphor vorliegende native P-Gehalt der Einzelkomponenten wird im Gegensatz zum Monogaster beim Wiederkäuer aufgrund bakterienbürtiger Phytasen in den Vormägen weitgehend verwertet.

**Tabelle 14: Beispiel einer Kraftfuttermischung mit geringem Getreideanteil (Protein- und Energiegehalt je kg ausreichend für 2,2 kg Milch)**

Zusammensetzung in %: Maiskleberfutter 25; Gerste 20; Kokosexpeller 16; Tapioka 15; Sonnenblumenextr.-schrot 10; Palmkern-expeller 7; ZR-Melasse 4,5; Mineralstoffmischung 2,5

	g pro kg Kraftfutter							
	Berechnung nach $\bar{x}$				Berechnung nach $\bar{x} - s$			
	Ca	P	Mg	Na	Ca	P	Mg	Na
Gehalte ohne Mineralstoffmischung	1,9	5,7	2,9	1,5	1,0	4,6	2,1	0,7
Bedarf (je 2,2 kg Milch)	7,0	3,7	1,3	1,3	7,0	3,7	1,3	1,3
Gehalt minus Bedarf	-5,1	+2,0	+1,6	+0,2	-6,0	+0,9	+0,8	-0,6
2,5 % Mineralstoffmischung (22/4/1/4)	5,5	1	0,2	1	5,5	1	0,2	1

Auch das Beispiel einer getreidereichen Kraftfuttermischung (Tabelle 15) zeigt, daß 2,5% Ca-reiche Mineralstoffmischung zum Ausgleich eines Defizites an Calcium und Natrium erforderlich sind. Soll hingegen proteinreiches Milchviehmischfutter auf dem landwirtschaftlichen Betrieb mit wirtschaftseigenem Getreide verschnitten werden, so muß das

**Tabelle 15: Beispiel einer Kraftfuttermischung mit hohem Getreideanteil (Protein- und Energiegehalt je kg ausreichend für 2,2 kg Milch)**

Zusammensetzung in %: Gerste 40; Weizen 20; Hafer 15; Sojaextr.-schrot 12,5; Ackerbohnen 10; Mineralstoffmischung 2,5

	g pro kg Kraftfutter							
	Berechnung nach $\bar{x}$				Berechnung nach $\bar{x} - s$			
	Ca	P	Mg	Na	Ca	P	Mg	Na
Gehalte ohne Mineralstoffmischung	1,8	4,1	1,5	0,5	1,4	3,6	1,0	0,3
Bedarf (je 2,2 kg Milch)	7,0	3,7	1,3	1,3	7,0	3,7	1,3	1,3
Gehalt minus Bedarf	-5,2	+0,4	+0,2	-0,8	-5,6	-0,1	-0,3	-1,0
2,5 % Mineralstoffmischung (22/4/1/4)	5,5	1	0,2	1	5,5	1	0,2	1

zugekaufte Mischfutter auch den im einzumischenden Getreide fehlenden Mineralstoffanteil, vor allem an Ca und Na, enthalten. Die Vielfalt der möglichen Grundrationen und Konzentratergänzungen unterstreicht dabei die Notwendigkeit einer möglichst exakten Rationsberechnung, um den Bedarf für optimale Gesundheit, Fruchtbarkeit und Leistung der Milchkuh sicher genug zu decken.

**Versorgung mit Spurenelementen**

In Tabelle 16 sind Richtzahlen zum Spurenelementbedarf der Milchkuh wiedergegeben. Es handelt sich dabei um Bruttobedarfszahlen, bei denen die unterschiedliche Verwertung der Gehalte in der Nahrung wiederum nur sehr pauschal berücksichtigt werden kann. Der **Selenbedarf** wird nach bisheriger Kenntnis mit 0,1 ppm der Futtertrockenmasse angegeben (KIRCHGESSNER, 1982). Während in den USA teilweise Selenmangel bei Milchkühen nachgewiesen werden konnte, gibt es in der Bundesrepublik Deutschland bislang keine Hinweise auf eine unzureichende Selenversorgung von Milchkühen.

**Tabelle 16: Richtzahlen zum Spurenelementbedarf der Milchkuh**

Spurenelement	Bedarf mg je kg Futtertrockenmasse
Eisen	50
Jod	0,4
Kobalt	0,1
Kupfer	10
Mangan	60
Zink	60

In den Abbildungen 6-8 werden Gehaltsangaben für Einzeltuttermittel lt. DLG-Mineralstofftabelle (1973) mit dem Bedarf von hochleistenden Milchkühen verglichen (PALLAUF, 1977). Neben dem Mittelwert ( $\bar{x}$ ) ist dabei jeweils auch der um eine Standardabweichung reduzierte Tabellenwert ( $\bar{x} - s$ ) eingezeichnet. Dieser Wert bietet, wie bei den Mengenelementen) bereits ausgeführt, eine wesentlich höhere Sicherheit, den nativen Gehalt des Futtermittels nicht zu überschätzen.

Der mittlere native **Zinkgehalt** der aufgeführten Futtermittel (Abbildung 6) liegt in der Mehrzahl der Fälle deutlich unter dem Bedarf der hochleistenden Milchkuh. Auch wenn die neuerdings für die Milchkuh faktoriell abgeleitete niedrigere Versorgungsempfehlung von 50 mg Zink je kg Futtertrockenmasse (WEIGAND und KIRCHGESSNER, 1982) unterstellt wird, reicht der mittlere native Gehalt vieler Futtermittel nicht zur Bedarfsdeckung aus. Heu, Futterrüben, Maissilage und Trockenschnitzel weisen besonders geringe Zinkgehalte auf. Auch die Getreidearten decken den Bedarf nur etwa zur Hälfte.

Hohe **Mangangehalte** weisen Kleie, Zuckerrübenblatt sowie Weidegras auf. Sehr geringe Gehalte finden sich hingegen in Mais, Gerste, Weizen, Maissilage und auch Sojaextraktionsschrot.

Die **Kupferversorgung** (Abbildung 7) ist innerhalb der dargestellten Futtermittel nur bei Ölschroten, Trockenschnitzeln, Kleie und Rubenblatt als sehr gut bis gut zu bezeichnen. Viele wirtschaftseigenen Futtermittel und insbesondere auch die Getreidearten weisen durchweg mangelhafte Kupfergehalte auf.

Für **Molybdän** zeigt der Vergleich der nativen Gehalte mit dem Bedarf, daß vor allem Sojaextraktionsschrot und Kleie sowie Weidegras reichliche Molybdänquellen darstellen. Aber auch bei allen übrigen aufgeführten Futtermitteln liegt der Mittelwert der nativen Mo-Gehalte über dem unterstellten Bedarfsniveau. Insbesondere in vielseitigen Rationen und bei entsprechenden Kraftfutteranteilen dürfte deshalb eine ausreichende Versorgung weitestgehend gesichert sein.

Die Gehalte an **Jod** (Abbildung 8) lassen vor allem in Heu, Stroh und Getreide z. T. deutliche Bedarfslücken offen. Eine besonders reichliche Jodversorgung wird hingegen über Kokoskuchen erreicht. Extrem hohe Schwankungen gibt der Tabellenwert für den Jodgehalt von Trockenschnitzeln wieder. Eine gute Jodversorgung ergibt sich im allgemeinen auch bei Verfütterung von Weidegras, Rubenblatt und Sojaextraktionsschrot.

**Abbildung 6: Vergleich der Zink- und Mangangehalte verschiedener Futtermittel mit dem Bedarf der Milchkuh**

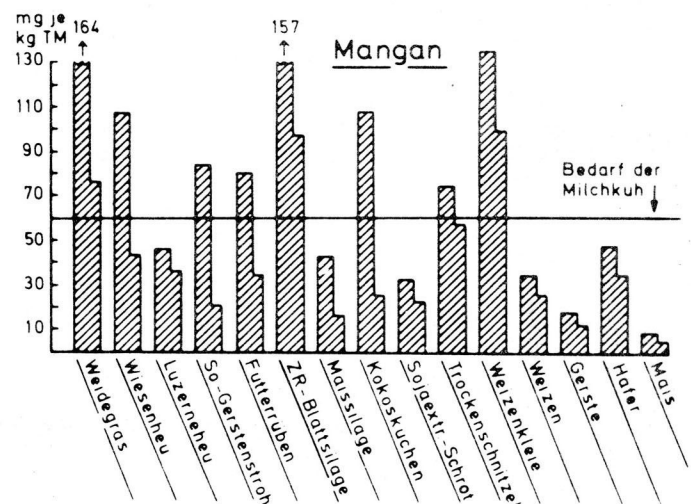
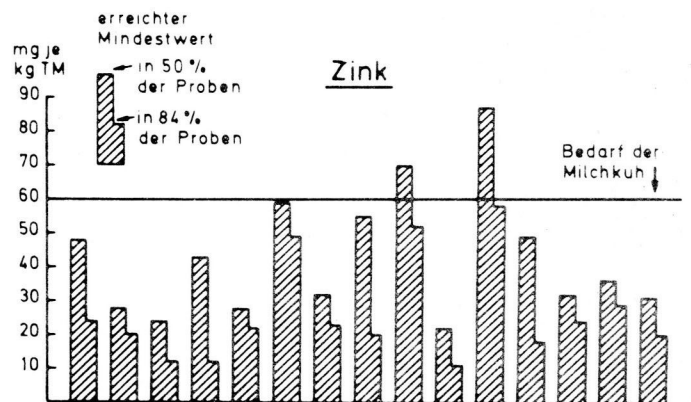


Abbildung 7: Vergleich der Kupfer- und Molybdängehalte verschiedener Futtermittel mit dem Bedarf der Milchkuh

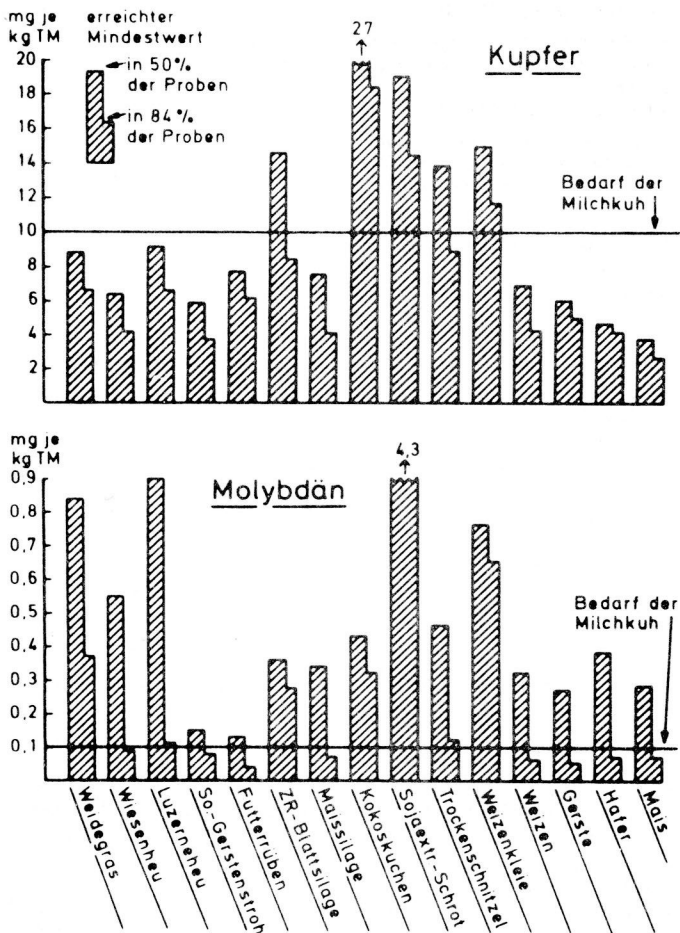
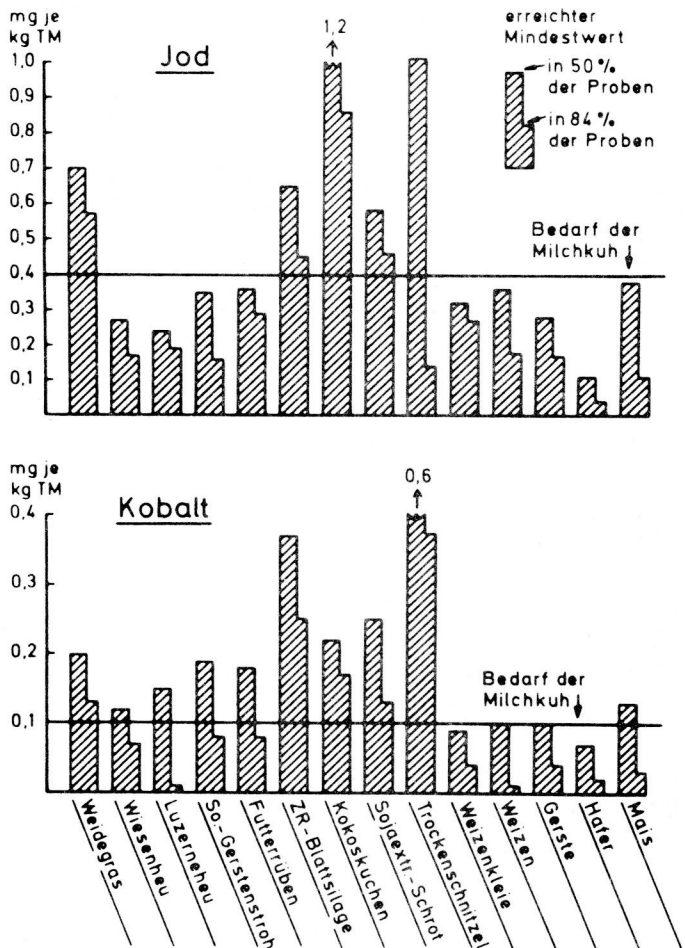


Abbildung 8: Vergleich der Jod- und Kobaltgehalte verschiedener Futtermittel mit dem Bedarf der Milchkuh



Die nativen **Kobaltgehalte** sind vor allem in Getreide und Heu teilweise unzureichend, während Trockenschmelze, Zuckerrübenblattsilage und in etwas geringerem Maße auch Ölkuchen ausgezeichnete Co-Quellen darstellen.

Extreme Situationen des Spurenelementmangels sind in der Fütterungspraxis selten, weil durch den Kombinationseffekt einer vielseitigen Ration meist eine gewisse Kompensation im Spurenelementgehalt zustande kommt. Es ist andererseits nicht auszuschließen, daß ein Teil der da und dort bei sehr einseitigen Futtermitteln auftretenden vielfältigen Störungen hinsichtlich Gesundheit, Fruchtbarkeit und Leistung auf eine unausgeglichene Spurenelementversorgung zurückzuführen ist. Eine Ration aus Maissilage und Sojaextraktionsschrot beispielsweise ist durch ein erhebliches Defizit an Mangan charakterisiert. Bei fehlender oder unzureichender Ergänzung sind einseitige Rationen diesbezüglich immer mit einem höheren Risiko behaftet.

Wegen der Gefahr von Unter- und insbesondere Überdosierungen und damit eventuell verbundenen Imbalancen und Toxizitätsproblemen ist die direkte Zufuhr von Spurenelementverbindungen durch den Tierhalter weder ratsam noch futtermittelrechtlich zulässig. Für die Praxis kommt deshalb prinzipiell nur eine zusätzliche Spurenelementzufuhr über ergänztes Mineralfutter oder Kraftfutter in Frage. Das mit Spuren-

elementen angereicherte Mineralfutter soll dabei nicht nur Bedarfslücken schließen, sondern auch im Sinne eines Sicherungszusatzes wirken. Nach dem geltenden Futtermittelrecht sind für Mineralfutter für Rinder je kg Mindestgehalte von 10 mg Co, 700 mg Cu und 3000 mg Zn vorgeschrieben. Bei Zink könnte in manchen Fällen ein Überschreiten dieser Mindestvorschrift empfehlenswert sein. Vielfach dürfte darüber hinaus ein Zusatz an Mangan ratsam sein, insbesondere bei Rationen mit Maissilage und bei Futter von Moorböden. Ein Jodzusatz erscheint z. B. in jodarmen Alpenregionen angebracht. Da über eine jodreiche Ernährung der Milchkuh auch der Jodgehalt der Milch deutlich gesteigert werden kann, ergibt sich daraus auch ein positiver Effekt für die Ernährung des Menschen.

Spurenelementzusätze im Mischfutter verursachen nur minimale Mehrkosten. Da ihr Fehlen in der Ration von Leistungstieren aber große gesundheitliche und damit auch wirtschaftliche Schäden verursachen kann, sind sie sowohl aus ernährungsphysiologischen als auch aus ökonomischen Gründen unentbehrlich geworden.

### Zusammenfassung:

Bei steigendem Leistungsniveau der Milchkuh verstärkt sich auch die Gefahr von Fertilitätsstörungen oder Gesundheits- und Leistungseinbußen, die durch Fehlnahrung mit Mineralstoffen oder Spurenelementen verursacht werden können.

Die Mengen- und Spurenelemente üben eine Vielzahl von essentiellen Funktionen in verschiedenen Bereichen des Fertilitätsgeschehens aus. Bei Phosphor liegen Hinweise für negative Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit der Milchkuh sowohl im Bereich einer Unterversorgung als auch bei starker Überversorgung vor. Insbesondere ist das Einhalten eines optimalen Ca:P-Verhältnisses von etwa 1,5-3,5:1 in der Gesamtration wichtig. Auch die übrigen Mengen- und Spurenelemente sollten innerhalb des ernährungsphysiologischen Bedarfs in einem harmonischen Mengenverhältnis zueinander vorliegen.

Durch eine Fülle von Wechselwirkungen zwischen Elementen und übrigen Nahrungsbestandteilen sowie der Mengen- und Spurenelemente untereinander unterliegt die Verwertung der essentiellen Elemente der Nahrung mannigfachen Einflüssen. Hierzu bedarf es noch weiterer intensiver Forschung, um den für die Praxis notwendigen Schritt vom faktoriell ermittelten Nettbedarf zum Bruttbedarf exakter vollziehen zu können.

Als Kriterien für den Versorgungsstatus eines Tieres können bei Natrium und Kalium der Gehalt im Speichel dienen. Analysen des Blutserums können Aufschluß über die Versorgung des Organismus mit Magnesium geben. Die Aussagekraft des anorganischen Phosphat-Gehaltes im Blutserum ist noch umstritten. Für Spurenelemente kann teilweise die Haaranalyse wertvolle Anhaltspunkte über die alimentäre Versorgung geben.

In der wissenschaftlichen Forschung wird weiterhin nach sensiblen Bedarfs- und Versorgungskriterien gesucht. Größere Erwartungen knüpfen sich in diesem Zusammenhang an biochemische Kriterien, wie die Aktivität spezifischer Metalloenzyme sowie dem Bindungsvermögen bzw. der Sättigung bestimmter Speicher- und Transport-Proteine.

Unter den speziellen Störungen des Mineralstoffwechsels spielen Hypocalcämische Gebärparalyse und Hypomagnesämie (Weidetetanie) nach wie vor eine besondere Rolle. Fütterungsprophylaktische Maßnahmen sind jedoch möglich.

Abschließend werden Beispielsrationen für Milchkuhe aufgezeigt. In der Regel sind 100 bis 150 g Mineralfutter eines jeweils auf die Ration abgestimmten Typs erforderlich, um die Grundfütterungen zu ergänzen und auszugleichen. Bei den Mengenelementen bedürfen Natrium, Calcium, Phosphor und Magnesium besonderer Aufmerksamkeit und häufig einer Ergänzung. Auch bei einer Reihe von Spurenelementen sind die nativen Gehalte der Futtermittel vielfach ergänzungsbedürftig. Die für Rindermischfutter vorgeschriebenen Mindestzusätze an Spurenelementen reichen nicht in allen Fällen genügend sicher zur Bedarfsdeckung aus.

## Literatur

- ANKE, M. und HENNIG, A. (1972): Mineralstoffe in: HENNIG, A. (Hrsg.): Mineralstoffe, Vitamine, Ergotropika. VEB Deutsch. Landwirtschaftsverlag Berlin
- ANKE, M. und RISCH, M. (1979): Haaranalyse und Spurenelementstatus. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena
- AUSSCHUSS FÜR BEDARFSNORMEN DER GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE DER HAUSTIERE (1978): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Nr. 1: Empfehlungen zur Mineralstoffversorgung, S. 9-21, DLG-Verlag, Frankfurt am Main
- BICKER, M. (1971): Mineralstoffbedarfsnormen für Rinder. Landw. Forsch. 24, 225-237
- BOSTEDT, H. (1982): Maßnahmen zur Hebung des Fertilitätsstandes in Milchkuhbeständen. Vet. med. Nachr. 1982 Nr. 1, 3-17 u. Nr. 2, 178-197
- BREMNER, I. und DAVIES, N. T. (1980): Dietary composition and the absorption of trace elements by ruminants. In: RUCKEBUSCH, Y. und THIVEND, P. (ed.): Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants p. 409-427, MTP Press Lancaster
- CAPEN, C. C. und YOUNG, D. M. (1967): The ultrastructure of the parathyroid glands and thyroid parafollicular cells of cows with parturient paresis and hypocalcemia. Lab. Invest. 17, 717-737
- DIRKSEN, G. und KAUFMANN, W. (1978): Untersuchungen über die Pansenmotorik der Milchkuh im Zeitraum um die Kalbung. Fortsch. Vet. Med., Beih. Zbl. Vet. Med. H. 28, 144-152
- DLG-FUTTERWERTABELLEN (1973): Mineralstoffgehalte in Futtermitteln. Arbeiten der DLG Band 62, Frankfurt am Main, 2. Aufl.
- DURAND, M. und KAWASHIMA, R. (1980): Influence of minerals in rumen microbial digestion. In: RUCKEBUSCH, Y. und THIVEND, P. (ed.): Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants p. 375-408, MTP Press Lancaster
- ERNST, P. (1980): Natriummangel in Weidefutter weit verbreitet. Der Tierzüchter 32, 205-206
- GRACE, N. D. (1975): Studies on the flow of zinc, cobalt, copper and manganese along the digestive tract of sheep given perennial ryegrass, or white or red clover. Br. J. Nutr. 34, 73-82
- GREUPNER, H., ROSSOW, N., GOLDSTEIN, S., JACOBI, U., KIRCHNER, K. und BETHE, W. (1977): Gebärpäresisprophylaxe mit Ammoniumchlorid. Mh. Vet. Med. 32, 528-532
- GROPPEL, B. (1969): Vergleichende Untersuchungen über den Mangan-, Zink- und Cadmiumstoffwechsel kleiner Wiederkäuer bei unterschiedlicher Versorgung mit diesen Elementen. Diss. Jena
- GÜNTHER, K. D. (1966/67): Versuche zur primären Vitamin-D-Wirkung auf die Resorption und Exkretion von Ca in Darm und Niere. Z. Tierphysiol. Tierernähr. u. Futtermittelkde. 22, 8-25
- GÜNTHER, K. D. (1976): Fütterung und Fruchtbarkeit - Mineralstoffe und Spurenelemente - Hülsenberger Gespräche, 85-91, Verlagsgesellschaft tierzücht. Nachrichten, Hamburg
- GÜNTHER, K. D., TEKIN, C. und KERSCHER, U. (1981): Zum Einfluß von Vitamin-Verwertbarkeit mineralischer Phosphorverbindungen. Kraftfutter 64, 500-508
- HANSARD, S. L., COMAR, C. L. und DAVIS, G. K. (1954a): Effects of age upon behavior of calcium in cattle. Am. J. Physiol. 177, 383-389
- HANSARD, S. L., COMAR, C. L. und PLUMLEE, M. P. (1954b): The effects of age upon calcium utilization and maintenance requirements in the bovine. J. Anim. Sci. 13, 25-36
- HIDIROGLOU, M. (1979): Trace element deficiencies and fertility in ruminants: A review. J. Dairy Sci. 62, 1195-1206
- HOLZSCHUH, W., DITTRICH, A. und LEGEL, S. (1970): Bedeutung der Phosphorversorgung in der Fütterung wachsender Wiederkäuer. Tierzucht 24, 25-28
- JÖNSSON, G. (1979): Ätiologie und Prophylaxe der Gebärpäresis des Rindes. Übers. Tierernährung 7, 193-216
- JÖNSSON, G. und PEHRSON, B. (1970): Trials with prophylactic treatment of parturient paresis. Vet. Rec. 87, 575-583
- JÖNSSON, G., PEHRSON, B., LUNDSTRÖM, K., EDQVIST, L.-E. und BLUM, J. W. (1980): Studies on the effect of the amount of calcium in the parturient diet on blood levels of calcium, magnesium, inorganic phosphorus, parathyroid hormone and hydroxyproline in milk fever prone cows. Zbl. Vet. Med. A, 27, 173-185
- KIRCHGESSNER, M. und PALLAUF, J. (1972): Zinkgehalte in Knochen und Ganzkörper wachsender Ratten bei unterschiedlicher Zinkversorgung. Z. Tierphysiol., Tierernähr. u. Futtermittelkde. 30, 193-202
- KIRCHGESSNER, M., MÜLLER, H. L., WEIGAND, E., GRASSMANN, E., SCHWARZ, F. J., PALLAUF, J. und ROTH, H.-P. (1974): Zur Definition und Bestimmung der Absorbierbarkeit, intermediären Verfügbarkeit und Gesamtverwertung von essentiellen Spurenelementen. Z. Tierphysiol., Tierernähr. u. Futtermittelkde. 34, 3-17
- KIRCHGESSNER, M., SCHWARZ, F. J., GRASSMANN, E., ROTH, H.-P. und SCHNEGG, A. (1979): Experimentelle Studien zur Diagnose von Spurenelementmangel (Kupfer, Nickel, Mangan und Zink). In: GLADTKE, E., HEIMANN, G. und ECKERT, I. (Hrsg.): Spurenelemente, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1979
- KIRCHGESSNER, M. (1982): Tierernährung, DLG-Verlag Frankfurt am Main, 5. Aufl.
- KONERMANN, H. (1967): Untersuchungen über die Herdensterilität des Rindes unter Berücksichtigung der Zusammenhänge Boden - Pflanze - Tier. Vet.-Med. Habilitationsschrift, Hannover
- LOTTHAMMER, K.-H. (1980): Erfahrungen mit Betriebsanalysen bei bestandsweise auftretenden Gesundheits- und Fruchtbarkeitsstörungen in Milchrinderherden - Korrekturen, Ergebnisse, Folgerungen - Der Tierzüchter 32, 275-276
- LOTTHAMMER, K.-H. und AHLSEDE, L. (1973): Beziehungen zwischen Fütterung und Fruchtbarkeit beim weiblichen Rind. Teil II: Einfluß von Mengen- und Spurenelementen. Übers. Tierernähr. 1, 325-353
- MARTENS, H. und RAYSSIGUIER, Y. (1980): Magnesium metabolism and hypomagnesaemia. In: RUCKEBUSCH, Y. und THIVEND, P. (ed.): Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants p. 447-466, MTP Press Lancaster
- MAYER, G. P., RAMBERG, C. F. jr., KRONFELD, D. S., BUCKLE, R. M., SHERWOOD, L. M., AURBACH, G. D. und POTTS, J. T. jr. (1969): Plasma parathyroid hormone concentration in hypocalcemic parturient cows. Am. J. Vet. Res. 30, 1587-1597
- MILLER, W. J., LAMPP, B., POWELL, G. W., SALOTTI, C. A. und BLACKMON, D. M. (1967): Influence of a high level of dietary cadmium on cadmium content in milk, excretion, and cow performance. J. Dairy Sci. 50, 1404-1408
- MILLS, C. F. und WILLIAMS, R. B. (1971): Problems in the determination of the trace element requirements of animals. Proc. Nutr. Soc. 30, 83-91
- MOODIE, E. W. und ROBERTSON, A. (1961): Dietary intake of the parturient cow. Res. Vet. Sci. 2, 217-226
- MOODIE, E. W. und ROBERTSON, A. (1962): Some aspects of calcium metabolism in the dairy cow. Res. Vet. Sci. 3, 470-484
- NIEDERLANDISCHE KOMMISSION ZUR UNTERSUCHUNG DER MINERALSTOFF-ÜTTERUNG (1973): Leitfaden zur Beurteilung der Mineralstoffversorgung des Rindes in der Praxis. Übers. Tierernährung 1, 89-146
- OELSCHLÄGER, W. (1974): Über die Kontamination von Futtermitteln und Nahrungsmitteln mit Cadmium. Landw. Forsch. 27, 247-263
- PALLAUF, J. (1971): Zur Funktion und Verteilung des Zinks im tierischen Organismus. Mitt. Tierhaltung 11, H. 130, 20-26; H. 131, 12-24
- PALLAUF, J. (1976): Zum Mineralstoffgehalt wirtschaftseigener Futtermittel. In: Zum Phosphor- und Mineralstoffbedarf der Wiederkäuer. S. 8-31, Vortragstagung Fachvereinigung Futterphosphate, Göttingen
- PALLAUF, J. (1977): Erkenntnisse zum Spurenelementbedarf von Hochleistungskühen. Der Tierzüchter 29, 207-215
- PALLAUF, J. (1978): Die Mineralstoffversorgung des Rindes unter Berücksichtigung der neuen Empfehlungen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie der Haustiere. In: Neue Empfehlungen zur Mineralstoffversorgung, S. 9-27, mfi-Schriftenreihe, Fachverband der Futtermittelindustrie, Bonn
- PALLAUF, J. und KIRCHGESSNER, M. (1971): Experimenteller Zinkmangel bei wachsenden Ratten. Z. Tierphysiol., Tierernähr. u. Futtermittelkde. 28, 128-139
- PALLAUF, J. und KIRCHGESSNER, M. (1972): Zinkrepletion in Serum und Leber wachsender Ratten. Z. Tierphysiol., Tierernähr. u. Futtermittelkde. 29, 77-85
- PALLAUF, J. und KIRCHGESSNER, M. (1973): Zinkkonzentration des Rattenhaares bei Zinkdepletion und -repletion. - Zur Eignung des Haares als Indikator für die Zinkversorgung. - Zbl. Vet. Med. Reihe A 20, 100-109
- PALLAUF, J. und KIRCHGESSNER, M. (1976): Einfluß mangelnder Zinkversorgung auf Verdaulichkeit und Verwertung von Nährstoffen. Arch. Tierernährung 26, 457-473
- RIEDER, J. B., PLANK, P. und DIRKSEN, G. (1982): Pflanzenbauliche Maßnahmen zur Bekämpfung der Trisetum-Kalzinoze beim Rind. Das wirtschaftseigene Futter 28, 28-34
- SANSOM, B. F., ALLEN, W. M., DAVIES, D. C., HOARE, M. N., STENTON, J. R. und VAGG, M. J. (1976): Use of 1- $\alpha$ -OH-cholecalciferol in preventing postparturient hypocalcaemia and its potential value for the prevention of milk fever in dairy cows. Vet. Rec. 99, 310-312
- SONDEREGGER, J. (1976): Die Fruchtbarkeit des Rindes und ihre Beziehungen zu einigen Ernährungsfaktoren. Diss. ETH 5764, Zürich
- SCHWARZ, W. A. und KIRCHGESSNER, M. (1975): Experimenteller Zinkmangel bei laktierenden Milchkuhen. Vet. Med. Nachrichten 1975, Nr. 1, 19-40
- STEEVENS, B. J., BUSH, L. J., STOUT, J. D. und WILLIAMS, E. J. (1971): Effects of varying amounts of calcium and phosphorus in rations for dairy cows. J. Dairy Sci. 54, 655-661
- THALMANN, A., WESTERMANN, H.-D. und HOFFMANN, G. (1979): Nährstoff- und Mineralstoffgehalte von wirtschaftseigenen Futtermitteln aus Betrieben mit Fruchtbarkeitsstörungen. Das wirtschaftseigene Futter 25, 133-146
- WEIGAND, E. und KIRCHGESSNER, M. (1978): Homeostatic adaptation of Zn absorption and endogenous Zn excretion over a wide range of dietary Zn supply. In: KIRCHGESSNER, M. Trace Element Metabolism in Man and Animals - 3, p. 106-109, ATW Freising-Weihenstephan
- WEIGAND, E. und KIRCHGESSNER, M. (1982): Factorial Estimation of the Zinc Requirement of Lactating Dairy Cows. Z. Tierphysiol., Tierernähr. u. Futtermittelkde. 47, 1-9
- WEISS, J. (1981): Erfahrungen aus der Sicht der Fütterungsberatung. Der Tierzüchter 33, 251-254
- WIESNER, E. (1972): Fütterung und Fruchtbarkeit. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena

Ergänzung: Im Jahre 1986 sind überarbeitete Bedarfsempfehlungen für Mineralstoffe und Spurenelemente erschienen in: AUSSCHUSS FÜR BEDARFSNORMEN DER GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE DER HAUSTIERE (1986): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere Nr.3, Milchkuhe und Aufzuchtrinder, DLG-Verlag Frankfurt am Main  
Neue Bedarfswerte Milchkuh (ppm in TM):  
I 0,5; Mn 50; Se 0,15; Zn 50;