

4. Mineralstoffe und Vitamine

Patrick Schlegel, Jürg Kessler

Inhaltsverzeichnis

4.1	Mineralstoffe.....	2
4.1.1	Physiologische Regulierung	2
4.1.2	Mineralstoffbedarf der Pansenmikroben	2
4.1.3	Bedarf an Mengenelementen.....	3
4.1.4	Bedarf an Spurenelementen	6
4.1.5	Mineralstofftransfer in tierischen Produkten.....	7
4.1.6	Mineralstoffergänzungsquellen	7
4.1.7	Indikatoren für den Ernährungsstatus.....	9
4.1.8	Klinische Mineralstoffmängel	11
4.1.9	Toleranzschwellen	12
4.2	Vitamine	13
4.3	Literatur.....	14
	Anhänge.....	17



4.1 Mineralstoffe

Unter dem Begriff der Mineralstoffe fasst man die bei der Verbrennung von tierischem und pflanzlichem Material zurückbleibenden Bestandteile (Asche) zusammen. Entsprechend dem mittleren Gehalt im Tierkörper werden die Mineralstoffe in Mengen- (über 50 mg/kg Körpermasse) und Spurenelemente (unter 50 mg/kg Körpermasse) unterteilt. Ihre Verteilung im Tierkörper ist unterschiedlich: ~83 % befinden sich in den Knochen, ~10 % in der Muskulatur und ~7 % im übrigen Körper. Eine Milchkuh mit einem Körpergewicht von 650 kg weist ~22 kg Mineralstoffe auf, davon 16 kg Kalzium und Phosphor. Die Mineralstoffe erfüllen ganz unterschiedliche Aufgaben. So sind sie unter anderem Bausteine von Organen, Geweben und Enzymen, beteiligen sich an der Regulierung und Erhaltung des Basen-Säuren-Gleichgewichts der Körperflüssigkeiten wie Blut und Speichel und wirken als Katalysatoren von Enzym- und Hormonsystemen. Die für den Wiederkäuer lebensnotwendigen Mineralstoffe, die in der Praxis von Bedeutung sind, werden in Tabelle 4.1 dargestellt. Ein Mineralstoff gilt als lebensnotwendig, wenn eine Verarmung (Depletion) des Körpers an diesem Element zu Stoffwechselstörungen führt, die nur durch Ergänzung des betreffenden Elements verhindert oder beseitigt werden können.

Tabelle 4.1 Lebensnotwendige Mineralstoffe, die in der praktischen Wiederkäuerfütterung von Bedeutung sind

Mengenelemente				Spurenelemente			
Kalzium	Ca	Natrium	Na	Kupfer	Cu	Molybdän	Mo
Phosphor	P	Chlor	Cl	Eisen	Fe	Kobalt	Co
Magnesium	Mg	Schwefel	S	Mangan	Mn	Jod	I
Kalium	K			Zink	Zn	Selen	Se

4.1.1 Physiologische Regulierung

Tiere können Abweichungen zwischen der aufgenommenen und der für die Bedarfsdeckung erforderlichen Mineralstoffmenge tolerieren. Je nach Grössenordnung und Dauer der Abweichung kommt es nach und nach zu physiologischen Anpassungen wie der Mobilisierung bzw. der Einlagerung von Reserven (v.a. Ca, P und Zn im Skelett sowie Cu, Mn und Se in der Leber), der Veränderung der aktiven Absorption während des Verdauungsprozesses (Ca, P, Mg), der Anpassung der renalen Rückresorption (Ca, P, Mg, K, Na, Cl, I), der intestinalen Sekretion (Cu, Mn, Zn, Se) und bei bestimmten Mineralstoffen zur Ausscheidung über die Milch (Se und I). Die Kapazität der physiologischen Regulierung hängt vom jeweiligen Mineralstoff, der Dauer und dem Ausmass der Abweichung ab. Wenn sich die Abweichung zwischen Zufuhr und Bedarf nicht mehr über die physiologische Regulierung kompensieren lässt, können erste Anzeichen eines Mangels oder einer Vergiftung entdeckt werden. Klinische (visuelle) Symptome eines Mangels oder einer Vergiftung treten auf, wenn eine solche Situation über einen längeren Zeitraum vorliegt.

4.1.2 Mineralstoffbedarf der Pansenmikroben

Mineralstoffe sind für Pansenmikroben (Bakterien, Protozoen, Hefen) lebensnotwendig. Die über das Futter aufgenommenen Mineralstoffe sollen somit nicht nur den Bedarf des Tieres decken, sondern auch garantieren dass eine genügende Menge in wasserlöslicher Form den Pansenmikroben zur Verfügung steht. Bei einigen Mineralstoffen wie Co und S soll die optimale Aktivität der Pansenmikroben limitierend sein; bei anderen Elementen geht man davon aus, dass der Bedarf der Pansenmikroben durch jene des Tieres gedeckt wird. Bei Mg zum Beispiel sei mit 1.5 g/kg organische Substanz eine optimale Entwicklung der Pansenmikroben garantiert (Durand und Komisarczuk, 1988), was rund 1.0 g/kg TS entspricht. Diese Konzentration wird durch die Mineralstoffempfehlung des Tieres längst gewährleistet. Falls der Anteil an Mg über das Mineralfutter hoch ist, ist darauf zu achten, dass die Quelle eine hohe Wasserlöslichkeit hat, damit sie für die Pansenmikroben verfügbar ist und durch die Pansenwand absorbiert wird. Der Bedarf der Pansenmikroben an **Phosphor** kann doppelt so hoch sein wie der Erhaltungsbedarf des Tieres. Um den Bedarf zu decken, verwertet der Wiederkäuer eine bedeutende Menge dieses Elements über den Speichel wieder (dies entspricht bei der laktierenden Milchkuh ca. 7.5 g P /kg TS). Der P im Speichel in Form von gelöstem Phosphat, ist für die Mikroorganismen rasch verfügbar. Eine für die Pansenmikroben ungenügende P-Zufuhr betrifft in erster Linie die cellulytischen Bakterien, wodurch der Abbau der Nahrungsfasern vermindert wird, was wiederum zu einer Reduzierung der Futtermittelaufnahme des Nutztiers führt. Bei Rationen, die ein adäquates Wiederkauen ermöglichen, ist das Tier imstande, den P-Bedarf der Pansenmikroben durch die Wiederverwertung des P im Speichel zu decken. Bei Rationen, welche zu Störungen des Wiederkäuens führen (z.B. Pansenazidose), kann es jedoch trotz einer für das Nutztier ausreichenden P-Versorgung zu einem P-Mangel der Mikroorganismen kommen. Dieser Typ von Rationen (z.B. Ganzpflanzenmais-betont) kann einen bedeutenden P-Anteil in Form von Phosphat aufweisen. Dies erfordert eine hohe Wasserlöslichkeit im Pansen, um primär die Mikroorganismen mit P zu versorgen.

Die Pansenmikroben weisen die Besonderheit auf, dass sie Aminosäuren aus Nicht-Protein-Stickstoff synthetisieren können. Das Vorliegen nur ungenügender Mengen an **Schwefel** kann zum limitierenden Faktor dieser Synthese werden. Der S-Bedarf der Pansenmikroben wird auf 2.5 bis 3.1 g/kg verdauliche organische Substanz geschätzt (Durand und Komisarczuk, 1988), was rund 2 g/kg TS entspricht. Wenn die Proteinzufuhr teilweise über Harnstoff erfolgt, ist die S-Zufuhr reduziert. Deshalb sollten 30 bis 40 g S /kg zusätzlicher Harnstoff gegeben werden.

Die Pansenbakterien sind in der Lage, Vitamin B₁₂ aus dem im Futter enthaltenen **Kobalt** zu synthetisieren. Prinzipiell verläuft diese Synthese optimal, wenn über das Futter 0.10 bis 0.15 mg Co /kg TS zugeführt werden. Der Co begünstigt ausserdem die Anhaftung von cellulytischen Bakterien an ihr Substrat und dessen Abbau (Lopez-Guiza und Satter, 1992). Jedoch liess sich die Verdaulichkeit von Cellulose, Zellwand oder Lignocellulose durch eine Zufuhr von 0.30 mg Co /kg TS verglichen mit 0.10 mg Co /kg TS nicht verbessern (Kessler und Arrigo, 1996). Bei faserarmen Rationen (z.B. Ganzpflanzenmais-betont) ist die Co-Zufuhr, die für eine maximale Tierleistung und Vitamin B₁₂ Blutgehalt notwendig ist, höher und liegt bei 0.15 bis 0.20 mg Co /kg TS (Schwarz et al., 2000; Stangl et al., 2000).

4.1.3 Bedarf an Mengenelementen

Bei den Mengenelementen (ausser bei S) erfolgt die Bedarfsableitung mittels der faktoriellen Methode, die darin besteht, die verlorene und eingelagerte Menge für jedes Element einzeln zu addieren. Der **Nettobedarf oder der Bedarf an absorbierten Mengenelementen** (Tabelle 4.2) ist die Summe aus:

Erhaltungsbedarf	= Unvermeidbare endogene Kot- und Harnverluste; Die Verluste über den Schweiss werden für K und Na berücksichtigt.
Produktionsbedarf	= Wachstum: Während des Wachstums eingelagerte Elemente
	= Trächtigkeit: Von Uterus und Fötus eingelagerte Elemente
	= Milchproduktion: Durch die Milch ausgeschiedene Elemente

Tabelle 4.2: Netto-Erhaltungs- und Produktionsbedarf an Mengenelementen bei Rind, Schaf und Ziege

			Ca	P	Mg	K ⁶⁾	Na ⁶⁾	Cl
Rind								
Erhaltung ¹⁾	In Laktation	[g/d]	0.90 * TSV	0.90 * TSV	0.22 * TSV	0.15 * LG	0.023 * LG	0.035 * LG
	Im Wachstum	[g/d]	0.90 * TSV	0.90 * TSV	0.22 * TSV	0.10 * LG	0.015 * LG	0.023 * LG
	Keines der beiden	[g/d]	0.85 * TSV	0.90 * TSV	0.22 * TSV	0.10 * LG	0.015 * LG	0.023 * LG
Wachstum ²⁾	<200 kg LG	[g/kg TZW]	15.0	7.5	0.40	1.60	1.40	1.00
	>200 kg LG; <500 kg LG _{Erwachsen}	[g/kg TZW]	11.0	6.0	0.40	1.60	1.40	1.00
	>200 kg LG; >500 kg LG _{Erwachsen}	[g/kg TZW]	12.0	6.7	0.40	1.60	1.40	1.00
Trächtigkeit ³⁾	8 bis 3 Wo. vor Abkalbetermin	[g/d]	6.5	4.5	0.15	1.00	1.20	1.00
	Ab 3 Wo. vor Abkalbetermin	[g/d]	9.0	5.2	0.30	1.00	1.20	1.00
Milchproduktion ⁴⁾		[g/kg Milch/d]	1.22	1.00	0.10	1.55	0.40	1.15
Ziege								
Erhaltung ¹⁾	In Laktation	[g/d]	0.90 * TSV	1.10 * TSV	0.25 * TSV	0.15 * LG	0.023 * LG	0.035 * LG
	Im Wachstum	[g/d]	0.90 * TSV	1.10 * TSV	0.25 * TSV	0.10 * LG	0.015 * LG	0.023 * LG
	Keines der beiden	[g/d]	0.85 * TSV	1.10 * TSV	0.25 * TSV	0.10 * LG	0.015 * LG	0.023 * LG
Wachstum ²⁾	<50 kg LG	[g/kg TZW]	9.5	5.5	0.40	2.00	1.20	1.00
	>50 kg LG	[g/kg TZW]	7.5	4.5	0.40	2.00	1.20	1.00
Trächtigkeit ³⁾		[g/Fötus/d]	1.0	0.6	0.03	0.25	0.15	0.40
Milchproduktion ⁴⁾		[g/kg Milch/d]	1.20	0.90	0.10	2.00	0.35	1.30
Schaf								
Erhaltung ¹⁾	In Laktation	[g/d]	0.90 * TSV	1.10 * TSV	0.25 * TSV	0.15 * LG	0.023 * LG	0.035 * LG
	Im Wachstum	[g/d]	0.90 * TSV	1.10 * TSV	0.25 * TSV	0.10 * LG	0.015 * LG	0.023 * LG
	Keines der beiden	[g/d]	0.85 * TSV	1.10 * TSV	0.25 * TSV	0.10 * LG	0.015 * LG	0.023 * LG
Wachstum ²⁾	<30 kg LG	[g/kg TZW]	9.5	5.5	0.40	1.80	0.90	0.70
	>30 kg LG	[g/kg TZW]	7.5	4.5	0.40	1.80	0.90	0.70
Trächtigkeit ³⁾		[g/Fötus/d]	0.7	0.4	0.03	0.25	0.15	0.40
Milchproduktion ⁴⁾		[g/kg Milch/d]	1.90	1.50	0.18	1.30	0.45	1.15

Akürzungen: LG: Lebendgewicht; TZW: Tageszuwachs; TSV Trockensubstanz Verzehr

¹⁾ Meschy, 2010; NRC, 2001; GfE, 2001

²⁾ AFRC, 1991

³⁾ House et Bell, 1993; Meschy, 2010

⁴⁾ Sieber, 2011

⁵⁾ Meschy, 2010

⁶⁾ Ab >30 °C, Erhaltungsbedarf für K und Na wird wegen Schw eisverluste um Respectiv 0.004 und 0.005 g/kg LG /d erhöht (NRC, 2001)

Der Erhaltungsbedarf wird für Ca und P in Abhängigkeit von der Futterraufnahme ausgedrückt und für die Elektrolyten K und Na in Abhängigkeit vom Lebendgewicht des Tieres. Für eine Harmonisierung mit Ca und P wird der Erhaltungsbedarf für Mg, der ursprünglich auf dem Lebendgewicht basiert, wie in den deutschen Empfehlungen (GfE, 2001) gemäss der Futterraufnahme angepasst. Der Erhaltungsbedarf für Ca, K, Na, und Cl hängt von der Stoffwechselintensität ab (Wachstum und Laktation vs. Erhaltung und Trächtigkeit). Der Erhaltungsbedarf für Mg schliesst neu auch die unvermeidbaren Mg-Verluste über den Harn mit ein, die bislang als vernachlässigbar angesehen wurden (NRC, 2001). Die durch Schwitzen verursachten Mineralstoffverluste lassen sich für K und Na berücksichtigen. Einige ursprüngliche Formeln wurden in der vorliegenden Ausgabe vereinfacht.

Der **Absorptionskoeffizient** (Anhang 1) ist im Rahmen der faktoriellen Methode für die Bestimmung des **Bruttobedarfs** erforderlich, d.h. für die dem Wiederkäuer zuzuführende Menge an wichtigsten Mineralstoffen.

Bruttobedarf = Nettobedarf / Absorptionskoeffizient

Absorptionskoeffizient: Bei der Bedarfsschätzung mittels faktorieller Methode ist der Einfluss des definierten Absorptionskoeffizienten entscheidend. Der Absorptionskoeffizient des Elements kann je nach Mineralstoffquelle, dem Einfluss anderer Nährstoffe, der Tierart, der Rasse, dem Lebendgewicht oder dem physiologischen Zustand des Tieres potenziell variieren. In dieser Publikation wurden die Koeffizienten bislang in Abhängigkeit der Tierart, des Gewichts und des physiologischen Zustands des Tieres festgelegt. Sie wurden in erster Linie durch Simulationen mit Beispielrationen und den jeweiligen Koeffizienten der Futtertypen bestimmt. Neu sind die Absorptionskoeffizienten auf die Tierart bezogen und variieren je nach Zusammensetzung der Ration, wenn dies für nötig befunden wird.

In diesem Werk werden folgende Empfehlungen für die Absorptionskoeffizienten (Tabelle 4.3) gegeben:

- **Kalzium:** Die Absorbierbarkeit hängt von der Rationszusammensetzung ab. Es gibt keine quantifizierbaren Angaben, mit denen der Koeffizient nach Tierart (Rind, Schaf, Ziege), Gewicht oder physiologischem Zustand unterschieden werden könnte. Die Ca-Absorption ist nur wenig sensibel gegenüber dem Antagonismus anderer Nährstoffe. Die detailliertesten Koeffizienten, die pro Futtermittel angegeben werden, wurden vom Institut National de Recherche Agronomique français (INRA, 2007) übernommen. Der amerikanische Nutrient Research Council (NRC, 2001) schlägt Koeffizienten je nach Futtergruppe vor (Raufutter: 30 %; Ergänzungsfutter: 60 %; Mineralfutter 70 %). Die deutschen (GfE, 2001), skandinavischen (NorFor, 2001) und holländischen (CVB, 2005) Empfehlungen schlagen je einen einzigen Koeffizienten vor, d.h. 50, 50 bzw. 68 %. Mit Hilfe der wahren Absorption der Futterkomponenten (Meschy und Corrias, 2005) ergeben sich für Standardrationen von Milchkühen Koeffizienten zwischen 35 und 45 %, je nach Rationentyp und Ergänzungsfutteranteil (Anhang 2).

Agroscope verwendet beim Wiederkäuer mehrere Ca-Absorptionskoeffizienten, dies je nach Rationentyp. Beim Vor-Wiederkäuer (Kalb, Zicklein und Lamm) verwendet Agroscope nur einen Ca-Absorptionskoeffizienten (Yuangklang et al., 2010) In dieser Untersuchung standen den Kälbern Milch, wie auch Raufutter zur Verfügung.

- **Phosphor:** Die Absorbierbarkeit hängt von der Rationszusammensetzung ab. Es gibt keine quantifizierbaren Angaben, mit denen der Koeffizient nach Tierart (Rind, Schaf, Ziege), Gewicht oder physiologischem Zustand unterschieden werden kann. Nur wenige antagonistische Einflüsse auf die P-Absorbierbarkeit sind bekannt. Eine übermässige Aluminium- oder Fe-Zufuhr (Rosa et al., 1982) weist auf eine möglicherweise verminderte P-Nutzung hin, die jedoch nicht quantifizierbar ist. Kalzium kann den P-Koeffizienten nur dann verschlechtern, wenn eines der beiden Elemente den Bedarf des Tieres nicht deckt. Die detailliertesten Koeffizienten, die pro Futtermittel angegeben werden, wurden vom Institut National de Recherche Agronomique français (INRA, 2007) übernommen. Der amerikanische Nutrient Research Council (NRC, 2001) schlägt Koeffizienten je nach Futtergruppe vor (Raufutter: 64 %; Ergänzungsfutter 70 %; Mineralfutter: 90 %). Die deutschen (GfE, 2001), skandinavischen (NorFor, 2001) und holländischen (CVB, 2005) Empfehlungen schlagen je einen einzigen Koeffizienten vor, d.h. 70, 70 bzw. 75 %. Mit Hilfe der wahren Absorption der Futterkomponenten (Meschy, 2002, Jongbloed et al., 2002; Anhang 3) erwiesen sich die Koeffizienten für Standardrationen von Milchkühen als relativ konstant (je nach Ration 70 bis 78 %, Anhang 4). Sie variierten weniger stark als die Koeffizienten der einzelnen Futterkomponenten (Meschy, 2002).

Agroscope verwendet also einen einzigen P-Absorptionskoeffizienten für den Vor-Wiederkäuer sowie den Wiederkäuer (Schlegel, 2012). Der für den Vor-Wiederkäuer bestimmte Absorptionskoeffizient berücksichtigt, dass die Kälber einen Teil Raufutter in der Ration hatten (Yuangklang et al., 2010).

- **Zusammenhang zwischen Kalzium und Phosphor:** Die P-Absorption und der P-Stoffwechsel sind eng an diejenigen von Ca und Vitamin D₃ gebunden. Ein – im Vergleich mit P-Ionen – Überschuss an Ca-Ionen im Verdauungstrakt kann die Absorbierbarkeit von P durch die Bildung von Kalziumphosphatkomplexen verringern. Umgekehrt kann eine ungenügende Ca-Zufuhr zu einer Mobilisierung von Ca-Reserven aus dem Knochen führen. Durch diese Mobilisierung wird auch P aus dem Knochen in die Blutbahn freigesetzt und gelangt von dort aus via Speichel in den Pansen.

Die quantitativ so bedeutende P-Wiederverwertung über den Speichel induziert ein Ca:P-Verhältnis im Darm, welches in keinem Zusammenhang mehr mit jenem in der Ration steht. Das bedeutet, dass das Ca:P-Verhältnis der Ration nicht von Bedeutung ist, wenn die beiden Elemente den Bedarf des Tieres decken. Nichtsdestotrotz stellt dies die Auswahl des Mineralfutters gemäss seinem Ca:P-Verhältnis nicht in Frage.

- **Magnesium:** Magnesium wird im Darm des Vor-Wiederkäuers und hauptsächlich durch die Pansenwand des Wiederkäuers absorbiert. Die Absorbierbarkeit kann durch zahlreiche Faktoren beeinflusst werden. Nach heutigem Kenntnisstand lassen sich zwei davon quantifizieren: Die Mg-Absorbierbarkeit von Schafen ist höher als die von Rindern und Ziegen (Adediji und Suttle, 1999; Kessler, 2000a; Meschy und Corrias, 2005). Das Vorliegen hoher Mengen an K in der Ration reduziert die Mg-Absorption durch die Pansenwand linear. Dieser Antagonismus ist beim Rind und bei der Ziege deutlicher ausgeprägt als beim Schaf.

Die Absorbierbarkeit von Mg kann durch andere Faktoren beeinflusst werden, die hingegen nicht ausreichend quantifizierbar sind, um sie in die Empfehlungen zur Mineralstoffversorgung aufzunehmen: 1) Beim Rind könnte der negative Einfluss von K auf die Absorbierbarkeit von Mg weniger in Raufutter- als in Maissilage-basierten Rationen ausgeprägt sein. 2) Die Absorbierbarkeit von Mg könnte durch eine weniger strukturierte Ration, die den Transit beschleunigt, reduziert werden. 3) Eine Ration, die reich an rasch löslichen stickstoffhaltigen Verbindungen ist (z. B. junges Gras), erhöht die Ammoniakstickstoff-Konzentration im Pansen und reduziert die Mg-Absorption während 2 bis 3 Tagen, bevor sich diese wieder normalisiert (Gäbel und Martens, 1986). 4) Ein Na-Mangel reduziert die Absorbierbarkeit von Mg. 5) Ein starker Ca-Überschuss (mindestens doppelt so hoch wie die empfohlene Menge) reduziert den Mg-Status (Kronqvist et al., 2011).

Agroscope verwendet also einen einzigen Absorptionskoeffizienten für den Vor-Wiederkäuer und eine lineare Regression in Abhängigkeit des K in der Ration bei Wiederkäuern. Der für den Vor-Wiederkäuer bestimmte Absorptionskoeffizient berücksichtigt, dass die Kälber einen Teil Raufutter in der Ration hatten (Yuangklang et al., 2010). Bei der Milchkuh wurden vier Regressionen zur scheinbare Mg-Absorbierbarkeit in Abhängigkeit des K in der Ration vorgeschlagen (Adediji et Suttle, 1999; Weiss, 2004; Schonewille et al., 2008). Die Wahl der am besten geeigneten Regression wurde mit Hilfe von zwei bei Agroscope durchgeführten Milchkuhversuchen getroffen. In einem Versuch (Kessler, 2000a) wurde die scheinbare Absorbierbarkeit von Mg bei der Vorlage einer auf Heu-basierten Ration in Abhängigkeit des K-Gehaltes (30 oder 40 g K /kg TS) untersucht. Im anderen Versuch (Schlegel et al., 2015) wurde der jeweilige Mg-Status in Abhängigkeit von der Mg-Zufuhr (2.0, 2.7 und 3.4 g Mg /kg MS) und vom Rationstyp (Gras-/Maissilage, Emd oder Vollweide) verglichen.

- **Kalium, Natrium und Chlor:** Die Absorbierbarkeit der Elektrolyten K, Na und Cl ist sehr hoch. Diese von Na verschlechtert sich durch eine zunehmend hohe K-Zufuhr nicht, solange die Na-Zufuhr den Empfehlungen entspricht (Kessler, 2000b).

Der S-Bedarf des Tieres basiert auf dem der Pansenflora. Der Bruttobedarf von **Schwefel** wird beim Rind sowie beim Schaf auf 2.0 g/kg TS geschätzt und bei der Ziege auf 2.2 g/kg TS.

Die Fütterungsempfehlungen für Mengenelemente sind den jeweiligen Kapiteln der Tierkategorien zu entnehmen (Aufzuchtalb, Aufzuchtrind, Milchkuh, Mutterkuh, Mastkalb, Mastmuni, Schaf, Ziege).

Tabelle 4.3: Absorptionskoeffizient [%] von Ca, P, Mg, K, Na und Cl

	Ca	P	Mg	K	Na	Cl
Rind						
Vor-Wiederkäuer	70	80	40	90	90	90
Wiederkäuer	35 - 45 ¹⁾	70	28 - 0.5*K [g/kg TS]	90	90	90
Ziege						
Vor-Wiederkäuer	70	80	40	90	90	90
Wiederkäuer	35 - 45 ¹⁾	70	28 - 0.5*K [g/kg TS]	90	90	90
Schaf						
Vor-Wiederkäuer	70	80	70	90	90	90
Wiederkäuer	35 - 45 ¹⁾	70	46 - 0.4*K [g/kg TS]	90	90	90

¹⁾ Je nach Zusammensetzung der Ration:

	Anteil an Ergänzungsfutter	< 10%	10% - 25%	> 25%
Gemischte Ration Raufutter - Milchprodukte		65%	65%	65%
Maissilage (>40%) basierte Ration		42%	44%	46%
Maissilage (<40%) basierte Ration		40%	42%	44%
Grasbasierte Ration ²⁾		38%	39%	41%
Grasbasierte Ration, 10% Futterrüben		35%	37%	39%

²⁾ Mit einer hohen Leguminoseanteil (Typ L), werden die Koeffizienten um 5% reduziert

4.1.4 Bedarf an Spurenelementen

Der Bedarf an Spurenelementen wird über die empirische Methode ausgedrückt, die darin besteht, über eine steigende Zufuhr des entsprechenden Elements diejenige Menge zu bestimmen, die erforderlich ist, um ein Maximalniveau (Plateau) eines Parameters zu erzielen, der spezifisch der Zufuhr des jeweiligen Elements entspricht. Die geläufigsten Parameter sind die Gehalte im Knochen oder im Blut oder die enzymatische Aktivität im Blut. In der letzten Revision der Amerikanischen Fütterungsempfehlungen (NRC, 2001) wurde der faktorielle Ansatz verwendet. Der sensible Punkt ist jedoch die Definition des Absorptionskoeffizienten. Dieser basiert auf sehr wenigen Daten und hängt vom Gehalt des Elements in der Ration und dem Mineralstoffstatus des Tieres ab.

Der Mangel oder der Überschuss eines anderen Elements kann die Bioverfügbarkeit der untersuchten Spurenelemente beeinflussen. Die **Bioverfügbarkeit** entspricht dem maximalen Nutzungsgrad eines aufgenommenen Elements, welches durch ein gesundes Tier für einen biochemischen oder physiologischen Vorgang oder als Reserve verwendet wird. Die Bioverfügbarkeit umfasst die Absorptionfähigkeit und die möglichen Mineralstoffinteraktionen, welche die Absorption oder die endogene Exkretion des Elements beeinflussen können.

Da auch die potentiellen Vorteile der faktoriellen Methode bei Spurenelementen unter schweizerischen Verhältnissen nur schwer ausgenutzt werden können, hält Agroscope für die Fütterungsempfehlungen am empirischen Ansatz fest und korrigiert diese in Abhängigkeit der Mineralstoffinteraktionen. Letztere sind nur wenig quantifiziert. Diejenigen, die für Wiederkäuer von Bedeutung sind, werden nachfolgend beschrieben.

- **Interaktion Molybdän-Schwefel-Kupfer:** Das Mo und S bilden im Pansen Thiomolybdate, die sich an vorliegendes Cu binden. Das Vorhandensein grosser Mengen an Cu-Thiomolybdaten reduziert progressiv die Cu-Absorptionfähigkeit (Suttle und Mc Lauchlan, 1976; Suttle, 1983; Anhang 5). Bei einer Zufuhr von 10 mg Cu /kg TS über das Futter wird ein marginaler plasmatischer Cu-Status erreicht, wenn die Mo- und S-Gehalte höher als 2.0 und 3.0 g/kg TS sind (Dias et al., 2013; Anhang 5). Ein Mo-reiches Futter kann an sumpfigen und torfigen Standorten vorkommen.
- **Interaktion Eisen-Kupfer und Eisen-Zink:** Wenn das Futter starke Erdverschmutzungen aufweist, ist der Fe-Gehalt erhöht. Ein hoher Fe-Gehalt im Futter und in gelöster Form im Verdauungstrakt kann die Absorption von Cu und Zn verringern und den Bruttobedarf an diesen Elementen folglich erhöhen. Das Fe aus Kontaminationen ist wenig löslich, kann aber nach einer Vergärung (Grassilage) in löslicher Form vorhanden sein (Hansen und Spears, 2009). Das Lösen von Fe aus Erde ist somit in siliertem Futter wahrscheinlicher.
- **Interaktion Kalium-Mangan, Schwefel-Mangan und Eisen-Mangan:** Der Überschuss an diesen Elementen kann den Mn-Stoffwechsel wahrscheinlich über eine reduzierte Absorption stören. Die Absorbierbarkeit von Mn ist sehr schwach und diese Antagonismen können den Bruttobedarf stark beeinflussen. Da in der Schweiz

Wiesenfutter häufig K-reich ist, beinhalten die Mn-Empfehlungen eine Sicherheitsmarge, die hoch genug ist, um den Mn-Bedarf auch beim Auftreten dieser möglichen Interaktionen zu decken. Folglich sind die Mn-Empfehlungen 2- bis 4-mal so hoch, wie die mit der faktoriellen Methode erhaltenen Werte (NRC, 2001).

- **Interaktion Selen-Vitamin E:** Selen und Vitamin E agieren in ihrer Rolle als Antioxidantien komplementär, um den Erhalt der Integrität der Zellmembranen zu sichern. Sie können sich jedoch nicht vollständig gegenseitig ersetzen. Wegen dieser engen Verbindung können ihre Wirkungen in der Praxis nur selten voneinander getrennt werden.
- **Interaktion Schwefel-Selen:** Chemisch sind diese beiden Elemente sehr ähnlich. Ihre Absorption kann sinken, sobald der S-Gehalt der Ration 2.5 g/kg TS überschreitet (Pope et al., 1979). Ein negativer Einfluss auf den Selenstatus bleibt jedoch umstritten.
- **Interaktion Jod-Selen:** Die Umwandlung des Hormons T₄ zu T₃ in der Schilddrüse wird durch die Aktivität der selenabhängigen Deiodasen katalysiert. Folglich kann ein Se-Mangel diese Umwandlung stören und zu einer Schilddrüsendysfunktion führen.
- **Interaktion goitrogene Substanzen-Jod:** Die Präsenz von goitrogenen Substanzen in der Ration beschränkt den I-Transfer zur Schilddrüse und zu den Brustdrüsen, erhöht jedoch dessen Gehalt im Blut und dessen Ausscheidung über den Urin (Franke et al., 2009a; Franke et al., 2009b). Wenn die Ration zu einem grossen Teil (20–25 %) aus Futter besteht, das Glucosinolate (Kreuzblütler wie Futterkohl, Steckrüben und nicht-00-Raps), Blausäureglycoside (Leinsamen, Weissklee, Hirse) und Nitrate enthält, wird empfohlen, die I-Zufuhr über das Futter zu erhöhen.

Die empfohlenen Gaben an Spurenelementen werden in den jeweiligen Kapiteln bzw. bei jeder Tierkategorie aufgeführt (Aufzuchtkalb; Aufzuchtrind; Milchkuh; Mutterkuh; Mastkalb; Mastmuni; Schaf; Ziege). Es ist zu präzisieren, dass diese Mengen sich auf die vollständige Ration beziehen und nicht auf die zu ergänzenden Mengen. Diese Empfehlungen liegen weit unter den erlaubten Höchstmengen (schweizerische und europäische Gesetzgebung). In der Bioproduktion können die Empfehlungen sehr nah an den vom jeweiligen Label erlaubten Ergänzungsmengen liegen. Dies ist dann der Fall, wenn die natürlichen Gehalte in der Ration tief sind wie z. B. bei Co oder Se.

4.1.5 Mineralstofftransfer in tierischen Produkten

Bis auf einige Organe, wie beispielsweise die Leber, werden in den meisten Fällen die Mineralstoffgehalte der Produkte (Milch und Fleisch) durch die Mineralstoffzufuhr, die das Tier erhält, nicht verändert. Ausnahmen dieser Regel sind I, Se und Co. Je nach Aufnahme des jeweiligen Mineralstoffs über das Futter können ihre Gehalte in den Produkten verändert und an den Bedarf der menschlichen Ernährung angepasst werden. Der I-Gehalt der Milch ist direkt an den I-Gehalt der Ration gebunden. Der Se-Gehalt der Milch und des Fleisches kann über eine Ergänzung mit Produkten, die Selenomethionin oder Selenocystin enthalten, erhöht werden.

4.1.6 Mineralstoffergänzungsquellen

Die Kriterien für die Auswahl einer Mineralstoffergänzungsquelle sind zahlreich. Dazu gehören unter anderem:

- Gesetzliche Bestimmungen und unerwünschte Gehalte (z.B. Schwermetalle)
- Physikalische Eigenschaften (Granulierung, Staubigkeit, Fließbarkeit, Verklumpungsgefahr usw.) und chemische Eigenschaften (chemische Form, Mineralstoffgehalt, Pufferkapazität usw.)
- Löslichkeit und Löslichkeitskinetik bei neutralem pH (Wasser) und saurem pH
- Wirksamkeit im Tier
- Schmackhaftigkeit (Geschmack, Aroma, Textur)
- Preis pro Mineralstoffeinheit, gesamt oder absorbierbar

Der Absorptionskoeffizient von Mengenelementen aus Futterzusätzen ist in Tabelle 4.4 ersichtlich. Bei Ca-Quellen variiert dieser stark. Eine klassische Zufuhr von Kalziumcarbonat und Kalziumphosphat führt zu einem mittleren Ca-Absorptionskoeffizienten von 40 %. Der P-Absorptionskoeffizient ist bei den verschiedenen Phosphatquellen vergleichbar, beträgt im Mittel 70 % und entspricht somit dem der anderen Komponenten einer Ration. Der Absorptionskoeffizient von Mg aus Futterzusätzen variiert ebenfalls, ist jedoch zu relativieren. Die verwendeten Versuchsrationen waren K-arm. Bei K-reichen Rationen, wie sie in der Schweiz im Allgemeinen vorliegen, wären die Koeffizienten und Unterschiede zwischen den verschiedenen Quellen deutlich geringer.

Tabelle 4.4: Absorptionskoeffizient der Mengenelemente aus Mineralstoff-Ergänzungsquellen beim Wiederkäuer

Element	Quelle	Absorptionskoeffizient			
		Ca	P	Mg ¹⁾	Na, Cl
Ca	Calziumcarbonat	40			
Ca	Kalk-Dolomit	35			
Ca, P	Monocalziumphosphat	55	70		
Ca, P	Dicalziumphosphat	45	68		
P	Mononatrium Phosphat		75		
Mg	Magnesiumsulfat			45	
Mg	Magnesiumoxyd (<500 µm)			40	
Mg	Magnesiumoxyd (>500 µm)			30	
Mg	Magnesiumchlorid			40	
Ca, Mg	Dolomit	30		20	
Ca, P, Mg	Triplephosphat		70	45	
Na, Cl	Salz und andere				90
<i>Mittlere Varianz</i>		<i>±3</i>	<i>±4</i>	<i>±5</i>	

¹⁾ Rationen ohne K-Ueberschuss

Quelle: Literaturübersicht durch Jongbloed et al., 2002

Die Spurenelemente können je nach Herkunft in zwei Gruppen eingeteilt werden: Quellen anorganischer Herkunft (Oxid, Acetat, Carbonat, Chlorid oder Sulfat) und Quellen organischer Herkunft, bei welchen das Element an eine Proteinsubstanz (Aminosäure, Peptid oder Protein) gebunden ist oder, im Spezialfall, von Se anstelle von S in Schwefelaminosäuren eingebaut wird (Selenomethionin, Selenocystein). Die Herstellung aus organischen Quellen ist folglich deutlich energieaufwändiger als jene aus anorganischen Quellen. Historisch gesehen wurden die ersten organischen Quellen in den 70er Jahren entwickelt, um pansengeschützte Aminosäuren anzubieten (Zinkmethionin); erst danach wurden diese Quellen angeboten, um die Bioverfügbarkeit des Mineralstoffs gegenüber einer anorganischen Quelle zu verbessern.

Die Bioverfügbarkeit der anorganischen Quellen hängt unter anderem von ihrer Löslichkeit unter den verschiedenen Bedingungen im Gastrointestinaltrakt ab. Studien, welche die Bioverfügbarkeit anorganischer Quellen vergleichen, zeigen folgendes:

- Co: Sulfat = Carbonat > Oxid
- Cu: Sulfat = Carbonat > Oxid
- I: Kaliumjodid = Kalziumjodid
- Se: Natriumselenit = Natriumselenat
- Zn: Sulfat = Oxid

Es wurden zahlreiche Studien über organische Quellen durchgeführt, aber nur eine begrenzte Anzahl ermöglicht einen direkten Vergleich der Bioverfügbarkeit mit einer anorganischen Quelle. Bei den Kationen (Cu, Fe, Mn und Zn) soll die organische Bindung einen besseren Schutz des Elements gegen die antagonistischen Interaktionen im Verdauungstrakt ermöglichen. Somit erreicht die organische Quelle den Absorptionsort in intakter Form. Die Ergebnisse sind allerdings widersprüchlich und bestätigen nicht, dass die Bioverfügbarkeit organischer Quellen im Allgemeinen höher ist als die anorganischen Quellen. Dies ist abhängig vom jeweiligen Element, der Tierart und den vorliegenden Bedingungen. Eine Überlegenheit der organischen Formen wird eher bei Rationen beobachtet, in denen grosse Mengen antagonistischer Nährstoffe vorliegen, insbesondere mit Cu (z. B. Ward et al., 1996; Hansen et al., 2008). Unter schweizerischen Bedingungen hatte der Ersatz von anorganischem Cu, Mn, Zn und Se durch organische Quellen keinen relevanten Einfluss auf den Mineralstoffstatus von Milchkühen (Kessler und de Faria, 1998). Der Ersatz der anorganischen Zn-Quelle durch eine organische Form verbesserte den Gehalt an Zn in der Leber (Spears et al., 2004) sowie den Klauenzustand bei Mastmuni (Kessler et al., 2003). Während Selenit durch einfache Diffusion absorbiert wird, folgen die organischen Selenquellen den Absorptionsmechanismen der Aminosäuren. Folglich ist der Se-Gehalt von Geweben und Milch höher, wenn anorganisches Se durch organische Quellen ersetzt wird.

Ein weiterer Aspekt ist die elektrochemische Neutralität organischer Quellen, durch die sei es möglich, ihre Aggressivität gegenüber ebenfalls in den Mineralfuttern vorliegenden empfindlichen Molekülen wie beispielsweise Vitaminen zu vermindern.

4.1.7 Indikatoren für den Ernährungsstatus

Abgesehen von deutlichen (klinisch erkennbaren) Mangel- oder Überschussituationen bleibt die Bewertung des Mineralstoffstatus einer Herde sowohl bezüglich der zu analysierenden Parameter und der Referenzwerte als auch bezüglich der Interpretation der Ergebnisse eine heikle Übung.

Es wird empfohlen, nur dann eine Beurteilung des Mineralstoffstatus vorzunehmen, wenn die Vermutung besteht, dass die gesamte Tiergruppe von einem Mangel betroffen ist und nur nach einer Überprüfung des Mineralstoff-Fütterungsplans (alle Mineralstoffe), der Futteranalysen und der Mineralstoff-Verabreichungsweise.

Um den Mineralstoffstatus einer Herde zu beurteilen, wird empfohlen, gesunde Tiere (mindestens 5) auszuwählen, welche die Herde repräsentieren (z. B. seit einer vergleichbaren Zeit auf dem Betrieb, durchschnittliche Produktionsleistung) und sich in einem vergleichbaren Produktionsstadium befinden (bei Milchkühen am besten im Monat nach der Kalbung). Die Probennahme erfolgt in einer Phase ohne grosse Störungen (Abkalbezeit, Rationenwechsel usw. vermeiden). Die Proben müssen die Analysen von Parametern ermöglichen, die einer fütterungsbedingten Dosis-Wirkung entsprechend reagieren und problemlos entnommen werden können, ohne übertrieben hohe Kosten zu verursachen. Blut-, Harn- und möglicherweise Speichel- (Na) oder Milchproben (I, Se) sind folglich zu bevorzugen. Der nach der Schlachtung in der Leber bestimmte Cu-Gehalt ist ebenfalls ein adäquater Indikator. Die Mineralstoffgehalte im Haar geben keine verlässlichen Hinweise auf den Mineralstoffstatus.

Durch die physiologische Regulierungskapazität lassen sich die Gehalte in den Körperflüssigkeiten dauerhaft aufrechterhalten, solange noch Reserven mobilisierbar sind. Das heisst, dass eine 10-tägige Mg-Mangelernährung genügt, um bei Milchkühen ein Absinken des Mg-Spiegels im Plasma oder im Urin zu beobachten (Suttle, 2010), aber dass ein Absinken des Cu-Spiegels im Plasma erst nach einer zweimonatigen Cu-Mangelernährung feststellbar ist (Hansen et al., 2008). Zu einem Mineralstoffmangel kann es entweder direkt über eine ungenügende Zufuhr des entsprechenden Elements kommen oder durch eine überschüssige oder ungenügende Zufuhr eines anderen Nährstoffs (Antagonismen). Daher ist es für die Bewertung des Mineralstoffstatus einer Herde unabdingbar, die potenziellen Antagonismen mit in Betracht zu ziehen, um die Mineralstoffgehalte in der Ration festzulegen.

Die Referenzgehalte für erwachsene, gesunde, laktierende Rinder, die in Tabelle 4.5 dargestellt sind, stammen bis auf die erwähnten Ausnahmen von Suttle (2010) sowie von Ewing und Charlton (2005). Die von Kilchenmann und Pfäffli (1984) bei 46 Milchkühen analysierten Mengenelementgehalte im Blut stimmen mit den Referenzwerten überein.

Die vorliegende Revision der **Selen**-Fütterungsempfehlungen basiert auf Dosis-Wirkungsversuchen und Erhebungen des Se-Status in der Schweiz. Um einen als adäquat angesehenen Se-Status zu erreichen (50 µg Se/l Serum) war bei Mastmuni eine Zufuhr von 0.10 mg Se/kg TS nicht ausreichend (Räber et al., 2005). Auf der Grundlage zweier Erhebungen, in denen die Se-Futterzufuhr geschätzt und der Se-Status von Milchkühen gemessen wurde (Kessler et al., 1991; Schlegel et al., unveröffentlicht), wurde mit einer 0.19 mg Se/kg TS enthaltenden Ration ein adäquater Se-Status erreicht (Anhang 6). Der Se-Status des Muttertiers ist mit dem des neugeborenen Kalbes korreliert. Gemäss einer Erhebung von Lejeune et al. (2012) bleibt der durchschnittliche Se-Status neugeborener Kälber in der Schweiz kritisch. Die Fütterungsempfehlungen für Se wurden folglich nach oben angepasst (s. Kapitel Nährstoffempfehlungen).

Tabelle 4.5: Indikatoren für den Mineralstoffstatus beim erwachsenen Rind

Indikator	Parameter		Blut/Serum/Plasma							Harn					
			Sensibilität	Reaktivität	Form	Mangel	Marginal	Adäquat	Ueberschuss	Sensibilität	Reaktivität	Mangel	Marginal	Adäquat	Ueberschuss
Ca	Ca	[mmol/l]	Keine		Ser./Plas.	-	-	2.3 - 2.8	-	Keine		-	-	-	-
P	P	[mmol/l]	Mittel	Wochen	Ser./Plas.	≤ 1.0	1.0 - 1.2	1.2 - 2.2	-	Bei Uebersch.	Tage	-	-	-	-
Mg	Mg	[mmol/l]	Gut	Tage	Ser./Plas.	≤ 0.5	0.5 - 0.8	0.8 - 1.4	> 1.6	Gut	Tage	≤ 1.5	1.5 - 3.0	3 - 10	> 15
K	K	[mmol/l]	Gut	Tage	Ser./Plas.	≤ 2.5	2.5 - 4.0	4.0 - 5.0	> 10.0	Gut	Tage	≤ 20		20 - 120 ¹⁾	> 120 ¹⁾
Na	Na	[mmol/l]	Schwach ²⁾	Tage	Ser./Plas.	≤ 130	130 - 135	135 - 150	> 150	Gut	Tage	≤ 1 ²⁾	1 - 8	8 - 40	> 60
Cl	Cl	[mmol/l]		Tage	Ser./Plas.	≤ 70	70 - 90	90 - 110	> 150		Tage	≤ 2			
Cu⁴⁾	Cu	[µmol/l]	Gut	Monate	Plasma	< 8 ³⁾	8 - 11	11 - 25 ³⁾	> 60	Keine		-	-	-	-
Co	Co	[µmol/l]			Ser./Plas.	≤ 1.5	1.5 - 2.5	2.5 - 8.5	> 25.5	Keine		-	-	-	-
Co	Vit. B ₁₂	[µg/l]			Ser./Plas.	≤ 0.2	0.2 - 0.4	0.4 - 0.9	-	Keine		-	-	-	-
Fe	Fe	[µmol/l]	Gut	Tage	Ser./Plas.	≤ 9		10 - 20	> 30	Keine		-	-	-	-
Fe	Hb	[g/l]	Gut	Wochen	Blut	≤ 90		90 - 140	-	Keine		-	-	-	-
I⁵⁾	I total	[µmol/l]	Gut	Wochen	Ser./Plas.	≤ 0.4	0.4 - 0.8	0.8 - 3.1	> 5.5	Gut	Tage	≤ 0.6	0.6 - 0.8	0.8 - 2.0	< 3.0
I⁵⁾	I inorg.	[µmol/l]	Gut	Tage	Ser./Plas.	≤ 0.4	0.4 - 0.8	> 0.8	-						
I⁵⁾	T4	[µmol/l]	Mittel	Monate	Ser./Plas.	< 0.02		0.02 - 0.13	-	Keine		-	-	-	-
I⁵⁾	T3	[µmol/l]	Mittel	Monate	Ser./Plas.	< 1.0	1.0 - 1.3	1.3 - 1.6	-	Keine		-	-	-	-
Zn	Zn	[µmol/l]	Gut	Wochen	Ser./Plas.	< 8 ³⁾	8 - 12	12 - 18 ³⁾	> 45	Keine		-	-	-	-
Se⁶⁾	Se	[µmol/l]	Gut	Tage	Ser./Plas.	≤ 0.4	0.4 - 0.7	> 0.7							
Se	GSH-Px	[U/g Hb]	Gut	Monate	Blut	< 10		25 - 40	> 150	Keine		-	-	-	-

Hb: Hämoglobin; T4: Thyroxin Thyroidhormone; T3: Triiodthyronin Thyroidhormone; GSH-Px: Glutathion Peroxydase Aktivität

-: Inadäquater Parameter; n.d.: nicht quantifiziert

¹⁾ Mit Schweizer Rationen welche meist mehr als 20 g K /kg TS enthalten wird dieser Wert generell überschritten

²⁾ Speichel mit <130 mmol Na /l wird auf Na-Mangel hingewiesen (Kessler et de Faria, 1997)

³⁾ Nach Enjalbert et al., 2006

⁴⁾ Der Cu gehalt in der Leber ist ein sehr guter Indikator. Adäquat zwischen 25 - 100 mg Cu /kg.

⁵⁾ Der I gehalt in der Milch ist ein sehr guter Indikator. Adäquat ≥30 µg/l (Achtung auf ev. Kontamination von Melkhygiene Produkte)

⁶⁾ Die Se Gehalte in Leber und Milch sind gute Indikatoren. Adäquat zwischen 0.25 - 0.5 mg Se /kg Leber und >15 µg Se /l Milch.

4.1.8 Klinische Mineralstoffmängel

Die häufigsten schweren (klinischen) Mineralstoffmängel werden nachfolgend beschrieben:

Die Fähigkeit des Tieres, Mineralstoffreserven anzulegen und zu mobilisieren, ermöglicht eine ausreichende Versorgung in Perioden mit hohem Bedarf. Zu Beginn der Laktation ist der Kalzium- und Phosphorbedarf wegen der Abgabe dieser Mineralstoffe über die Milch plötzlich sehr hoch, wodurch eine hohe Ca-Absorption im Darm sowie eine Mobilisierung von Ca aus dem Skelett erforderlich ist. In der zweiten Laktationshälfte werden jedoch wieder Reserven eingelagert (Liesegang et al., 2007). Ist das Tier nicht in der Lage, genügend Ca zu mobilisieren, können die Regulierungsmechanismen scheitern, was eine auch Milchfieber genannte Hypocalcämie zur Folge hat. Zu einer Hypocalcämie kann es bei der Milchkuh und der Milchziege nach Laktationsbeginn kommen, wohingegen sie beim Schaf bereits gegen Ende der Trächtigkeit auftreten kann. Durch eine angemessene Prophylaxe vor und während des Abkalbens lässt sich die Häufigkeit dieser Erkrankung reduzieren. Folgende Massnahmen lassen sich bei der Milchkuh 3 bis 4 Wochen vor der Kalbung ergreifen (Rérat, 2005; Liesegang et al., 2006a; Rérat et al., 2009; Rérat et Hess, 2012; Rérat et Schlegel, 2014):

- Deckung des Ca-, P-, Mg- und Vitamin-D-Bedarfs und Vermeiden einer überschüssigen Zufuhr.
- Begünstigung der metabolischen Azidose vor der Kalbung mit Hilfe einer Ration, die eine Kationen/Anionen-Bilanz (DCAB) unter 150 meq/kg TS aufweist. Der DCAB-Wert einer Ration (meq/kg TS) wird folgendermassen berechnet: $(\% \text{ Na} \times 435 + \% \text{ K} \times 256) - (\% \text{ Cl} \times 282 + \% \text{ S} \times 624)$. Eine die metabolische Azidose begünstigende Ration ist K-arm (z. B. Futter von Extensowiesen, Maisganzpflanzen). Die zusätzliche Gabe anionischer Salze wie Ca- oder Mg- Chlorid oder-Sulfate oder Ammonium senken den DCAB-Wert der Ration und können dazu beitragen, eine Hypocalcämie zu verhindern, wenn die Ration nicht aus K-reichem Futter besteht.
- Verwendung von leicht löslichen Ca Präparaten (Gel, Bolus, Flüssigkeit) unmittelbar vor und nach dem Abkalben.
- Bedarfsgerechte Energieversorgung während der Galtperiode.
- Vermeiden von Stress.

Die Wirksamkeit anionischer Salze ist bei der Milchkuh und der Milchziege ähnlich, beim Schaf hingegen begrenzt (Liesegang, 2008). Da das Schaf bereits gegen Ende der Trächtigkeit und insbesondere bei einer bevorstehenden Zwillingsgeburt mit einem sehr hohen Ca-Bedarf konfrontiert ist, ist die Fähigkeit zur Ca-Mobilisierung aus den Knochenreserven anscheinend besser angelegt (Wilkens et al., 2014). Das Schaf reagiert folglich weniger auf den wechselnden Ca-Bedarf zu Laktationsbeginn als die Kuh und die Ziege (Liesegang et al., 2006b, 2006c).

Anders als bei Ca und P ist das erwachsene Tier praktisch nicht in der Lage, seine Reserven an Magnesium und Elektrolyten (K, Na und Cl) zu mobilisieren. Innerhalb von wenigen Tagen kann eine nicht adäquate Mg-Versorgung zu Veränderungen der Mg-Gehalte im Blut und im Harn führen. Bei einer ungenügenden Mg-Versorgung über einen längeren Zeitraum kann der Mangel klinisch werden und zu einer Hypomagnesiämie (Weidetetanie/Stalltetanie) führen. Die Hauptursache für eine Stoffwechselstörung ist eine Mg-arme Ration in Kombination mit einer hohen K-Zufuhr. Ein starkes Energiedefizit oder Stresssituationen begünstigen die Lipolyse, für welche Mg als enzymatischer Co-Faktor benötigt wird. Durch derartige Situationen wird das Gleichgewicht der Mg-Verteilung im Körper gestört und das Risiko eines klinischen Mangels erhöht. Anders als Rinder sind Ziegen nur selten von einer Hypomagnesiämie betroffen. Mit den nachfolgenden Massnahmen lässt sich dieser Mangel bei der Milch- oder Mutterkuh verhindern:

- Deckung des Mg-Bedarfs in Abhängigkeit der K-Versorgung.
- Deckung des Na-Bedarf.
- Deckung des Energiebedarfs.
- Begrenzung von Stress (physisch, thermisch).
- Begrenzung des K-Gehalts im Futter durch eine angepasste K-Düngung.

Es ist normal, dass Kühe Salzsteine lecken und sich gegenseitig lecken. Es kann jedoch vorkommen, dass sie ihr Verhalten ändern und beginnen, wiederholt Mauern, Pfosten oder Tröge zu lecken. Legen mehrere Tiere einer Herde eine solche Verhaltensweise (Pica) an den Tag, kann ein Natrium- oder möglicherweise ein Kobaltmangel die Ursache sein. Symptome eines Na-Mangels können lange Zeit unbemerkt bleiben. Erst wenn der Speichel die unzureichende Na-Zufuhr nicht mehr kompensieren kann, treten klinische Symptome wie Pica auf.

Die häufigsten schweren (klinischen) Mineralstoffmängel werden nachfolgend beschrieben:

Ein **Selen-** und **Vitamin E**-Mangel kann Wachstumsstörungen und Muskelläsionen zur Folge haben (**Weissmuskelkrankheit**), welche den Herzmuskel betreffen können (Herzstillstand) oder die Skelettmuskulatur (Bewegungsstörungen, Lähmungen der hinteren Gliedmassen, Schluckprobleme). Dieser Mangel wird häufig beim Kalb und beim Lamm beobachtet, da er sich bereits im Fetalstadium anbahnt, wenn die Mutter nicht ausreichend mit Se und Vitamin E versorgt wird. Die Vorbeugung der Weissmuskelkrankheit erfordert vor allem eine korrekte Se- und Vitamin E-Versorgung des Muttertieres. Diese sollte nach Abdelraham et Kincaid (1995) im letzten Drittel der Trächtigkeit 3 mg Se/Tag betragen, da andernfalls der Serumspiegel vermindert ist. In Betrieben, in denen die Weissmuskelkrankheit relativ häufig auftritt, hat sich eine direkte Präventivmassnahme beim Kalb als wirksam erwiesen. Diese kann z.B. über eine Se- und Vitamin-E-Injektion oder über die Gabe einer auf Se und Vitamin E basierenden Paste (Drench) erfolgen. Beim erwachsenen Tier ist die Erkrankung nicht direkt sichtbar; ein Se-Mangel (und/oder ein Vitamin E-Mangel) wirkt sich jedoch indirekt auf die Fruchtbarkeit aus, und die Anzahl auftretender Mastitisfälle kann sich erhöhen.

4.1.9 Toleranzschwellen

Eine über einen längeren Zeitraum andauernde exzessive Mineralstoffversorgung (Tabelle 4.6) kann entweder direkt über die Toxizität des entsprechenden Elements oder indirekt über den Mangel an einem anderen Mineralstoff zu Stoffwechselstörungen führen. Die Toleranzschwellen für Spurenelemente liegen oberhalb der in der Schweiz für Futtermittel erlaubten Maximalwerte.

Tabelle 4.6: Toleranzschwellen für Mineralstoffe in Futtermitteln für Rinder, Schafe und Ziegen (NRC, 2005)

	[g/kg TS]		[mg/kg TS]		[mg/kg TS]
Ca	15 - 20	Cu²⁾	15 / 40	Al	1000
P	10	Co	25	Cd	25
Mg	6	Fe	500	F	500
K	30 ¹⁾	I³⁾	8	Ni	50
NaCl	40	Mo	10	V	50
S	5	Mn	2000		
		Se	5		
		Zn²⁾	300 / 500		

¹⁾ Grund des tiefen Wertes: reduzierte Mg Absorbierbarkeit und erhöhte Risiko an Milchfieber.

²⁾ Tiefere Wert für Schaf; höhere Wert für Rind und Ziege

³⁾ INRA, 1988

Wenn die Fütterungspläne befolgt werden, treten chronische Mineralstoffvergiftungen nur selten auf. Es kann jedoch vorkommen, dass kontaminierte Futtermittel zu Vergiftungen führen. So können beispielsweise zur Fütterung dienende Milchnebenprodukte, die in Cu-Behältern aufbewahrt wurden, mit Cu angereichert sein (Sieber et al., 2003). Der Cu-Gehalt der Ration kann somit den Toleranzwert überschreiten. Symptome einer **Kupfervergiftung** sind unter anderem eine Gelbfärbung der Schleimhäute (Gelbsucht), ängstliches Verhalten und Krämpfe. Auch kann der Urin rötlich verfärbt sein. Durch die Verwendung von Säuren als Konservierungsmittel kann diese Problematik noch weiter verschärft werden (Kessler, 2003). Schafe reagieren ausgesprochen sensibel auf die Cu-Zufuhr, da ihre Fähigkeit, überschüssiges Cu über die Galle auszuschcheiden, scheinbar begrenzt ist. Das Risiko einer Vergiftung an Cu sollte sich bei Schafen, die mit Cu-reichem Raufutter gefüttert werden, durch eine Mo-Ergänzung im vorgelegten Mineralfutter begrenzen lassen.

4.2 Vitamine

Heute sind insgesamt 13 Vitamine bekannt, von denen die meisten als Gruppe von verwandten Stoffen mit qualitativ gleichen Wirkungen aufzufassen sind. Die Vitamine werden in zwei Hauptgruppen unterteilt: in fettlösliche und wasserlösliche Vitamine (Tab. 4.7). Für den Wiederkäuer mit voll entwickeltem Pansen sind die Provitamine A, insbesondere das β -Carotin, sowie die Vitamine A, D und E von praktischer Bedeutung. Unter bestimmten Bedingungen spielen auch das Vitamin B1 und die Nicotinsäure eine gewisse Rolle. Bei den restlichen Vitaminen ist der Wiederkäuer dank der Pansenmikroorganismen von der Zufuhr über das Futter im Allgemeinen unabhängig. Bei Tieren mit noch nicht entwickeltem Vormagensystem (Kalb, Lamm, Zicklein) sind hingegen auch die wasserlöslichen Vitamine in der Praxis von Bedeutung.

Tabelle 4.7. Fettlösliche und wasserlösliche Vitamine (Vitamingruppen)

Fettlösliche Vitamine	Wasserlösliche Vitamine	
Vitamin A	Vitamin C	Pantothensäure
Provitamine A (u.a. β -Carotin)	Vitamin B1	Biotin
Vitamin D	Vitamin B2	Folsäure
Vitamin E	Vitamin B6	
Vitamin K	Vitamin B12	
	Nicotinsäure	

Der Vitaminbedarf von Wiederkäuern wird vor allem mit der Dosis-Wirkungsmethode geschätzt, die auf verschiedenen Beurteilungskriterien basiert (Wachstum, Fortpflanzung, Einlagerung in bestimmten Organen, typische Mangelerscheinungen, Immunstatus usw.). Die Empfehlungen für die verschiedenen Tierkategorien (siehe entsprechende Kapitel) ermöglichen es, den Vitaminbedarf von Wiederkäuern unter normalen Fütterungs- und Haltungsbedingungen zu erfüllen. Sie basieren auf der Literatur zum Vitaminstoffwechsel bei Wiederkäuern und auf den von ARC (1980), GfE (1986), INRA (1978, 1988), NRC (1984, 1985, 1989), AWT (1991) und Hoffmann-La Roche (1989, 1991) publizierten Fütterungsempfehlungen.

4.3 Literatur

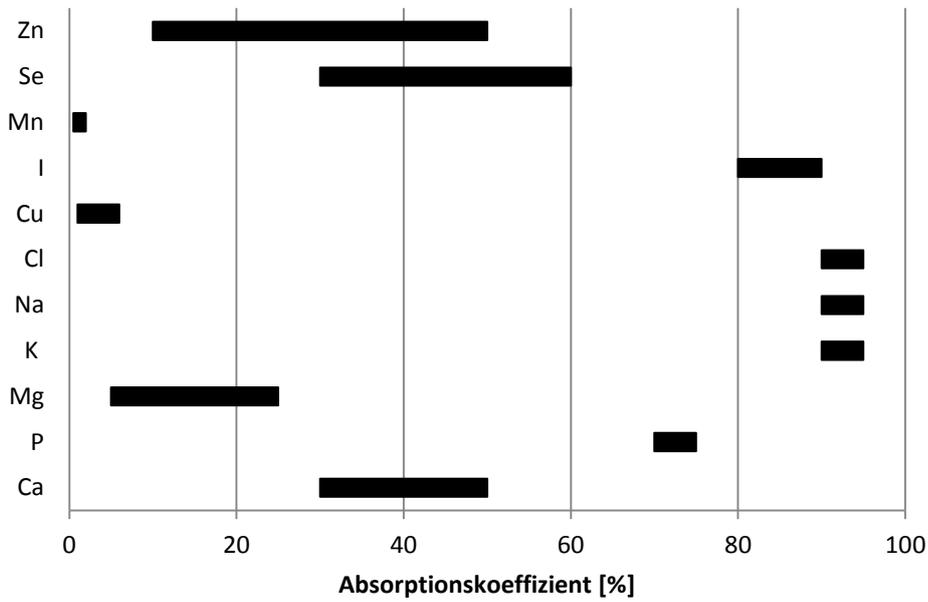
- Abdelraham M. M. and Kincaid R. L., 1995. Effect of selenium supplementation of cows on maternal transfer of selenium to fetal and newborn calves. *Journal of Dairy Science* 78, 625–630.
- Adediji O. and Suttle N. F., 1999. Influence of diet type, K and animal species on the absorption of magnesium by ruminants. *Proceeding of the Nutrition Society* 58, 31A.
- AFRC, 1991. Technical Committee on Responses to Nutrients, Report 6, A reappraisal of the calcium and phosphorus requirements of sheep and cattle. *Nutrition Abstract Reviews*, 61, 573–612.
- ARC, 1980. The nutrient requirements of ruminant livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Slough, United Kingdom.
- AWT, 1991. Vitamine in der Tierernährung. Bonn, Deutschland.
- CVB, 2005. Handleiding Mineralenvoorziening rundvee, schapen, geiten. Centraal veevoederbureau, Lelystad, The Netherlands.
- Dias R. S., López S., Montanholi Y. R., Smith B., Haas L. S., Miller S. P. and France J., 2013. A meta-analysis of the effects of dietary copper, molybdenum and sulfur on plasma, liver copper, weight gain and feed conversion in growing-finishing cattle. *Journal of Animal Science* 91, 5714–5723.
- Durand M and Komisarczuk S., 1988. Influence of major minerals on rumen microbiota. *Journal of Nutrition* 118, 249–260.
- Enjalbert F., Lebreton P. and Salat O., 2006. Effect of copper, zinc and selenium status on performance and health in commercial dairy and beef herds : retrospective study. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 90, 459–466.
- Ewing W.N. and Charlton S.J., 2005. The Minerals Directory. Context, Packington, United Kingdom.
- Franke K., Meyer U., Wagner H., Hoppen H. O. and Flachowsky G., 2009a. Effect of various iodine supplementations, rapeseed meal application and two different iodine species on the iodine status and iodine excretion of dairy cows. *Livestock Science* 125, 223–231.
- Franke K., Meyer U., Wagner H. and Flachowsky G., 2009b. Influence of various iodine supplementation levels and two different iodine species on the iodine content of the milk of cows fed rapeseed meal or distillers dried grains with solubles as the protein source. *Journal of Dairy Science* 92, 4514–4523.
- Gäbel G. and Martens H., 1986. The effect of ammonia on magnesium metabolism in Sheep. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 55, 278–287.
- GfE, 1986. Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Milchkühe und Aufzuchtrinder. DLG-Verlag, Frankfurt am Main, Deutschland.
- GfE, 2001. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. DLG-Verlag, Frankfurt am Main, Deutschland.
- 🇨🇭 Hansen S. L., Schlegel P., Legleiter L. R., Lloyd K. E. and Spears J. W., 2008. Bioavailability of copper from copper glycinate in steers fed high dietary sulfur and molybdenum. *Journal of Animal Science* 86, 173–179.
- Hansen S. L. and Spears J. W., 2009. Bioaccessibility of iron from soil is increased by silage fermentation. *Journal of Dairy Science* 92, 2896–2905.
- Hoffmann-La Roche, 1989. Vitamin fortification guidelines. Nutley, U.S.A.
- Hoffmann-La Roche, 1991. Recommended vitamin supplementation for domestic animals. Bâle, Switzerland.
- House W. A. and Bell A. W., 1993. Mineral accretion in the fetus and adnexia during late gestation in Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 76, 2999–3010.
- INRA, 1978. Alimentation des ruminants. Editions Quae, Versailles, France.
- INRA, 1988. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Edition INRA, Paris, France.
- INRA, 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux – valeurs des aliments. Editions Quae, Versailles, France.
- Jongbloed A. W., Kemme P. A., de Groote G., Lippens M and Meschy F., 2002. Bioavailability of major and trace minerals. International Association of the European Manufacturers, Brussels, Belgium.
- 🇨🇭 Kessler J. und Arrigo Y., 1996. Wiederkäuer: Kobaltangebot und Nährstoffverwertung. *Agrarforschung* 3, 7–9. 4

-  Kessler J., Friesecke H und Kunz P., 1991. Selen-Vitamin E: Versorgung der Milchkuh während der Winterfütterung. *Landwirtschaft Schweiz* 4, 607–611.
-  Kessler J. und de Faria A., 1997. Viehsalzversorgung des Wiederkäuers. *Agrarforschung* 5, 201–204.
-  Kessler J. und de Faria A., 1998. Organische Spurenelementmischung in der Milchviehfütterung. *Agrarforschung* 5, 273–276.
-  Kessler J., 2000a. Kaliumreiches Wiesenfutter belastet Stoffwechsel der Milchkuh. *Agrarforschung* 7, 466–471.
-  Kessler J., 2000b. Dürrfutter-Krafftutterangebot und Viehsalzversorgung des Wiederkäuers. *Agrarforschung* 7, 200–205.
-  Kessler J., 2003. Du cuivre pour les moutons et les chèvres – mais avec modération. *Petits ruminants* 9, 6–11.
-  Kessler J., Morel I. and Dufey P. -A., 2003. Effect of organic zinc sources on performance, zinc status and carcass, meat and claw quality in fattening bulls. *Livestock Production Science* 81, 161–171.
-  Kilchenmann H. und Pfäffli J., 1984. Referenzwerte für Mineralstoffe, Enzyme und Stoffwechselprodukte im Serum des Rindes und Berechnung der prozentualen Kreatininclearance von Mineralstoffen bei Milchkühen. Dissertation Universität Bern.
- Kronqvist C., Emanuelson U., Spörndly R. and Holtenius K., 2011. Effects of prepartum dietary calcium level on calcium and magnesium metabolism in periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science* 94, 1365–1373.
-  Liesegang A., Chiappi C., Risteli J., Kessler J. and Hess H. -D., 2006a. Influence of different calcium contents in diets supplemented with anionic salts on bone metabolism in periparturient dairy cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 91, 120–129.
-  Liesegang A., Risteli J. and Wanner M., 2006b. The effects of first gestation and lactation on bone metabolism in dairy goats and milk sheep. *Bone* 38, 792–802.
-  Liesegang A., Riner K. and Boos A., 2006c. Effects of gestation and lactation on vitamin D receptor amounts in goats and sheep. *Domestic Animal Endocrinology* 33, 190–202.
-  Liesegang A., Risteli J and Wanner M., 2007. Bone metabolism of milk goats and sheep during second pregnancy and lactation in comparison to first lactation. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 91, 217–225.
-  Liesegang A., 2008. Influence of anionic salts on bone metabolism in periparturient dairy goats and sheep. *Journal of Dairy Science*, 91, 2449–2460.
-  Lejeune B., Schelling E. and Meylan M., 2012. Gammaglobulin and selenium status in healthy neonatal dairy calves in Switzerland. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde*, 154, 389–396.
- Lopez-Guiza J. M. and Satter L. D., 1992. Effect of copper and cobalt addition on digestion and growth in heifers fed diets containing alfaalfa silage or corn crop residues. *Journal of Animal Science* 75, 247–256.
- Meschy F., 2002. Recommandations d'apport en phosphore absorbé chez les ruminants. *Rencontre Recherche Ruminants*, 279- 285.
- Meschy F. et Corrias R., 2005. Recommandations d'apport alimentaire en calcium et magnesium absorbables pour les ruminants. *Rencontre Recherche Ruminants*, 221–224.
- Meschy F., 2010. *Nutrition minérale des ruminants*. Editions Quae, Versailles, France.
- NorFor, 2001. The Nordic feed evaluation system. EAAP publication N°130. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- NRC, 1984. Nutrient requirements of beef cattle. The National Academies Press, Washington, U.S.A.
- NRC, 1985. Nutrient requirements of sheep. The National Academies Press, Washington, U.S.A.
- NRC, 1989. Nutrient requirements of dairy cattle. The National Academies Press, Washington, U.S.A.
- NRC, 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. The National Academies Press, Washington, U.S.A.
- NRC, 2005. Mineral tolerance of animals. The National Academies Press, Washington, U.S.A.
- Pope A. L., Moir R. J., Somers M., Underwood E. J. and White C. L., 1979. The effect of sulphur on ⁷⁵Se absorption and retention in sheep. *Journal of Nutrition* 109, 1448–1455.
-  Räber M., Geyer H., Kessler J. und Gutzwiller A., 2005. Einfluss einer hohen Selenzufuhr auf den Selenstatus, die Leberfunktion und auf die Klauenqualität von Maststieren. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde* 150, 57–67.
-  Rérat M., 2005. La fièvre du lait chez la vache laitière. *ALP actuel* N°20. Posieux, Suisse.

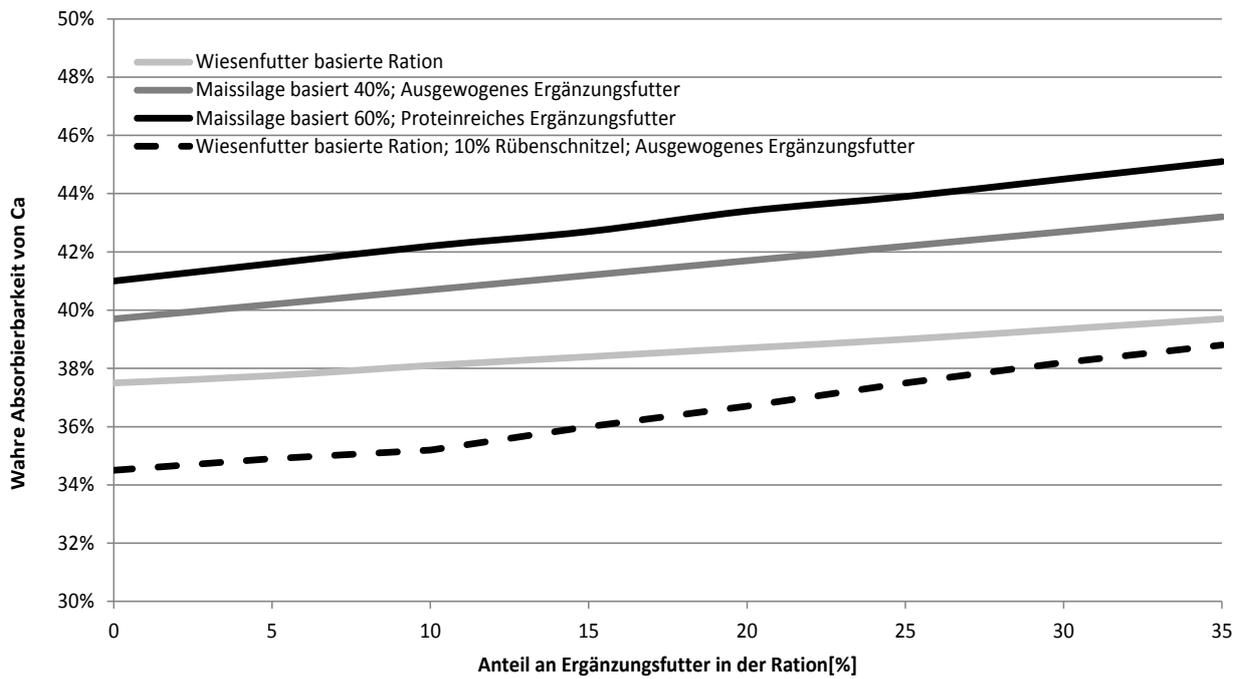
- ❖ Rérat M., Philipp A., Hess H. -D. and Liesegang A., 2009. Effect of different potassium levels in hay on acid-base status and mineral balance in periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 92, 6123–6133.
- ❖ Rérat M. et Hess H. -D., 2012. Indicateurs urinaires du statut acido-basique pour la prédiction de la fièvre du lait chez la vache laitière. *Recherche Agronomique Suisse* 3, 68–73.
- ❖ Rérat M. and Schlegel P., 2014. Effect of dietary potassium and anionic salts on acid-base and mineral status in periparturient cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 98, 458–466.
- Rosa I. V., Henry P. R. and Ammerman C. B., 1982. Interrelationship of dietary phosphorus, aluminium and iron on performance and tissue mineral composition in lambs. *Journal of Animal Science* 55, 1231–1240.
- ❖ Schlegel P., 2012. Nouvelles recommandations d'apport en phosphore chez le bovin laitier. ALP actuel N°44. Posieux, Suisse.
- ❖ Schlegel P., Rérat M., Girard M. and Gutzwiller A., 2015. Influence of diet type and dietary magnesium on mineral status in lactating dairy cows. *Book of Abstracts of the 65th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science*.
- ❖ Schlegel P., Chassot C., Fragnière M. et Philipona J. -C., *non publié*. Enquête sur l'apport minéral alimentaire et le statut minéral de troupeaux laitiers.
- Schonewille J. T., Everts H., Jittakhot S. and Beynen A. C., 2008. Quantitative prediction of magnesium absorption in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 91, 271–278.
- Schwarz F. J., Kirchgessner M. and Stangl G. I., 2000. Cobalt requirement of beef cattle - Feed intake and growth at different levels of cobalt supply. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 83, 121–131.
- Stangl G. I., Schwarz F. J., Muller H. and Kirchgessner M., 2000. Evaluation of the cobalt requirement of beef cattle based on vitamin B12, folate, homocysteine and methylmalonic acid. *British Journal of Nutrition* 84, 645–653.
- ❖ Sieber R., Rehberger B., Schaller F. und Gallmann P.U., 2003. Technologische Aspekte von Kupfer in Milchprodukten und gesundheitliche Bedeutung des Kupfers. *FAM-Info*, N°451. Eidgenössische Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, Bern, Schweiz.
- ❖ Sieber R., 2011. Zusammensetzung von Milch und Milchprodukten schweizerischer Herkunft. ALP Science N°538, Agroscope, Bern, Schweiz.
- ❖ Spears J. W., Schlegel P., Seal M. C. and Lloyd K. E., 2004. Bioavailability of zinc from zinc sulfate and different organic zinc sources and their effects on ruminal volatile fatty acid proportions. *Livestock Production Science* 90, 211–217.
- Suttle N. F. and Mc Lauchlan M., 1976. Predicting the effects of dietary molybdenum and sulphur on the availability of copper to ruminants. *Proceedings of the Nutrition Society* 35, 11A–23A.
- Suttle N. F., 1983. Effects of Molybdenum concentration in fresh herbage, hay and semi-purified diets on the copper metabolism of sheep. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 100, 651–656.
- Suttle N. F., 2010. *Mineral nutrition of Livestock*. CABI, Oxfordshire, United Kingdom
- Ward J. D., Spears J. W. and Kegley E. B., 1996. Bioavailability of copper proteinate and copper carbonate relative to copper sulphate in cattle. *Journal of Dairy Science* 79, 127–132.
- Weiss W. P., 2004. Macromineral digestion by lactating dairy cows: factors affecting digestibility of magnesium. *Journal of Dairy Science* 87, 2167–2171.
- ❖ Wilkens M. R., Liesegang A., Richter J., Fraser D. R., Breves G. and Schröder B., 2014. Differences in periparturient plasma parameters related to calcium homeostasis of dairy sheep and goats in comparison with cows. *Journal of dairy Research*, 81, 325–332.
- Yuangklang C., Wachirapakorn C., Mohamed H. E., Alhaidary A. and Beynen A. C. Effect of Calcium Supplementation on Growth, Nutrient Digestibility and Fecal Lactobacilli in Dairy Calves. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences* 5, 127–131.

Anhänge

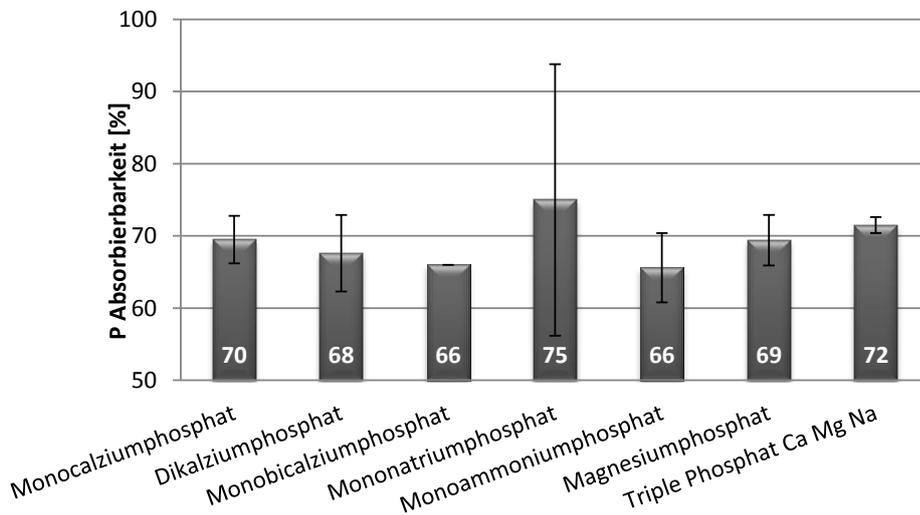
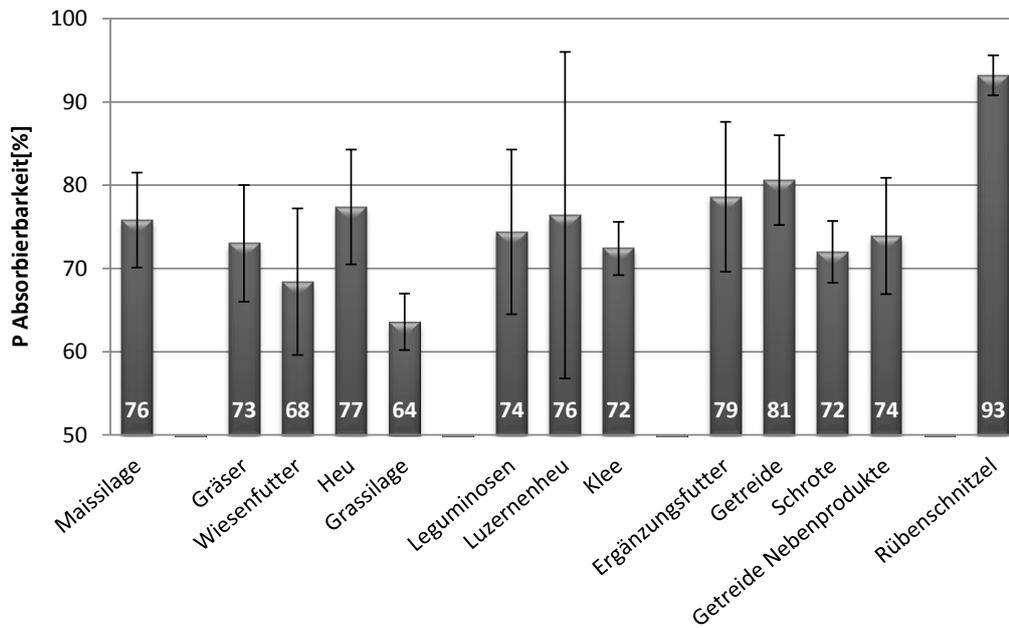
Anhang 1: Prozentbereiche der Mineralstoff-Absorptionskoeffizienten beim Wiederkäuer



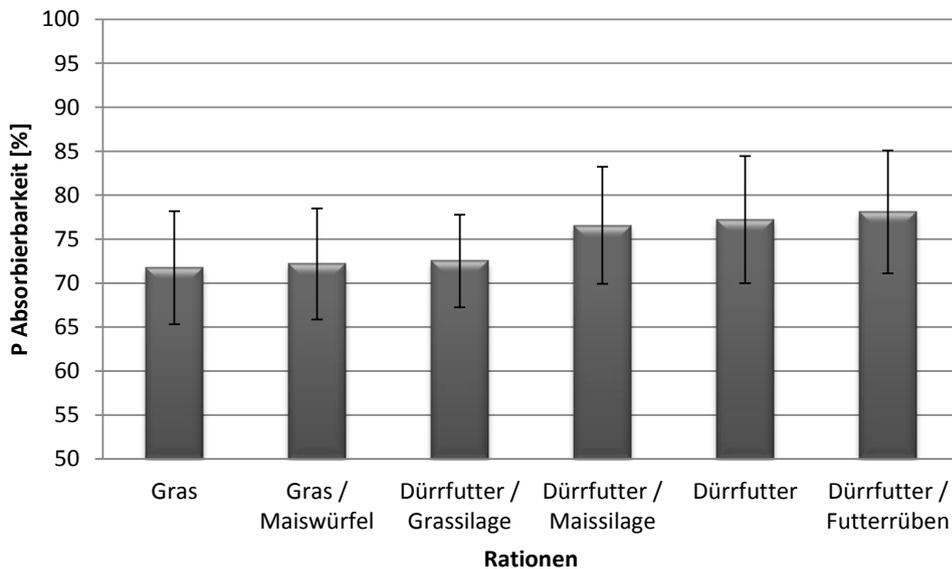
Anhang 2. Absorptionskoeffizient von Kalzium in Beispielrationen in Abhängigkeit vom Anteil Ergänzungsfutter



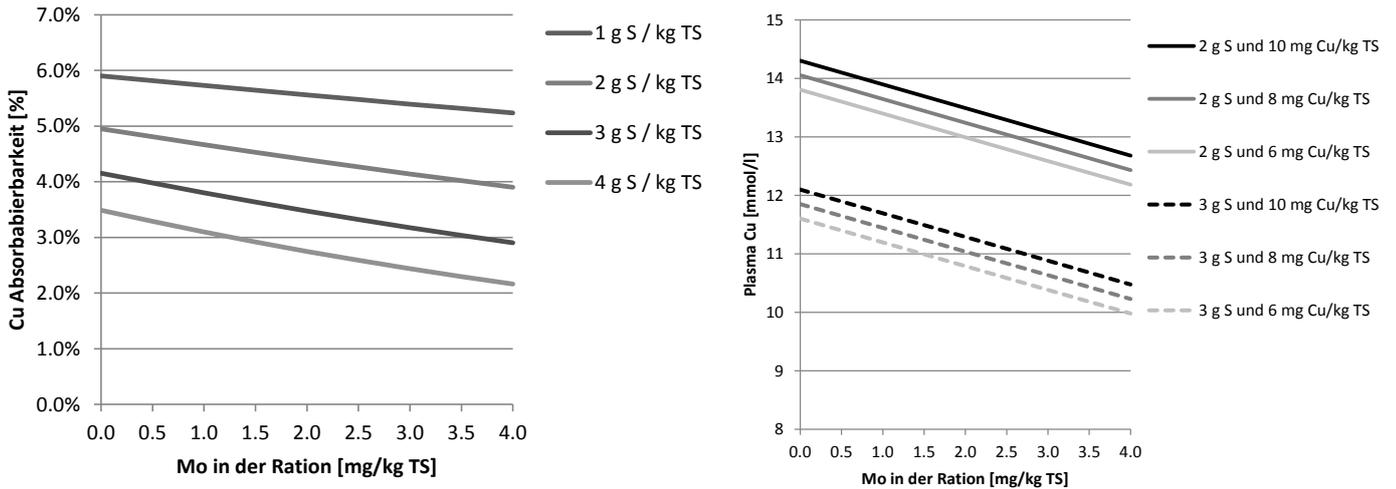
Anhang 3: Absorptionskoeffizient von Phosphor in Futtermitteln (Meschy, 2002, Jongbloed et al., 2002)



Anhang 4: Absorptionskoeffizient von Phosphor in Beispielrationen



Anhang 5: Absorptionskoeffizient von Kupfer (Suttle und Mc Lauchlan, 1979) und Kupfergehalt im Plasma (Dias et al., 2013) in Abhängigkeit vom Molybdän- und Schwefelgehalt im Futter



Anhang 6: Durchschnittlicher Selenstatus von Herden laktierender Milchkühe in Abhängigkeit vom Selengehalt im Futter

