



Neue EU-Vorgaben für Spurenelemente in der Nutztierhaltung: - Kritische Hintergrundinformationen und Anregungen für die Praxis -

Dr. ir. Age W. Jongbloed
Animal Science Group,
Institut für Tierhaltung und Tiergesundheit, Lelystad

1. Einleitung

Kupfer (Cu) und Zink (Zn) sind essentielle Spurenelemente für alle lebenden Organismen und haben sehr viele Funktionen im Körper. Kupfermangel hat schädigende Wirkungen auf zahlreiche Organe und Gewebe, einschließlich des blutzellenbildenden Systems, des Herzgefäß- und Zentralnervensystems sowie der Intergumente (=Gesamtheit aller Hautschichten der Körperoberfläche) (McDowell, 1992). Zink aktiviert verschiedene Enzyme und ist ein Bestandteil von vielen wichtigen Metalloenzymen. Dieses Element ist besonders an der Zellreplikation und der Entwicklung von Knorpeln und Knochen beteiligt. Zeichen für Zinkmangel sind verzögertes Wachstum, abnormale Knochenbildung, verzögerte Sexualentwicklung, Haarausfall, Dermatitis, abnorme Befiederung und Beeinträchtigung der Reproduktion bei männlichen sowie weiblichen Tieren. Fetale Abnormitäten treten auf und die Schlupffähigkeit ist reduziert (McDowell, 1992).

In 2003 führte die EU neue zulässige Höchstgehalte an Spurenelementen für alle Tierrationen ein. Die in diesem Dokument erwähnten physiologischen Bedarfswerte sollten die Basis für die zulässigen Futterhöchstgehalte in der EU sein und nicht die pharmakologischen Dosen wie z.B. für Kupfer und Zink. Einer der Gründe hierfür ist, dass Cu und Zn im tierischen Dung ein beachtliches Risiko für die Umwelt in der Gegenwart sowie in der Zukunft darstellen. Cu und Zn können im Boden akkumulieren mit Folgen für das Pflanzenwachstum und eine Vielzahl möglicher Risiken für Menschen und Tiergesundheit (z.B. Kupfervergiftung bei Schafen, Henkens, 1975) sowie für das Leben im Boden (Erdwürmer, Van Rhee, 1974; Bodenmikrobiologie, Bouwman et al., 1999). Die Höhe der vermeidbaren Verluste (für die Umwelt) sollte daher so gut wie möglich minimiert werden.

Allerdings basieren die zur Zeit auf physiologischen Grundlagen bestehenden Empfehlungen auf Forschungen mit relativ niedrigem tierischem Produktionsniveau im Vergleich zur gegenwärtigen Praxis in der EU. Daher wurde eine Überprüfung der Empfehlungen in der Fachliteratur für Milchkühe, Mastschweine und Broiler durchgeführt. Ferner wurde eine umfassende Studie zur Quantifizierung der Wechselbeziehung zwischen Cu, Mo und S in Rinderrationen durchgeführt, dessen erste Ergebnisse nachfolgend dargestellt werden. Schließlich werden Ergebnisse eines vor kurzem abgeschlossenen Versuchs mit Schweinen präsentiert, die die langfristigen Auswirkungen der Anwendung eines pharmakologischen Niveaus von Cu und antimikrobiellen Leistungsförderern zeigen.

2. Gesetzgebung zu maximal zugelassenen Konzentrationen von Cu und Zn im Alleinfutter für Tiere

In 2003 führte die EU neue zulässige Höchstgehalte für (alle) Spurenelemente in Tierrationen (EC, 2004; Tabelle 1) ein. Die Tabelle 1 zeigt, dass die maximal zugelassene Cu-Konzentration für Schweine im Alter von 12 bis 16 Wochen von 175 auf 25 mg/kg herabgesetzt wurde, und für die meisten anderen Tierkategorien, ausgenommen Rinder, erfolgte eine Absenkung von 35 auf 25 mg/kg. Für Zn verminderte sich die maximal zugelassene Konzentration für alle Tierarten von 250 auf 150 mg/kg, ausgenommen für Kälber vor dem Wiederkäuen. Allerdings sind die neu zugelassenen Höchstgehalte in vielen Fällen höher als die physiologischen Bedarfswerte wie im Abschnitt 4 dargestellt. Was die anderen Spurenelemente betrifft, kann gesagt werden, dass das maximale Fe-Niveau von 1250 auf 750 mg/kg gesenkt wurde, während dieses für Schafe auf 500 mg/kg und für Ferkel bis 1 Woche vor dem Absetzen auf 250 mg/kg begrenzt wurde. Auch beim Mangan wurde der Gehalt von 250 auf 150 mg/kg für alle Tierarten reduziert, und beim Kobalt von 10 auf 2 mg/kg Futter. Bei den zugelassenen Höchstgehalten an Jod, Molybdän und Selen, welche in der entsprechenden Reihenfolge 10, 2,5 und 0,5 mg/kg betragen, wurden keine Änderungen vorgenommen.

Tabelle 1: Übersicht der zulässigen Höchstgehalte an Cu und Zn in Rationen für verschiedene Tierarten (mg/kg; EC, 2003)

	Kupfer (mg/kg) Gesamtration		Zink (mg/kg) Gesamtration	
	EU bis 2004 gesamt	EU 2004 gesamt	EU bis 2004 gesamt	EU 2004 gesamt
Schweine				
Ferkel bis 12 Wochen alt	175	170	250	150
von 12 - 16 Wochen alt	175	25	250	150
Mastschweine ab 16 Wochen alt	35	25	250	150
Zuchtsauen	35	25	250	150
Geflügel				
Broiler	35	25	250	150
Legehennen	35	25	250	150
Schafe	15	15	250	150
Rinder				
Milchkühe	35	35	250	150
andere Rinder	35	35	250	150
Kälber (vor Wiederkäuen - bei Einsatz Milchaustauscher)	30	15	250	200
Kälber (vor Wiederkäuen - bei Einsatz anderer Futtermittel)	50	15	250	150

3. Schätzung der Ausscheidung von Cu und Zn in verschiedenen EU-Regionen

Durchgeführt wurde eine Studie zur Schätzung der Ausscheidung und möglicher Akkumulation im Boden von Cu und Zn durch die alleinige Schweineproduktion in der EU (Kempe et al., 2000). Diese Werte wurden auf Basis von neuen Eurostat-Daten und Leistungsmerkmalen von Schweinen in den EU-Ländern ermittelt, und wenn sinnvoll, in verschiedenen Regionen dieser Länder. Konstante Parameter wurden für den Ansatz im Körper von Schweinen (2 und 1 mg Cu/kg bei einer entsprechenden Versorgung von über 30 und unter 30 mg/kg Futter, und 16 mg/kg bei Zn), für die Aufnahme durch den Aufwuchs (45 und 220g/ha für Cu und Zn), für die Abgabe in die Luft (20 und 130g/ha für Cu und Zn) gewählt. Die Auswaschung (Durchsickern) von Cu und Zn wurde nicht berücksichtigt, weil diese hauptsächlich von den Niederschlagsmengen und Bodentypen (Ton, Sand, Torf) abhängt. Als Ackerlandtiefe wurden 20 cm festgelegt. Es muß angemerkt werden, dass der Eintrag/Input von Cu und Zn durch die Landwirtschaft in den Boden nur durch die von der Schweineproduktion ausgehende Fraktion erfolgte (in Niederlande ca 58%; VanEerdt et al., 1999).

Verschiedene Szenarien wurden für Cu und Zn ermittelt bei Anwendung folgender Optionen mit unterschiedlichen Konzentrationen im Futter (Tabelle 2).

Tabelle 2: Gehalte von Cu und Zn im Futter (mg/kg) für Ferkel, Mastschweine und Zuchtsauen bei verschiedenen Szenarien

Szenarien	Ferkel		Vormast		Endmast		Zuchtsauen	
	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn
max. zugelassen	175	250	175	250	100	250	35	250
Cu/Zn begrenzt auf .. /150	100	150	100	150	35	150	20	150
Cu/Zn begrenzt auf .. /120	20	120	20	120	20	120	15	120
Cu/Zn begrenzt auf physiol. Bedarf 12/75	12	75	12	75	12	75	12	75

Das erste Szenario ist auf Grund der maximal zugelassenen Gehalte in den Futtern bis 26.01.2004 zustande gekommen. Das zweite entspricht mehr oder weniger der Praxis. Im dritten Szenario wären die Gehalte von Cu und Zn ausreichend für alle Tierarten (Jongbloed et al., 1998b). Das vierte Szenario für Cu und Zn umfasst die Restriktion auf den physiologischen Bedarf von 12 und 75 mg/kg für die entsprechenden Elemente.

Die Anreicherung von Cu und Zn im Boden wurde in Anzahl Jahre ausgedrückt, die notwendig ist, um eine Zunahme des angereicherten Elementes von 1mg/kg Boden zu erreichen. Diese wurde in verschiedenen Ländern und Regionen geschätzt und die Ergebnisse sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Anzahl Jahre zur Erreichung einer Steigerung von 1mg/kg im Boden bei verschiedenen Szenarien

Szenarien	NL		Däne- mark		Deutsch- land		Nordrhein (D)		Bretagne (Frankr.)		Cataluna (Spanien)	
	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn
max. zugelassen	8	4	10	5	37	19	12	5	8	4	8	4
Cu/Zn begrenzt auf .. /150	27	8	28	9	162	54	33	10	21	7	21	6
Cu/Zn begrenzt auf .. /120	90	11	107	13	neg.	122	120	14	65	9	65	9
Cu/Zn begrenzt auf physiol. Bedarf 12/75	279	23	414	28	neg.	neg	590	32	167	18	163	17

Tabelle 3 zeigt eine sehr große Variation bei der Anreicherung von Cu und Zn im Boden durch die alleinige Schweineproduktion in den Ländern und Regionen der EU. Die Böden in den Niederlanden und Dänemark akkumulieren Cu und Zn unabhängig von den Futtersituationen.

Auf landesweiten Ebene werden Spanien, Frankreich, Italien und Portugal nicht mit Umweltsproblemen konfrontiert, die nicht überwunden werden können. Jedoch ist die Situation ganz anders, wenn wir uns auf bestimmte Regionen dieser Länder konzentrieren. Das ist der Fall in der Region von Cataluna (Spanien), Bretagne (Frankreich), Nordrhein-Westfalen (Deutschland), Lombardei (Italien), Muria (Spanien), Niedersachsen (Deutschland) und Lisboa et Valo de Tejo (Portugal).

Die Akkumulation von Zn ist ernsthafter als die von Cu, bei einem maximalen Gehalt von 75 mg/kg Futter. Eine wesentliche Reduzierung der Cu- und Zn-Anreicherung im Boden in diesen Ländern oder Regionen mit intensiver Schweineproduktion kann nur durch ein Verbot des pharmakologischen Niveaus dieser Spurenelemente in den Schweinefuttern erreicht werden.

4. Bedarf an Cu und Zn

Die nutritiven Bedarfswerte basieren in vollem Umfang auf Forschungen bei einem Tierproduktionsniveau, das niedriger als das gegenwärtige Niveau der modernen Schweine ist. Um einen besseren Einblick in den aktuellen nutritiven Bedarf zu bekommen, führten wir daher eine Literaturrecherche über den Cu- und Zn-Bedarf beim Schwein durch (Jongbloed et al., 2001, 2004a). In der letzteren Prüfung haben wir den Hintergrund der Bedarfsempfehlungen für Milchkühe, Mastschweine und Broilern kritisch ausgewertet. In vielen Fällen fehlt es an Informationen darüber, ob diese Empfehlungen den "wahren" Mindestbedarf darstellen oder einen Sicherheitszuschlag beinhalten; und wenn ein Sicherheitszuschlag einbezogen ist, ist die Größe dieses Sicherheitszuschlags nicht angegeben. Eine Beurteilung der Empfehlungen ist daher schwierig. Der Bedarf an Cu und Zn kann von der Futterbeschaffenheit/-zusammensetzung abhängig sein (Wechselwirkungen verschiedener Verbindungen auf die Absorption und Verwertung von Cu und Zn), dies ist jedoch schwer zu quantifizieren.

Die Tabelle 4 fasst die Bedarfsempfehlungen von Cu und Zn in verschiedenen Ländern und die in unserer Studie für bestimmte Tierarten festgestellten Ergebnisse zusammen. In einigen Ländern ist keine Unterscheidung des Bedarfes in Abhängigkeit vom physiologischen Zustand des Tieres gemacht worden. Dies bedeutet z.B., dass der gleiche Bedarf sowohl für wachsende als auch laktierende Tiere angegeben wird, wie dies Tabelle 4 zeigt.

Tabelle 4: Zusammengefasste Bestandsliste zum Bedarf an Cu und Zn in verschiedenen Ländern und die Ergebnisse unserer Studie (* = gleich für alle Kategorien der spezifischen Tierart; Jongbloed et al. 2001, 2004a)

Milchkühe (Konzentration in mg/kg DM)				
	Cu-Bedarf		Zn-Bedarf	
Land		hiesige Studie		hiesige Studie
NL	10*	21	25*	> 25
UK	1-15*		30-50*	
USA	10		40	
D	10		50	
F	10*		50*	
Ferkel und Mastschweine (Konzentration in mg/kg Futter, orig. Substanz)				
Land		hiesige Studie		hiesige Studie
UK	3.5 – 6	4 zugesetzt zum Futter	25 – 45	67
USA	3.0 – 6		50 – 100	
D	4 – 5		45 – 90	
F	10*		100*	
Broiler (Konzentration in mg/kg Futter, orig. Substanz)				
Land		hiesige Studie		hiesige Studie
UK	4	6 zugesetzt zum Futter	35 – 40	74
USA	8		40	
D	6 – 7		40 – 50	
F	10		50	

Der Vergleich der Cu-Bedarfsempfehlungen für Milchkühe in verschiedenen Ländern zeigt, dass unsere Empfehlung mit 21 mg/kg wesentlich höher ist. Unsere Empfehlung basiert hauptsächlich auf der limitierenden Information über die maximale Produktionsleistung (drei Referenzen mit 6 Experimenten). Vielleicht ist der Gehalt von 21mg Cu/kg TS eben gering bei hohem Mo- und S-Gehalt in der Ration wegen ihrer negativen Wirkung auf die Cu-Verfügbarkeit (siehe auch Kapitel 5.2). Es gibt zu wenig Referenzen (drei) um eine zuverlässige Empfehlung von Zn für Milchkühe auszusprechen. Zumindest soll ein Gehalt von 25 mg Zn/kg TS in der Ration vorhanden sein, welcher niedriger ist als derjenige der meisten Empfehlungen. Die Frage, wieviel höher der Zn-Gehalt sein soll, kann aufgrund des Mangels an ausreichenden Informationen nicht eingeschätzt werden.

Die Cu-Empfehlungen für Mastschweine sind im Einklang mit unseren Ergebnissen. Ein Zusatz von 4 mg/kg Cu zu einem Fertigfutter (88% TS) ist genügend. Die Zn-Empfehlungen in verschiedenen Ländern für Mastschweine liegen in der Mitte unserer Ergebnisse. Für die auf Mais-Sojaschrot basierenden Rationen scheinen 57 mg Zn/kg ausreichend zu sein. Der geschätzte Bedarf soll jedoch der gegenwärtig verbesserten Futtermittelverwertungsrate angepasst werden. Daher wird eine Zn-

Konzentration von 67 mg/kg in Rationen für Schweine empfohlen, die nicht auf Mais-Sojaschrot basieren.

Die Cu-Empfehlungen für Broiler stimmen mit unseren Ergebnissen überein. Bedarfsdeckend ist ein Zusatz von 6 mg/kg Cu zu einem Fertigfutter. Die Zn-Empfehlungen in verschiedenen Ländern für Broiler sind niedriger als die in dieser Studie enthaltenen Empfehlung. Unser Vorschlag ist 74 mg/kg in einem Fertigfutter (88% TS), denn es ist nicht bekannt, wieviel höher das Niveau zum Ausgleich für die bessere Wachstumsrate und Futtermittelverwertung bei den heutigen Broilern im Vergleich zu denjenigen in den angewendeten Referenzen sein soll.

Wenn man die in Tabelle 4 dargestellten Ergebnisse mit den maximal zulässigen Gehalten ab 26.1.2004 (Tabelle 1) vergleicht, kann festgestellt werden, dass unsere Empfehlungen wesentlich niedriger als die maximal zugelassenen Niveaus sind. Es besteht daher kein Risiko einer suboptimalen Versorgung von Cu und Zn für die in Tabelle 4 aufgelisteten Tierkategorien.

5. Wechselwirkungen zwischen den Mineralstoffen

5.1. Allgemeines

Die meisten Wechselwirkungen rufen eine geringere Verfügbarkeit des Elementes für das Tier hervor. Um den Bedarf des Tieres zu decken, muß der Gehalt im Futter erhöht werden, was unerwünscht ist. Dies kann z.B. einerseits wichtig sein für die Zn-Verfügbarkeit in phytinreichen Rationen für Monogastrier ohne Phytase. Andererseits beeinflussen sich Cu und Zn gegenseitig (Abbildung 1). Man kann sehen, dass viele Mineralstoffe auf Cu und Zn wirken

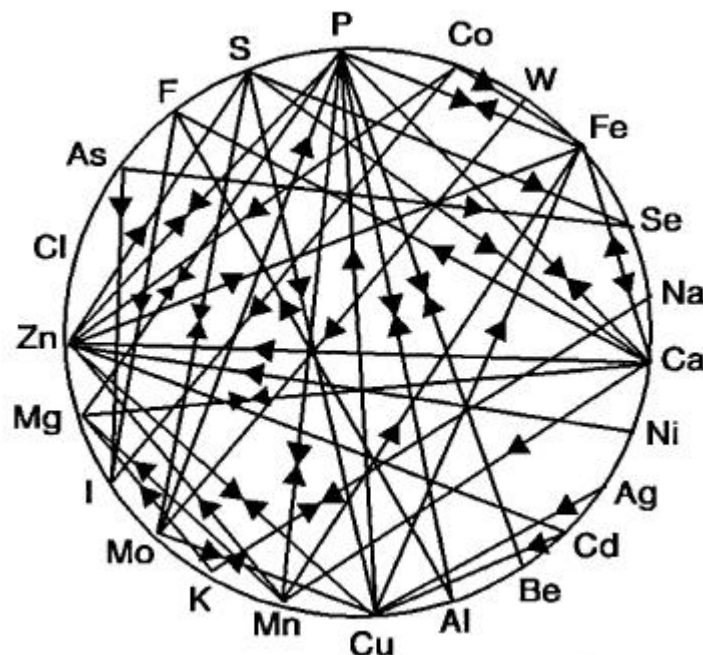
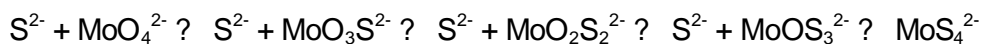


Abbildung 1: Wechselwirkungen von Mineralstoffen im Stoffwechsel des Tieres. Die Pfeile zeigen den Antagonismus zwischen den Elementen. Zum Beispiel wirken Cu und Zn aufeinander antagonistisch, genau so wie Cu und Mo, während Ca und Co auf Zn antagonistisch wirken (Ashmead und Zunino, 1994)

5.2. Wechselwirkung zwischen Kupfer, Molybdän und Schwefel bei Wiederkäuern

Wechselwirkungen zwischen Cu und anderen Mineralstoffen im Darmtrakt sind für die absorbierte Menge dieser Elemente von Bedeutung. Deshalb wird beim Rind die Frage gestellt, ob ein Risiko besteht, dass Cu unter bestimmten Bedingungen gering oder eben im Mangel sein kann. Dies kann bei einem hohen Gehalt an Molybdän (Mo) und/oder Schwefel (S) im Futter der Fall sein. Dies kann aus den Gleichungen über die Wechselwirkung zwischen Cu x Mo x S abgeleitet werden, die von Suttle und McLaughlan (1976) und von Underwood und Suttle (1999) (Abbildung 2) vorgeschlagen wurden. Der Hauptstandort für die Wechselwirkung von beiden Cu x S und Cu x Mo x S ist der Pansen. Nur abgebautes Protein-S und anorganisches S sind in der Lage mit Mo und Cu in Wechselbeziehung zu treten. Ein maximal tolerierbarer Gehalt von 4,0 g S/kgTS ist vorgeschlagen (NRC, 2001), obwohl diese Grenze in den niederländischen Futtern oft überschritten wird. Im Pansen kann sich Cu entweder mit S unter Bildung von CuS und/oder Cu₂S verbinden oder mit Mo und S unter Bildung von Thiomolybdaten (TMs). Die Bildung von TMs kann wie folgt beschrieben werden:



TM3 und TM4 verbinden sich hauptsächlich irreversibel mit Cu. Beide Cu-S und TMs machen Cu unverfügbar für das Tier (Suttle, 1991).

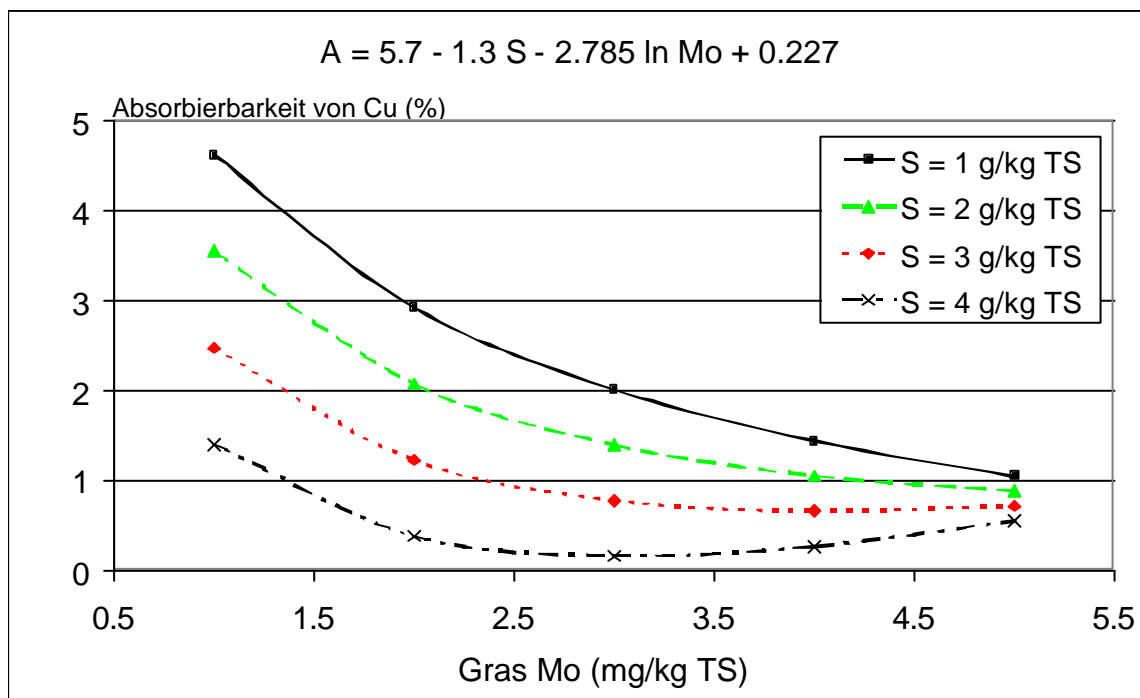


Abbildung 2: Graphische Darstellung der Gleichung für frisches Gras (Underwood and Suttle, 1999)

Abbildung 2 zeigt die negative Wirkung von Mo und S auf die Absorbierbarkeit von Cu, allerdings bei Mo-Stufen höher als 4 mg/kgTS erhöht sich die Cu Absorbierbarkeit bei 3 und 4 g S / kg TS. Dies zeigt die Grenze der Anwendung (der Gleich-

ung) für niederländische Gräser mit Mo-Gehalten bis zu 10,7 ppm und mit S-Gehalten bis zu 8,1 g/kgTS (Jongbloed et al., 2004b).

Um einen tieferen Einblick in die quantitativen Aspekte der Wechselwirkung von Cu, Mo und S im Futter zu gewinnen wurde eine Nachuntersuchung durchgeführt, wobei Änderungen der Cu-Konzentrationen in der Leber als Responseparameter angewendet worden sind (Jongbloed et al., 2004b). Verschiedene Modelle wurden auf Haupt- und Wechselwirkungen getestet, wobei die gesamte Aufnahme von Cu, Mo und S unabhängige Variablen sind. Beide linearen und quadratischen Wirkungen wurden getestet. In beiden Fällen bestand eine signifikante Wechselwirkung zwischen Cu x Mo, allerdings konnte keine wechselseitige Wirkung von Mo x S oder Cu x Mo x S festgestellt werden. Auch Modelle mit In-Transformation wurden für die Aufnahme von Cu, Mo und Zn als unabhängige Variablen getestet. Es kann festgestellt werden, dass signifikante Wirkungen von Cu, Mo, S und Cu x Mo auf die Veränderungen der Cu-Konzentrationen in der Leber von Mastrindern bestehen. Wenn das Modell für Rationen mit unterschiedlichen Gehalten an Mo und S angewendet wurde, die 100 Tage lang den Mastrindern mit einer anfänglichen Cu-Konzentration in der Leber von 100mg/kgTS (etwas höher als der anfängliche Durchschnitts-Cu-Gehalt in der Leber) verfüttert wurden, erhält man folgende Steigerungen oder Verminderungen der endlichen Cu-Konzentration in der Leber (Abbildung 3).

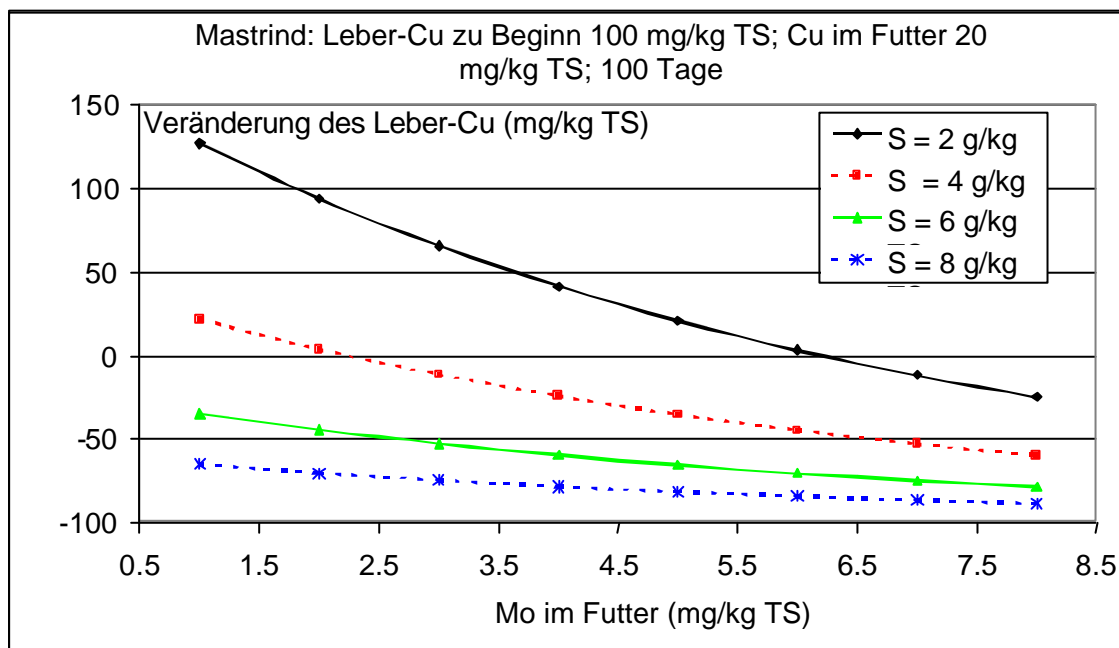


Abbildung 3. Wirkung unterschiedlicher Gehalte an Mo und S in den Futtern auf die Veränderung der Cu-Konzentration in der Leber von Mastrindern mit einem anfänglichen Cu-Gehalt in der Leber von 100mg/kg TS, an die Futter im Zeitraum von 100 Tagen verfüttert worden sind.

Abbildung 3 zeigt eine Verminderung des Cu-Gehaltes in der Leber bei zunehmenden Gehalten an Mo und S im Futter. Eine höhere Konzentration von Mo und S im Futter führt zu einer weiteren Verminderung des Cu-Gehaltes in der Leber. Mit Hilfe der Datenanalyse beim Mastrind kann man eine genaue und verlässliche Einschätzung der Änderung des Cu-Gehaltes in der Leber in Abhängigkeit von der Variation

der Gehalte an Cu, Mo und S im Futter treffen. Im Gegensatz zu Gleichungen von Underwood und Suttle (1999) konnte keine signifikante Wechselwirkung der Gehalte von Mo x S im Futter festgestellt werden, allerdings eine Wechselwirkung zwischen den Gehalten von Cu und Mo im Futter zusammen mit den Haupteffekten der Gehalte von Cu, Mo und S im Futter.

6. Bioverfügbarkeit von Cu und Zn

Im allgemeinen wird in der Praxis die in den Materialien pflanzlicher und tierischer Herkunft vorhandene Menge von Cu und Zn bei der Rationsformulierung aufgrund der erhöhten Kosten für deren Analyse nicht berücksichtigt. Darüber hinaus sind kaum Daten hinsichtlich ihrer Bioverfügbarkeit für die Tiere vorhanden. Die meisten verfügbaren Daten stammen von Untersuchungen mit Ratten (z.B. Ammermann et al., 1995). Wenn verschiedene Quellen von Cu und Zn verglichen werden, bezieht sich die Verfügbarkeit auf eine als Referenz zu betrachtende Mineralstoffquelle. Diese Quelle wird definiert, eine relative Bioverfügbarkeit von 100% zu haben. Für Cu ist die Referenzquelle meistens $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Reagenzgrad), für Zn meistens $\text{ZnSO}_4 \cdot 1\text{H}_2\text{O}$ (Reagenzgrad) oder $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Reagenzgrad). Verschiedene Kriterien werden angewendet, um die Wirkung des Einsatzes einer bestimmten Menge von Cu und Zn auf den Mineralstoffstatus der Tiere einzuschätzen. Allerdings sind nicht alle Kriterien gleich wichtig. Daher sollen die Kriterien in ihrer Wichtigkeitsrangfolge eingeordnet werden. Diese Rangordnung kann unterschiedlich zwischen Tierarten oder eben zwischen Tieren einer Kategorie sein. Ferner ist es wichtig anzumerken, dass die Wichtigkeitsrangfolge der Kriterien von dem Versorgungsniveau (unter oder über dem empfohlenen Bedarf) abhängig sein kann. Kriterien und Gewichtungsfaktoren für Cu und Zn sind in Tabelle 5 dargestellt. Je höher die Rangordnung ist, um so wichtiger das Kriterium für die Einschätzung des Mineralstoffstatus beim Schwein.

Tabelle 5: Rangordnung zur Beurteilung der Wirkungen einer bestimmten Zulage von Cu und Zn auf den Mineralstoffstatus beim Schwein (Jongbloed et al., 2002)

Cu	Wichtigkeitsrangfolge (Gewichtungsfaktoren)	
	Versorgung unter dem Bedarf	Versorgung über dem Bedarf
Kriterien		
CU-Absorption	3	1
Cu-Gehalt in der Leber	4	3
Superoxid-Dismutase-Aktivität	1	1
Ceruloplasmin-Gehalt in der Leber	1	1
Tierleistung	1	nein
Cytochromoxidase-Aktivität	nein	nein
Serum-/Plasma-Cu-Konzentration	ja?	nein
Cu-Konzentration in der Galle	nein	nein
Zn		
Kriterien		
Scheinbare Zn-Absorption	3	1
Wahre Zn-Absorption	3	3
Tibia-/Zeh-/Metatarsus-Zn Konzentration	5	5
Zn-Konzentration in Pankreas	3	3

Tierleistung	3	nein
Serum-/Plasma-Zn-Konzentration	4	nein
Metalloproteine in der Leber	nein	nein
Zn im Harn	nein	nein
Zn im Haar	nein	nein
Zn in Erythrozyten	nein	nein
Haarkondition	nein	nein
Zn-Balance	nein	nein

Für Cu ist die Cu-Konzentration in der Leber das wichtigste Kriterium, während die anderen Kriterien nicht geeignet sind. Für Zn werden hauptsächlich Zn im Knochen und im Plasma benutzt. Eine Übersicht über diese Responseparameter ist von Delves (1985) angegeben worden.

Das Hauptinteresse liegt im Vergleich der Bioverfügbarkeit von verschiedenen Mineralstoffquellen/-verbindungen, worüber vor kurzem berichtet worden ist (Jongbloed et al., 2002). Für Cu wurden die Quellen in $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ und andere anorganische Verbindungen gruppiert und mit organischen Cu-Komplexen verglichen. Für Zn wurden $\text{ZnSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, ZnCO_3 , ZnO , Zn-Methionin und Zn-Lysin miteinander verglichen. Responsekriterien und deren Wichtigkeitsrangfolge, wie schon beschrieben, wurden angewendet. Ein Problem bei der Interpretation der Daten über Cu- und Zn-Quellen ist, dass diese Quellen hinsichtlich ihrer Herkunft und ihrer physikalischen Zusammensetzung nicht immer genau definiert sind. Daher kann man innerhalb der gleichen Mineralstoffquelle große Unterschiede in der Bioverfügbarkeit im Verhältnis zu der Referenzquelle erhalten, u.a. in Abhängigkeit von der angewendeten Grundration. Auch ist eine bessere Beschreibung der Mineralstoffquelle gefordert. Darüber hinaus bestehen große Differenzen in den gebrauchten Responsekriterien und häufig überschreiten die Versorgungsniveaus wesentlich den physiologischen Bedarf der Tiere.

Bei den meisten Untersuchungen sind $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ oder $\text{ZnSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ als Referenzquelle für Cu bzw. Zn verwendet worden und ihre Bioverfügbarkeit wurde als 100% angenommen. Die Versuchsergebnisse mit Schweinen über Cu-Bioverfügbarkeit sind wie folgt zusammengefasst. Es kann kein signifikanter Unterschied in der Verfügbarkeit zwischen CuSO_4 , CuCO_3 , Cu-Citrat, Cu-Lysin, (an)organischem Cu-Chelat und tribasischem Cu-Chlorid festgestellt werden. Dies ist in Übereinstimmung mit den Befunden von Ammermann et al. (1998).

Die zusammengefassten Ergebnisse der Bioverfügbarkeitsversuche mit unterschiedlichen Zn-Quellen beim Schwein zeigen große Schwankungen. Im ganzen ist aufgrund der Daten ZnSO_4 die bestverfügbare Quelle im Vergleich zu Quellen wie ZnO , ZnMet, ZnLys und ZnCO_3 .

7. Auswirkungen der zusätzlichen Cu- und/oder Zn-Versorgung über den Bedarf und die zugelassenen Niveaus

Für bestimmte Tierkategorien werden mögliche vorteilhafte Wirkungen mit der Versorgung über den Bedarf hinaus behauptet. Der Effekt liegt in der Einflußnahme von zusätzlichen Cu- oder Zn-Mengen im Futter auf die Wachstumsleistung, Klauengesundheit und Immunität. Zur Beurteilung der vorteilhaften Wirkung des Einsatzes von über den physiologischen Bedarf zusätzlichen Cu- oder Zn-Mengen können nur in Untersuchungen geprüft werden, bei denen neben einer Gruppe mit zusätzlichem Cu oder Zn zumindest eine Gruppe mit angemessener Cu- oder Zn-Versorgung aufgenommen wurde. Hierbei kommt man zum Schluss, dass der Zusatz von extra Cu und/oder Zn über den Bedarf hinaus nicht gerechtfertigt sein kann, um vorteilhafte Wirkungen auf die Immunität oder Klauengesundheit hervorzurufen (Jongbloed et al., 2001).

Über Effekte von zusätzlichem Cu auf die Schweineleistung wurde kürzlich von Lenis und Kogut (2000) berichtet. Literatur hinsichtlich der Wirkung des zusätzlichen Cu auf die Wachstumsleistung von Schweinen, veröffentlicht nach 1973, wurde überprüft (49 geeignete Publikationen). Sie zeigten, dass in den meisten Untersuchungen mit jungen, wachsenden Schweinen ein wachstumsfördernder Effekt von Cu im Bereich von 100 bis 200 ppm über den Bedarf festgestellt werden konnte (Abbildung 4). Dies ist in Übereinstimmung mit Schlussfolgerungen anderer Autoren. Höhere Mengen von mehr als 250 ppm können zu nachteiligen Wirkungen auf die Leistung führen.

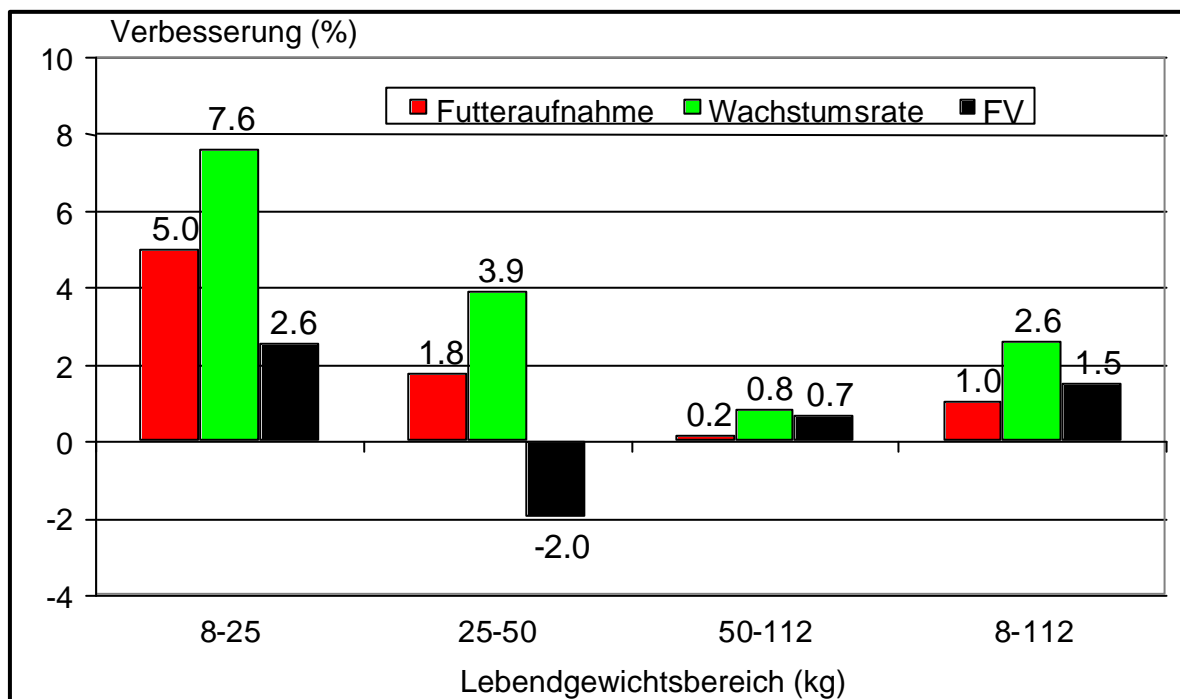


Abbildung 4: Wirkung des zusätzlichen Cu auf die Verbesserung der Wachstumsleistung von Schweinen (Lenis and Kogut (2000))

Wir studierten die Langzeiteffekte eines antimikrobiellen Leistungsförderers (AGP) zusammen mit einem hohen Cu-Niveau auf die Schweineleistung und Gesundheit bei 360 Absetzferkeln (männlichen und weiblichen) im Alter von 28 Tagen bis zum Schlachten mit einem Lebendgewicht von ca. 105 kg (Jongbloed et al., 2002b). In

jeder Bucht waren 8 Schweine und sie hatten freien Zugang zum pelletierten Futter und Wasser. Drei verschiedene Behandlungen bestanden aus (1) einer negativen Kontrollration ohne AGP und hohem Cu-Niveau, (2) einer positiven Kontrollration mit einem AGP und einem hohen Cu-Niveau (gemäß den gegenwärtigen Empfehlungen), und (3) einer wechselnden Behandlung mit der positiven Kontrollration bis zu 63 Tagen nach der Geburt und dann die negative Kontrollration nach dem 63. Tag bis zum Versuchsende. Der Einfluß von AGP und Cu auf die Wachstumsleistung der Schweine wird durch Körpergewichtsänderungen (beim Absetzen und an Tagen 42, 63, 77, 91, 112, 126, 133, 140, 147 und 155 nach der Geburt und am Tag vor der Lieferung zum Schlachthof), Futteraufnahme, Wachstumsrate und Futterverwertung beurteilt.

Die Behandlungen hatten keine Wirkung auf die Anzahl der tierärztlichen Therapie, obwohl eine Tendenz zu einer höheren Zahl der behandelten Schweine in der negativen Kontrollration zu verzeichnen war. Zwischen den Futterbehandlungen wurden weder Unterschiede in der Mortalität noch in der Durchfallschweregradbewertung festgestellt. Die durchschnittliche tägliche Futteraufnahme war von den Futterbehandlungen nicht signifikant beeinflusst worden, war jedoch zahlenmäßig niedriger bei Schweinen, die kein AGP oder zusätzliches Cu erhielten. Die Wachstumsrate und Futterverwertung waren signifikant besser bei Schweinen, die einen AGP und ein hohes Cu-Niveau erhielten. Es zeigte sich, dass eine positive Wirkung des Einsatzes dieser Wachstumsförderer auf die Wachstumsleistung von Schweinen besteht, auch in einem Tierbestand mit sehr gutem Gesundheitszustand. Schweine in der Gruppe ohne Futterzusatzstoffe und in der Gruppe mit wechselnder Futterumstellung hatten die gleiche Wachstumsleistung, bei einer Auswertung des gesamten Versuches. Der Anwendungsvorteil von Futterzusatzstoffen verschwand jedoch gänzlich, wenn sie beim Lebendgewicht von 25 kg abgesetzt wurden. Dies ist hauptsächlich auf eine starke Reduzierung der Futteraufnahme bei der Behandlung mit Futterumstellung zurückzuführen, die in den ersten 14 Tagen nach dem 63. Tag statt fand, wie in der Abbildung 5 dargestellt. Der Grund hierfür liegt wahrscheinlich in der Re-Adaptation der Darmflora an Futter ohne Leistungsförderer. Diese geringere Leistung wurde später kompensiert, und am Ende des Versuches hatten die Schweine, die sich der wechselnden Behandlung unterzogen, eine gleiche Leistung wie die der negativen Kontrollgruppe, d.h. kein positives Ergebnis. Für die Praxis resultiert das Anwendungsverbot von AGP und hohen Cu-Niveaus in Schweinefutter vom Absetzen bis zum Schlachtgewicht zweifellos in einer niedrigeren Wachstumsleistung. Man kann davon ausgehen, dass die Reduzierung der Wachstumsleistung in der Praxis viel größer als in diesem Versuch sein wird.

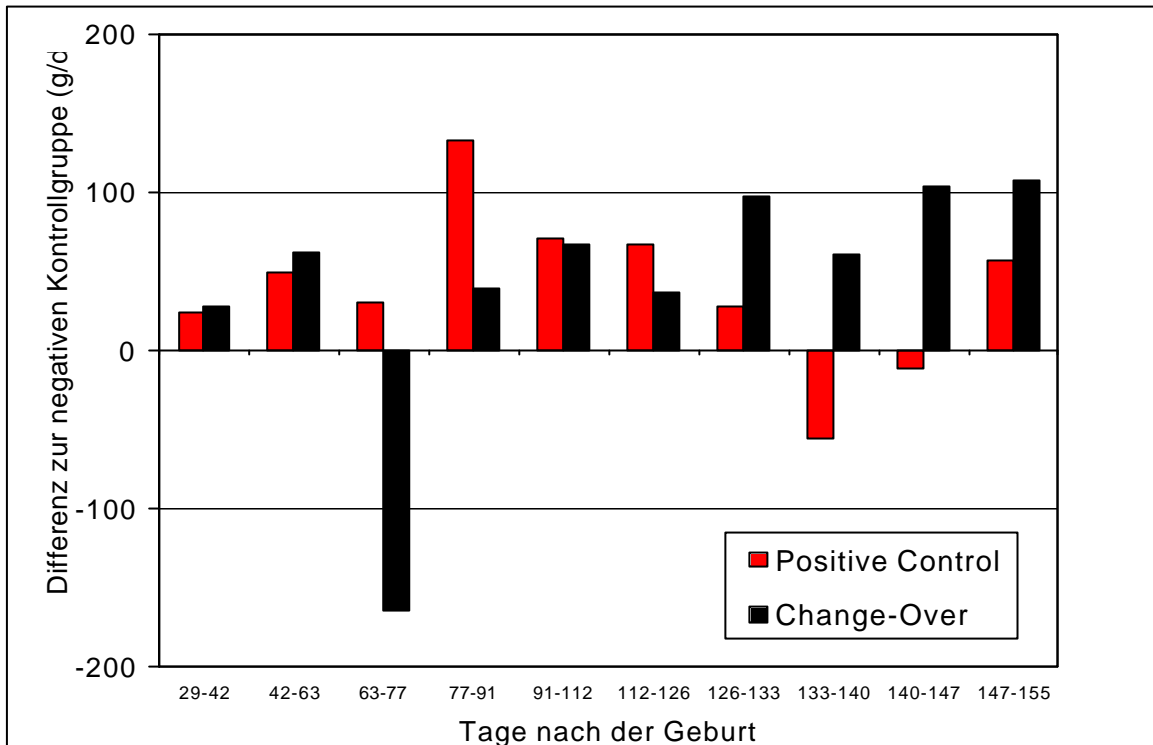


Abbildung 5: Futteraufnahme: Vergleich der positiven Kontroll- und der Umstellungsgruppe zu der negativen Kontrollgruppe (gleich Null)

Im letzten Jahrzehnt sind viele Versuche an Absetzferkeln mit sehr hohen Dosen von Zn verschiedener Quellen durchgeführt worden, mit dem Ziel, die Erkrankungen nach dem Absetzen zu reduzieren. In diesen Versuchen wurde Zn in der Höhe bis zu 3000 ppm während der zwei oder drei Wochen verfüttert, was vorteilhafte Wirkungen auf die Leistung ausüben kann. Die Zulage von mehr als 5000 ppm ist für Zuchtsauen jedoch nicht zu empfehlen. Langfristig sind diese Dosen toxisch für die Tiere und nach EU-Verordnung nicht erlaubt.

8. Schlußfolgerungen

Die Bodenfruchtbarkeit und die Qualität des Oberflächen- und Grundwassers bestimmen in großem Umfang die Düngermenge, die je Hektar ausgebracht werden kann. Heutzutage überschreiten oft der Eintrag (Input) von P, Cu und Zn über Futter und Mineraldünger in den meisten intensiven Tierhaltungsbetrieben den Austrag (Output) über Fleisch, Milch und Eier. Deshalb werden neue Gesetze vorgeschrieben, die den Gebrauch der Dünger per Hektar Land limitieren und die Grenze der maximal zulässigen Mineralstoffgehalte in den Futtern festsetzen. Immerhin ist der tierische Dünger ein wertvolles Mittel zur Erhaltung und Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit.

In der EU ist die Zn-Anreicherung im Boden ernsthafter als diejenige von Cu, allerdings ist dies viel mehr ein regionales Problem als ein landesweites. In Deutschland ist dies der Fall in Nordrhein-Westfalen und in Niedersachsen. Die Reduzierung dieser Anreicherung ist nur möglich, wenn die wachstumsfördernden hohen Niveaus in Schweinefuttern verboten werden. Darüber hinaus soll den Langzeitwirkungen der Anwendung hoher Niveaus von Cu oder antimikrobieller

Leistungsförderer in Schweinerationen mehr Beachtung geschenkt werden, um umfassende Auswirkungen zu beurteilen.

Mittels der Datenanalyse beim Mastrind kann eine genaue und zuverlässige Schätzung der Veränderung des Cu-Gehalts in der Leber in Abhängigkeit von der Variation von Cu-, Mo-, und S-Konzentrationen im Futter erreicht werden. Im Gegensatz zu den Gleichungen von Underwood und Suttle (1999) konnte keine signifikante Wechselwirkung zwischen den Futterkonzentrationen von Mo x S oder Cu x Mo x S erkannt werden, allerdings eine Wechselwirkung zwischen den Futterkonzentrationen von Cu und Mo zusammen mit Haupteffekten der Futterkonzentrationen von Cu, Mo und S.

Die Bedarfsempfehlungen von Cu und Zn für Milchkühe, Mastschweine und Broiler variieren stark in den verschiedenen Ländern. Vergleicht man die Empfehlungen mit den maximal zugelassenen Konzentrationen ab 26. Januar 2004, dann sind sie immer noch niedriger als die maximal zugelassenen Niveaus. Daher gibt es kein Risiko einer suboptimalen Versorgung von Cu und Zn für die erwähnten Tierkategorien. Es gibt jedoch keine definitive Antwort auf die Frage, ob und wieviel der Bedarf erhöht werden soll bei den höheren Tierleistungsniveaus im Vergleich zu den in der Literatur dokumentierten.

Die Unterschiede in der Bioverfügbarkeit zwischen Cu-Quellen (CuSO₄, CuCO₃, CuS, tribasisches Cu-Chlorid, (an)organisches chelatiertes Cu, Cu-Citrat, Cu-Methionin und Cu-Lysin) beim Schwein sind klein. Ferner scheint die Bioverfügbarkeit der üblich verwendeten Zn-Quellen (ZnSO₄, ZnO) beim Schwein fast gleich zu sein.

9. Literatur

- AFRC, 1990. AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients, Report Number 4, Nutrient Requirements of Sows and Boars. Nutr. Abstr. Reviews, B Livestock Feeds and Feeding, 60, 383-406.
- Ammerman, C.B., Baker, D.H., Lewis, A.J., 1995. Bioavailability of nutrients for animals, 1st ed. San Diego: Academic Press Inc.
- Ammerman, C.B., Henry, P.R., Miles, R.D., 1998. Supplemental organically-bound mineral compounds in livestock nutrition. In: P.C. Garnsworthy, J. Wiseman (Eds), Recent Advances in Animal Nutrition. Nottingham, Nottingham University Press, p. 67-91.
- Ashmead, H.D., Zunino, H., 1994. Factors which affect the intestinal absorption of minerals. In: Ashmead HD (ed.), The roles of amino acid chelates in animal nutrition. Park Ridge: Noyes Publications, p. 21-46.
- Bouwman, L.A., Boon, G.T., Römkes, P.F.A.M., 1999. [Soil biology and copper contamination]. Yearbook Section Environmental Chemistry 1999: 24-33.
- Delves, H.T., 1985. Assessment of trace element status. Clinics in Endocrinology and Metabolism 14, 725-761.
- DLG, 1997. Mitteilungen des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. Proc. Nutr. Soc., 193-200.
- EC, 2003. Commission regulation (EC) No 1334/2003 of 25 July 2003. Amending the conditions for authorisation of a number of additives belonging to the group of trace elements. L 187/11-L 187/15.
- Henkens, Ch.H., 1975. Border between application and dumping of organic manure (in Dutch), Bedrijfsontwikkeling. 6, 247-250.

- Jongbloed, A.W., Klis, J.D.v.d., Mroz, Z., Kemme, P.A., Prins, H., Zaalmlink, B.W., 1998. [Reduction of copper, zinc and cadmium in pig and poultry diets. A literature survey]. ID-DLO report 98.006, 57 pp.
- Jongbloed, A.W., Top, A.M. van den, Beynen, A.C., Klis, J.D. van der, Kemme, P.A., Valk, H., 2001. Consequences of newly proposed maximum contents of copper and zinc in diets for cattle, pigs and poultry on animal performance and health. Report ID-Lelystad no. 2097.
- Jongbloed, A.W., DeGroot, G., Kemme, P.A., Lippens, M., Meschy, F., 2002. Study on the bioavailability of major and trace minerals. Emfema, Brussels, 108 pp.
- Jongbloed, A.W., Serra, C.A.R., Diepen, J.Th.M. van, Krimpen, M. van, 2002. Long-term effects of feeding both antimicrobials and high copper levels or none, and their withdrawal in-between, on animal performance of pigs from weaning to slaughter in a very healthy pig herd. Report ID-Lelystad no. 03-0000749.
- Jongbloed, A.W., Kemme, P.A., Top, A.M. van den, 2004a. Background of the copper and zinc requirements for dairy cattle, growing-finishing pigs and broilers. Report 04/0000635 ASG Nutrition and Food (in press).
- Jongbloed, A.W., Tsikakis, P., Kogut, J., 2004b. Quantification of the effects of copper, molybdenum and sulphur on the copper status of cattle and sheep and inventory of these mineral contents in roughages. Report 04-0000637 ASG Nutrition and Food (in press).
- Kemme, P.A., Jongbloed, A.W., Diepen, J.Th.M. van, Prins, H., 2000. Excretion of copper and zinc by pigs in various regions of the European Union and its consequences for accumulation and leaching of these minerals. Confidential Report ID-Lelystad, The Netherlands, no. 2022.
- Lenis, N.P., Kogut, J., 2000. Efficacy of copper sulphate as a growth promoter in pig diets. Report ID-Lelystad 2010, 1-12.
- McDowell, L.R., 1992. Minerals in Animal and Human Nutrition. Academic Press, San Diego, California, 524 pp.
- NRC, 1998. Nutrient Requirements of Swine. Washington DC.
- NRC, 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Washington: National Academy Press.
- Suttle, N.F., McLaughlan, M., 1976. Predicting the effects of dietary molybdenum and sulphur on the availability of copper to ruminants. Proc. Nutr. Soc. 35, 22A-23A.
- Suttle, N.F., 1991. The interactions between copper, molybdenum, and sulphur in ruminant nutrition. Ann. Rev. Nutr. 11, 121-140.
- Underwood, E.J., Suttle, N.F., 1999. The Mineral Nutrition of Livestock, 3rd edition. CABI Publishing, Wallingford, United Kingdom.
- Van Eerd, M., Meij, T. van der, Fong, N., 1999. [Contamination of agricultural area with heavy metals]. Kwartaalberichten Milieu 1999/3, 12-19.
- Van Rhee, J.A., 1974. I.C.W. Report on regional studies No. 6:18, Wageningen, The Netherlands.

Auszug aus der anschließenden Diskussion mit dem Autor:

FRAGE 1: Sind Ihre Empfehlungen für die Kupfer- und Zinkversorgung als Zusätze oder Gesamtgehalte inklusiv nativen Gehalten zu verstehen?

ANTWORT: Die Versuche wurden mit synthetischen Rationen durchgeführt. Die Verfügbarkeit von Kupfer im Futtermittel ist nicht bekannt, deshalb sind die Angaben zur Kupferversorgung als empfohlene Zusätze zu interpretieren.

Bei Zink sind die Angaben als Totalgehalte zu interpretieren. Bei einem nativen Gehalt von 30-40 mg Zn/kg sollten noch 30 mg Zn zugelegt werden. Wenn Phytase eingesetzt wird, sollten noch 10 mg Zink aus Zn-Sulfat ergänzt werden. Für bessere Leistungen sollten 70 mg Zn/kg eingehalten werden. Aufgrund negativer Interaktionen zum Calcium gelten die Empfehlungen bis zu 10 g Calcium in der Futtermischung

FRAGE 2: Es sind ergotrope Wirkungen von Kupfer beschrieben worden. Ist es sinnvoll für Schweine bis zu einem Alter von 12 Wochen den gesetzlichen Rahmen voll auszus schöpfen?

ANTWORT: Es handelt sich um eine politische Frage. Aus der Sicht des Umweltschutzes sollte man den gesetzlichen Rahmen nicht nutzen. Allerdings ist nicht bekannt, was bei dem Wegfall der antibiotischen Leistungsförderer passieren wird.

FRAGE 3: Liefern Blutuntersuchungen zuverlässige Ergebnisse zur Kupfer- und Zinkversorgung?

ANTWORT: Der Kupfergehalt im Blutplasma ist nur in einem sehr kleinen Bereich aussagefähig. Das Tier reguliert den Mineralstoffhaushalt, so dass die Werte wenig Auskunft über die Versorgungslage des Tieres geben. Bei Zn können Knochenproben leicht untersucht werden.

FRAGE 4: Anhand welcher Parameter haben Sie die Kupfer Verfügbarkeit aus Kupfer-Sulfat und Kupfer-Lysin ausgewertet?

ANTWORT: Es wurden nur publizierte Werte in die Auswertung aufgenommen. Dabei wurden alle Parameter mit Rangierungskriterien multipliziert.

FRAGE 5: Warum sind Sie der Meinung, dass Chelate keine Lösung in Zusammenhang mit der Senkung der Spurenelementgehalte sind?

ANTWORT: Es ist nicht eindeutig beschrieben, welche Verbindung vorliegt. Die eigenen Untersuchungen haben gezeigt, dass in den Produkten 80 bis 90 % der Spurenelemente in anorganischer Form vorliegen und nur ca. 10 % organisch gebunden sind. Physiologische Vorteile sind durch die Chelate zu erwarten, der wissenschaftliche Nachweis durch eine ausreichende Anzahl an Veröffentlichungen ist aber noch nicht erfolgt.

FRAGE 6: Wie ist die Schwefel- und Molybdänversorgung der Böden?

ANTWORT: Eine Schwefeldüngung erfolgt auf Grasland, Raps, in einigen Regionen auf Getreide und führt vereinzelt zu höheren Erträgen. Durchschnittlich werden 2 g Schwefel im Boden nachgewiesen. Sehr selten sind toxische Mengen von 10 g Schwefel.

FRAGE 7: Halten Sie den Hinweis im Futtermittelrecht, dass auf Weiden mit hohen Molybdän- oder Schwefelgehalten bei Rindern ein Kupfermangel auftreten könnte in der Praxis für umsetzbar?

ANTWORT: Holland wurde in solche Regionen mit hohen und niedrigen Gehalten an Molybdän und Schwefel eingeteilt und somit eine praktikable Lösung gefunden.