

## Konsequenzen der geplanten Reduzierung der zulässigen Höchstwerte von Zink und Kupfer im Tierfutter für die Schweinefütterung

Prof. Dr. Wilhelm Windisch (Wien)

Futtermittel gelten als eine der Hauptquellen von Schwermetalleinträgen über die Wirtschaftsdünger auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen. Dies trifft auch für die Metalle Zink und Kupfer zu, die aus der Sicht der Ernährung zunächst essentielle Nährstoffe darstellen, bei überhöhtem Eintrag in den Boden jedoch als Schwermetalle mit ökologischem Schadenspotenzial zu betrachten sind und deshalb unter Überwachung stehen (Klärschlamm-, Bodenschutz-, Bioabfallverordnung). Aus diesen Regelwerken sind die Wirtschaftsdünger zwar bislang noch ausgeklammert („gute fachliche Praxis“ vorausgesetzt). Es wird jedoch derzeit diskutiert, die zulässigen Höchstgehalte an Zink und Kupfer in Futtermitteln EU-weit zu senken, um die entsprechenden Schwermetallfrachten über die Wirtschaftsdünger auf ein ökologisch unbedenkliches Maß zu senken. Zur Debatte stehen Höchstgehalte im Schweinefutter von 100 bis 120 ppm Zink und 20 bis 30 ppm Kupfer.

Insbesondere in der Ferkelfütterung bedeutet dies eine erhebliche Reduzierung gegenüber den derzeit noch gültigen Höchstwerten (250 ppm Zn und 175 ppm Cu bis zur 16. Lebenswoche, ansonsten 35 ppm Cu). Aus der Sicht der praktischen Schweinefütterung sind die Konsequenzen dieses Einschnitts in zwei Richtungen zu betrachten: Einerseits ist zu fragen, ob bei einer Reduzierung der Zink- und Kupferversorgung auf bis zu 100 ppm (Zn) bzw. 20 ppm (Cu) erwünschte oder unerwünschte Effekte auf das Tier wegfallen. Andererseits verringern die Restriktionen bei den zulässigen Höchstgehalten im Futter gleichzeitig auch den Spielraum für eine bedarfsdeckende Supplementierung des Futters mit Zink und Kupfer. Damit erhält die Diskussion um die Bioverfügbarkeit der eingesetzten Zn- und Cu-Verbindungen neuen Auftrieb.

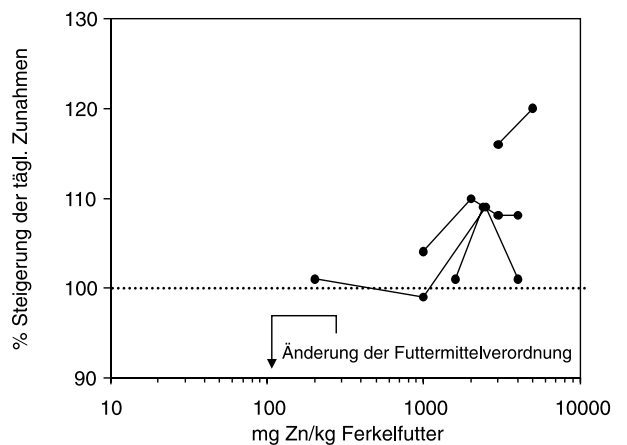
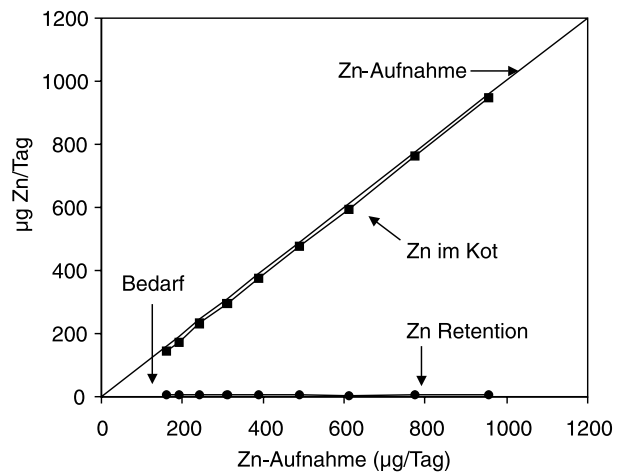
### Wegfall erwünschter oder unerwünschter Effekte auf das Tier?

#### a) Zink

Beim Zink liegen die Versorgungsempfehlungen für Schweine im Bereich zwischen 50 und 100 ppm. Hierin sind bereits Sicherheitszuschläge enthalten, die die natürlichen Schwankungen des nativen Zn-Gehalts der Futtermittel berücksichtigen und auch unter sonstigen ungünstigen Fütterungs- und Haltungsbedingungen eine noch bedarfsdeckende Zufuhr an Zink sicherstellen. Zn-Aufnahmen oberhalb des Bedarfs werden über eine effiziente homöostatische Regulation bereits am Übergang zwischen Darmlumen und Körperinnenseite durch Anpassung der Absorption und endogenen fäkalen Exkretion abgefangen und über den Kot ausgeschieden (Abb. 1). Unter praxisüblichen Verhältnissen liegen Zinkgehalte von 250 ppm im Futter durchaus noch innerhalb dieses Kompensationsbereichs. Es ist deshalb weitgehend auszuschließen, dass die diskutierte Senkung der zulässigen Zn-Gehalte im Futter außer einer reduzierten Zn-Ausscheidung über die Exkremente mit sonstigen Effekten auf das Tier assoziiert ist. Aus dem gleichen Grunde ist es physiologisch ohne Bedeutung, wenn die zulässigen Höchstgehalte an Zink im Futter soweit gesenkt werden, dass sie mit den Versorgungsempfehlungen praktisch zusammenfallen. Wegen der reichlich bemessenen Sicher-

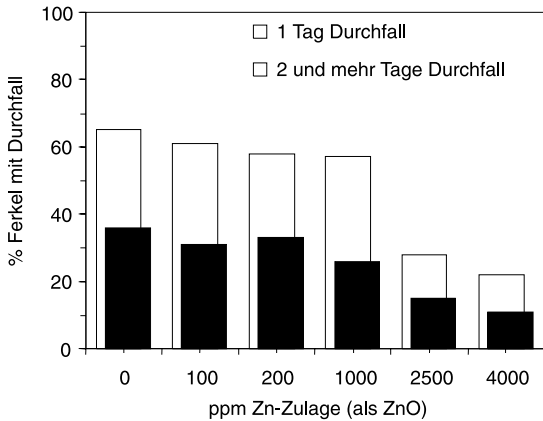
heitszuschläge in den Empfehlungen bleibt der tatsächliche Zn-Bedarf der Tiere auch in diesem Fall noch sicher gedeckt.

**Abbildung 1: Reaktion der fäkalen Zn-Exkretion und der Zn-Retention auf eine bedarfsüberschreitende Aufnahme an Zink (WINDISCH und KIRCHGESSER, 1995)**



In diesem Zusammenhang wird gelegentlich argumentiert, dass durch die Restriktion der Zn-Gehalte im Futter vor allem im Bereich der Ferkelaufzucht eine angeblich therapeutische und prophylaktische Wirkung hoher Zn-Gaben gegenüber Durchfallerkrankungen und ein damit assoziierter leistungsfördernder Effekt verloren ginge. Wie in Abbildung 2 dargestellt, haben exzessive Dosierungen von Zink (v. A. Zinkoxid) tatsächlich derartige Wirkungen. Der Effekt tritt jedoch erst bei Dosierungen im Futter oberhalb von etwa 2000 ppm ein. Die geplanten Änderungen der Futtermittelverordnung liegen somit weit unterhalb des pharmakologisch wirksamen Bereichs exzessiver Zn-Dosierungen.

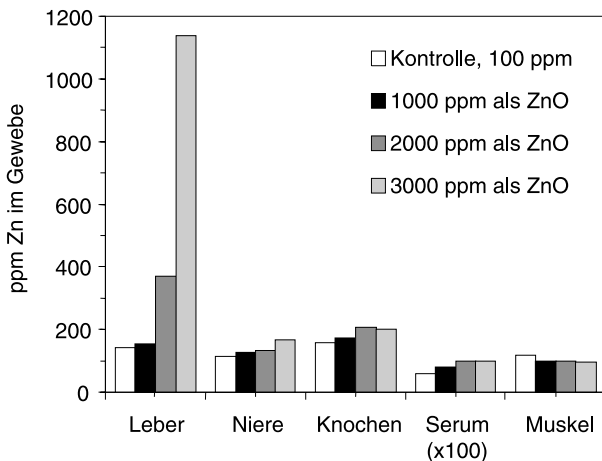
**Abbildung 2: Effekt exzessiver Dosierungen an Zink auf die Durchfallhäufigkeit und die Gewichtsentwicklung von Ferkeln<sup>1</sup> (POULSEN 1995; HAHN und BAKER 1993; SMITH et al., 1995, WINDISCH et al., 1999)**



<sup>1</sup> verbundene Punkte repräsentieren gemeinsame Befunde einer Untersuchung

Zn-Dosierungen mit leistungsfördernder Wirksamkeit überschreiten den physiologischen Bereich von Zink als ein essentieller Nährstoff um ein Vielfaches. Sie überlasten die Fähigkeit des Zinkstoffwechsels zur homöostatischen Kompensation, verursachen Akkumulationen an Zink im Gewebe (Abb. 3) und führen im weiteren Verlauf zu einer Reihe weiterer unerwünschter Nebenwirkung für die behandelten Tiere und die Umwelt (Anämie, Malabsorption, extrem hohe Zn-Emissionen). Insgesamt stehen solche exzessiven Zn-Dosierungen grundsätzlich weit außerhalb des Futtermittelrechts und sollten mit der derzeitigen Diskussion um die Reduzierung der zulässigen Höchstgehalte an Zink im Futter nicht in Verbindung gebracht werden.

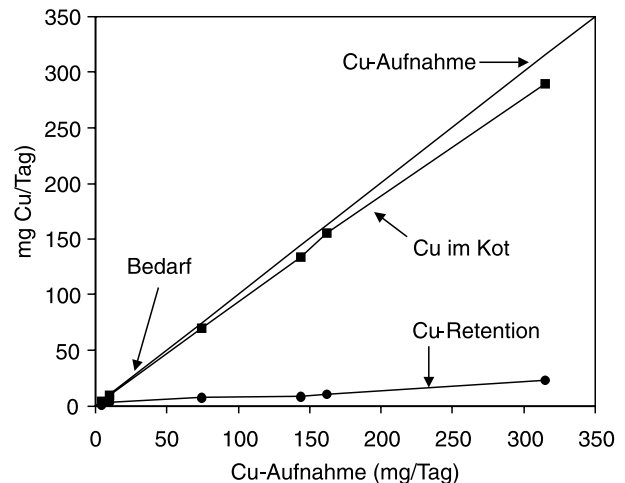
**Abbildung 3: Zn-Akkumulation im Gewebe bei exzessiver Zn-Dosierung in der Ferkelfütterung (SHELL und CORNEGAY, 1996)**



b) Kupfer

Für Kupfer liegen die Versorgungsempfehlungen bei 3 bis 10 ppm, wobei auch hier wiederum Sicherheitszuschläge enthalten sind. Ähnlich wie beim Zink sorgt die Cu-Homöostase dafür, dass bedarfsüberschreitende Cu-Mengen ohne eine Verwertung durch den Körper über den Kot direkt wieder ausgeschieden werden (Abb. 4). Auf diese Weise kann das Schwein relativ hohe Cu-Gehalte in der Nahrung kompensieren, ohne dass die Leistungsbereitschaft der Tiere davon berührt wird. Die derzeit gültigen Höchstwerte im Schweinefutter für Tiere ab der 16. Lebenswochen (35 ppm) liegen noch in diesem Bereich, so dass bei weiterer Verminderung der Richtwerte außer der beabsichtigten Reduzierung der Cu-Exkretion keine sonstigen Effekte auf das Tier zu erwarten sind.

**Abbildung 4: Reaktion der fäkalen Cu-Exkretion und der Cu-Retention auf eine bedarfsüberschreitende Aufnahme an Kupfer (KIRCHGESSER und WESER, 1963)**

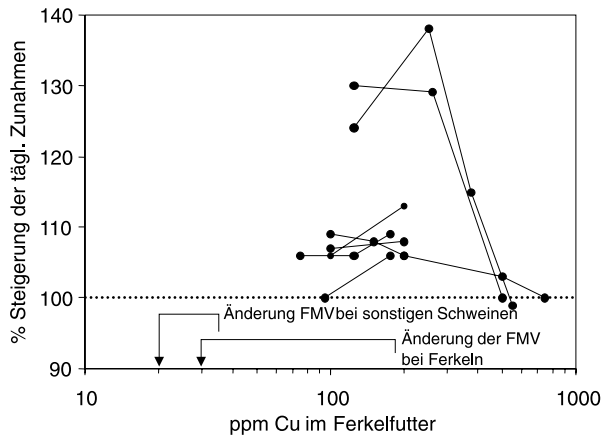


Beim Ferkel bis zum Alter von 16 Lebenswochen ist die Situation dagegen anders zu beurteilen. Die derzeit noch zulässigen Höchstgehalte an Kupfer im Ferkelfutter (175 ppm) liegen bereits klar im Bereich einer exzessiven Dosierung. Ähnlich wie beim Zink haben derart hohe Cu-Dosierungen ein protektives Potential gegenüber Durchfallerkrankungen und in dessen Folge eine leistungsfördernde Wirkung. Allerdings kommt es auch hier zu unerwünschten Begleiterscheinungen für die Tiergesundheit und die Umwelt (Cu-Akkumulation v. A. in der Leber, Anämie, extrem hohe Cu-Emission).

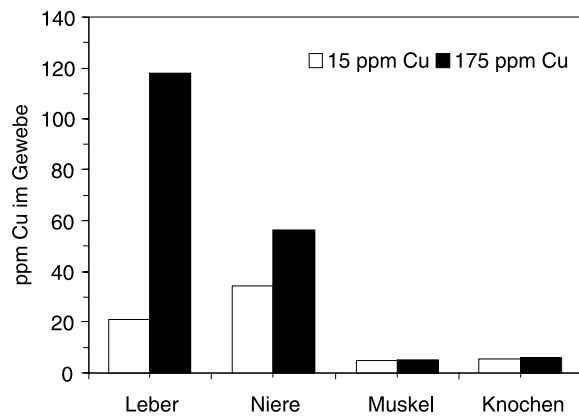
Bei Limitierung der zulässigen Cu-Gehalte im Ferkelfutter auf 20 ppm würde der leistungsfördernde Effekt der exzessiven Cu-Dosierung theoretisch entfallen. Dennoch sind in der Praxis kaum Leistungseinbrüche zu erwarten, denn die Cu-Wirkung ist nicht spezifisch und kann durch andere leistungsfördernde Substanzen ersetzt werden. Wie Abbildung 6 zeigt, hat die exzessive Cu-Dosierung in Gegenwart organischer Säuren im Futter keinen zusätzlichen Effekt auf die Leistung der Tiere. In der Gesamtwirkung ist der Verzicht auf überhöhte Cu-Dosierungen demnach eher positiv zu beurteilen, denn dem allenfalls theoretischen Verlust einer leistungsfördernden

Wirkung steht eine konkrete Entlastung der Tiere von unerwünschten Begleiterscheinungen und eine substanziiell verringerte Cu-Emission in die Umwelt gegenüber.

**Abbildung 5: Gewichtsentwicklung und Cu-Akkumulation im Gewebe bei exzessiver Dosierung von Kupfer in der Ferkelfütterung<sup>1</sup> (MEYER et al., 1977; APGAR et al., 1995; COFFEY et al., 1994; CROMWELL et al., 1989, 1998; WINDISCH et al., 2001)**



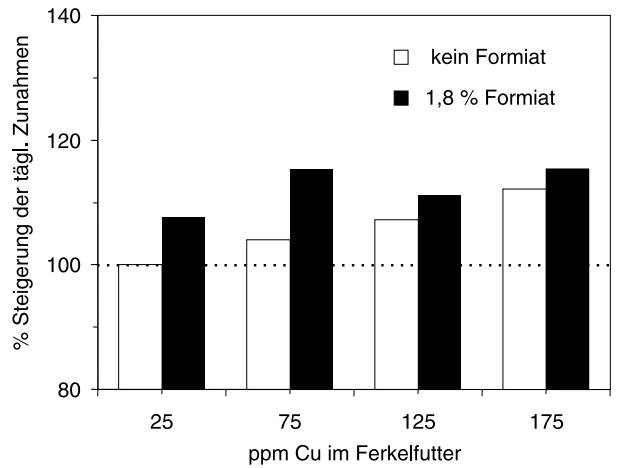
<sup>1</sup> verbundene Punkte repräsentieren gemeinsame Befunde einer Untersuchung



**Bioverfügbarkeit der eingesetzten Zn- und Cu-Verbindungen**

Unter praxisüblichen Verhältnissen erfordert die Sicherstellung einer bedarfsdeckenden Zn- und Cu-Versorgung der Tiere in der Regel eine Ergänzung des Futters mit diesen essentiellen Spurenelementen. Dies gilt insbesondere für Ferkel, die beispielsweise innerhalb weniger Tage mit charakteristischen Zn-Mangelsymptomen auf eine fehlende Zn-Ergänzung des Futters reagieren können. Andererseits verringert die Reduzierung der zulässigen Höchstgehalte an Zn und Cu im Schweinefutter den Spielraum für die Supplementierung. In dieser Situation gewinnt die Bioverfügbarkeit des Nahrungszinks bzw. -kupfers an Bedeutung. Vor allem die organischen Zn- und Cu-Verbindungen stehen im Ruf einer hohen Bioverfügbarkeit. Die Abgrenzung zwischen organischen und an-

**Abbildung 6: Wirkung einer Kombination von exzessiver Cu-Dosierung und Ameisensäure im Futter auf die Gewichtsentwicklung von Ferkeln (WINDISCH et al., 2000)**



organischen Verbindungen ist jedoch nicht eindeutig. Die geläufigste Definition der organischen Verbindungen stammt von der Association of American Feed Control Officials (AAFCO). Sie beinhaltet im Wesentlichen nur die komplex gebundenen Spurenelemente und unterscheidet Metall-Aminosäuren-Komplexe, Metall-Aminosäuren-Chelate, Metall-Proteinate und Metall-Polysaccharid-Komplexe. Diese Einteilung ist weniger im biochemischen Sinne zu verstehen sondern eher eine Systematisierung im Sinne von „Handelsklassen“.

**Beobachtungen zur Bioverfügbarkeit von Zn- und Cu-Verbindungen**

Die Bioverfügbarkeit einer Spurenelementverbindung ist der maximal mögliche Anteil der über die Nahrung aufgenommenen Menge des Spurenelements, der für die biologischen Funktionen im Stoffwechsel verwertbar ist. Bei Zink und Kupfer ist hier insbesondere die Absorbierbarkeit von Bedeutung, während die intermediäre Verwertbarkeit üblicherweise sehr hoch ist. Die Zn- und Cu-Absorption untersteht jedoch der biologischen Kontrolle durch die Homöostase. Die Bioverfügbarkeit lässt sich demnach nur dann verzerrungsfrei messen, wenn die homöostatische Gegenregulation weitgehend unterbunden wird. Dies ist während oder unmittelbar im Anschluss an eine Mangelsituation an Zn und Cu der Fall, denn hier versucht der Organismus das Angebot der Nahrung in vollem Umfang zu absorbieren und intermediär zu verwerten.

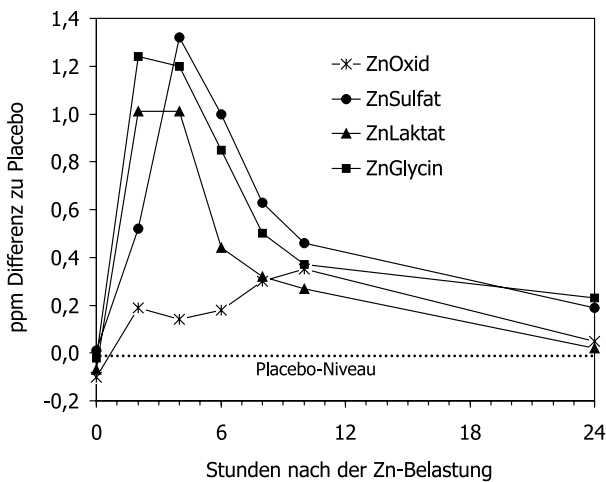
Unter diesen Bedingungen kann man aus den Reaktionen von Parametern des Versorgungsstatus (z. B. Zn- und Cu-Gehalte in repräsentativen Geweben, Aktivitäten von Metalloenzymen) die relative Abstufung der Bioverfügbarkeit unterschiedlicher Zn- und Cu-Verbindungen abschätzen. Derartige Studien ergaben für Zinkoxid und Zinkcarbonat niedrige Bioverfügbarkeiten, während Zinksulfat und -Chlorid sowie Salze von Carbonsäuren (z. B. Citrat, Piconlinat) gut verfügbar waren und von organischen Verbindungen im Sinne der oben genannten Klassifizierung häufig noch übertroffen wurden. Eine ähnliche

Abstufung findet man auch bei Cu-Verbindungen. Die Überlegenheit der organischen Verbindungen tritt allerdings nicht immer zutage.

Messungen an isoliertem Darmgewebe (Zn- und Cu-Aufnahme der Mucosa, serosale Transportrate) wurden ebenfalls zur Erfassung relativer Abstufungen in der Bioverfügbarkeit verschiedener Verbindungen herangezogen. Auch hier erwiesen sich Oxide und Carbonate als niedrig verfügbar, während Sulfate, Chloride und Salze von Carbonsäuren deutlich besser abschnitten und von Komplexen, Chelaten und Proteinaten meist noch übertroffen wurden. Grundsätzlich ist bei dieser *in vitro* Methode jedoch zu beachten, dass aus der Beobachtung einer Einzelsubstanz im gereinigten Darmsegment nur begrenzt auf den komplexen Prozess der Verdauungsvorgänge *in vivo* geschlossen werden kann.

Ein weiteres Verfahren zur Schätzung der Bioverfügbarkeit beruht auf der Verabreichung einer hohen, oralen Einzeldosis der fraglichen chemischen Verbindung und der Messung der Veränderung der Zn- bzw. Cu-Konzentration im Blut im Verlauf der folgenden Stunden. Bei dieser Methode werden homöostatische Gegenregulationen ebenfalls weitgehend umgangen, denn letztere benötigen zumindest im Falle des Zinks etwa 3 bis 4 Tage für die vollständige Adaptation an eine veränderte Versorgungslage. Derartige Kurzzeitversuche ergaben für verschiedene Zinkverbindungen im wesentlichen eine ähnliche Rangordnung der Bioverfügbarkeiten wie in den Zn-Mangelstudien, wobei wiederum die organischen Verbindungen an der Spitze zu liegen scheinen. Wie in Abbildung 7 beispielhaft dargestellt, können die Sulfate hierbei durchaus gut abschneiden, während unter den anorganischen Verbindungen die Oxide eine durchweg niedrige Verfügbarkeit an den Tag legen.

**Abbildung 7: Zeitverlauf des Zn-Gehalts im Blutserum von Pferden nach einmaliger oraler Applikation unterschiedlicher Zn-Verbindungen (WICHERT et al., 2001)**



Im Gegensatz zu den vielen Schätzungen über die relative Abstufung der Bioverfügbarkeiten liegen exakte Messungen am intakten Organismus kaum vor. Dies beruht hauptsächlich auf dem enorm hohen experimentellen Aufwand für die Quantifizierung der wahren Zn- und Cu-Absorption (Isotopentechniken). In den wenigen früheren

Studien zum Spurenelement Zink erreichte Zinksulfat übereinstimmend ein sehr hohes Absorptionspotenzial von etwa 95 %, so dass für eine weitere Steigerung der Bioverfügbarkeit durch organische Zn-Verbindungen nur noch ein unbedeutend kleiner Spielraum verblieb. Diese Befunde scheinen im Widerspruch zu den indirekten Schätzungen der Bioverfügbarkeit zu stehen, die den organischen Zn-Verbindungen eine erkennbare Überlegenheit in der Bioverfügbarkeit zuweisen. Tatsächlich wurden die Zn-Verbindungen in den entsprechenden Isotopenversuchen auf der Basis gereinigter Diäten getestet, in denen keine Komplexbildner wie z. B. Phytat enthalten waren. Dies legt den Schluss nahe, dass die Bioverfügbarkeit einer Zn- und Cu-Verbindung nicht nur eine Eigenschaft der jeweiligen Substanz *per se* ist, sondern auch von Interaktionen mit weiteren Komponenten der Nahrung maßgeblich beeinflusst wird.

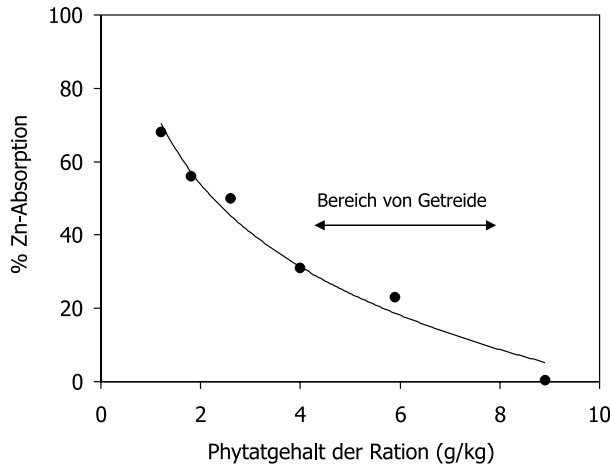
**Ursachen für unterschiedliche Bioverfügbarkeiten von Zn- und Cu-Verbindungen**

Die Löslichkeit einer Zn- und Cu-Verbindungen unter den pH-Bedingungen des Dünndarms ist eine der Variationsursachen der Bioverfügbarkeit und dürfte für die relativ niedrige Einstufung der Zn- und Cu-Oxide und -Carbonate verantwortlich sein. Das Kriterium der Löslichkeit reicht jedoch nicht aus, um die besonders hohe Bioverfügbarkeit der Zn- und Cu-Komplexe, Chelate bzw. Proteinaten gegenüber Sulfaten, Chloriden und andern Salzen mit organischen Säuren zu erklären, denn diese Verbindungen sind ähnlich gut löslich. Vielmehr sind hier weitere Wechselwirkungen mit anderen Nahrungsbestandteilen in Betracht zu ziehen.

In der Praxis zählen Interaktionen mit Phytat zu den quantitativ wichtigsten Störfaktoren der Absorption von Zink und Kupfer. Phytat kommt in allen Körnern und Samen vor und kann in deren Nebenprodukten (z. B. Kleie, Extraktionschrot, Ölkuchen) erheblich angereichert sein. Phytat ist somit ein nahezu ubiquitärer Bestandteil praxisüblicher Rationen für Schweine und für andere monogastrische Nutztiere. Im Zuge der Verdauung bildet Phytat unter dem neutralen pH-Wert des Dünndarms insbesondere mit mehrwertigen Kationen aus der Nahrung unlösliche und damit faktisch unverdauliche Komplexe. Phytat stört auf diese Weise nicht den Prozess der Absorption an der Darmmucosa, sondern entzieht vielmehr Zink und Kupfer dem löslichen Pool des Darmlumens. Diese antinutritive Wirkung von Phytat hat beispielsweise zur Folge, dass der Zn-Bedarf wachsender Jungtiere in einer gereinigten Diät ohne Komplexbildner nur etwa 15 ppm beträgt, während in praxisüblichen, phytatreichen Rationen 50 ppm erforderlich sein können. Dieser Unterschied demonstriert, dass selbst geringe Änderungen im Phytatgehalt des Futters die Verfügbarkeit des Nahrungszinks bzw. -kupfers stark beeinflussen können.

Zn- und Cu-Verbindungen, die selbst als Komplexe und Chelate (im chemischen Sinne) vorliegen, können mit Phytat und anderen starken Komplexbildnern (z. B. Oxalat, Tannine) in Konkurrenz treten und das Zink und Kupfer der Nahrung dadurch vermehrt in Lösung halten. Dieser Schutz vor dem „Angriff“ des Phytats und anderer starker Komplexbildner scheint der Hauptgrund dafür zu sein, dass die Aminosäuren-Komplexe, -Chelate und Proteinaten im Vergleich zu Sulfaten, Chloriden und Salzen mit Monocarbonsäuren eine höhere Bioverfügbarkeit aufzuweisen scheinen. Dies erklärt auch, warum ihre Überlegenheit bei sinkenden Phytatgehalten zusehends abnimmt.

**Abbildung 8: Depression der Absorbierbarkeit von Zink aus Zinksulfat in Abhängigkeit des Gehalts der Nahrung an Phytat (WINDISCH und KIRCHGESSNER, 1999)**



Bei vollkommen phytatfreiem Futter verschwindet die Überlegenheit sogar vollständig und die Absorbierbarkeiten beispielsweise von Zn-Chlorid, Zn-Fumarat und Zn-Histidin liegen gleichermaßen im Bereich um 95 %.

In einer neueren Isotopenstudie wurde eine Diät entwickelt, die den Einfluss nativer Komplexbildner wie Phytat auf die Bioverfügbarkeit des Nahrungszinks simuliert. Unter diesen Bedingungen erreichte die maximal realisierbare Absorbierbarkeit des Nahrungszinks aus Zinksulfat nur 44 % der Zn-Aufnahme, während Zink aus einem Glycin-Komplex sowie aus einem Proteinat mit Werten um 51 % signifikant besser absorbierbar war. Dieser Befund demonstriert, dass Komplexe, Chelate und Proteinat gegenüber den leichtlöslichen anorganischen Verbindungen tatsächlich eine höhere Bioverfügbarkeit aufweisen können, allerdings nicht per se, sondern sekundär über eine unterschiedlich ausgeprägte Interaktionen mit den nativen Komplexbildnern der Nahrung.

**Einfluss mikrobieller Phytasezusätze**

Aus der großen Bedeutung des Phytats für die Bioverfügbarkeit der verfütterten Zn- und Cu-Verbindungen resultiert unmittelbar die Frage, inwieweit der Zusatz mikrobieller Phytase zum Schweinefutter über den primären Zweck der Freisetzung von Phytat-gebundenem Nahrungsphosphor hinaus die Bioverfügbarkeit des nativen und zugesetzten Nahrungszinks und -kupfers verbessert. Einige frühere Befunde deuteten dies bereits an, wenngleich die betreffenden Experimente nur bedingt zur Beurteilung der Zn- und Cu-Bioverfügbarkeit unter praxisüblichen Fütterungsverhältnissen angelegt waren. In einer neueren Studie mit Aufzuchtferkeln wurde dieser Frage jedoch gezielt nachgegangen. Hier hatte die zugesetzte mikrobielle Phytase eine Verbesserung der Bioverfügbarkeit des Nahrungszinks in einer Größenordnung zur Folge, die mit dem Unterschied zwischen der Bioverfügbarkeit organischer Zn-Verbindungen gegenüber Zinksulfat durchaus vergleichbar war. In dieser Studie kam allerdings auch klar heraus, dass der Zusatz von Phytase alleine nicht ausreicht, um den Zn-Bedarf der Ferkel zu

decken und dass auf eine zusätzliche Supplementierung des Futters in der Regel nicht verzichtet werden kann.

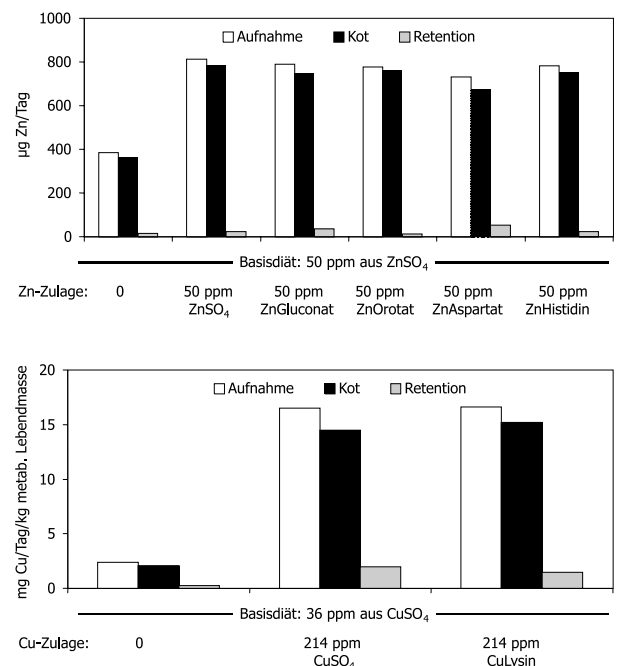
**Schlussfolgerungen**

Insgesamt scheint die Reduzierung der Höchstgehalte an Zink und Kupfer im Schweinefutter unter praxisüblichen Verhältnissen keine nachteiligen Folgen für den Stoffwechsel und das Leistungsvermögen der Tiere zu haben. Dies gilt letztendlich auch für den Verzicht auf die pharmakologischen Sonderwirkungen exzessiver Cu-Dosierungen in der Ferkelaufzucht, denn sie sind durch physiologisch und ökologisch unbedenkliche Maßnahmen ersetzbar (z. B. Einsatz von organischen Säuren).

Mit der Einengung des Spielraums zur Zn- und Cu-Supplementierung des Futters gewinnt die Bioverfügbarkeit der eingesetzten Verbindungen an Bedeutung. Die vereinfachende Polarisierung in anorganische und organische Herkünfte scheint jedoch die Variation der Bioverfügbarkeit nur unzureichend widerzuspiegeln. Zwar weisen Carbonate und insbesondere Oxide tatsächlich niedrige Bioverfügbarkeiten auf. In der Klasse der anorganischen Zn- und Cu-Quellen existieren jedoch auch Verbindungen mit bereits relativ hoher Bioverfügbarkeit (Sulfate, Chloride).

Die Unterschiede in der Bioverfügbarkeit verschwinden schließlich vollständig, sobald der Bedarf der Tiere an Zn und Cu gedeckt ist. So erkennt die Homöostase das Zink und Kupfer unabhängig von dessen ursprünglichen chemischen Bindungsform im Futter und limitiert die Absorption auf dem Niveau des metabolischen Bedarfs. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 9 anhand neuerer Untersuchungen für Zink und Kupfer dargestellt. Vor diesem

**Abbildung 9: Wirkung einer bedarfsüberschreitenden Versorgung mit Zink und Kupfer aus anorganischen und organischen Quellen auf den Zn- und Cu-Stoffwechsel (APGAR und KORNEGAY, 1996; WINDISCH et al., 2002)**



Hintergrund ist die gelegentlich geäußerte Behauptung, organische Verbindungen könnten aufgrund ihrer hohen Bioverfügbarkeit die pharmakologischen Effekte einer exzessiven Zn- und Cu-Dosierung bereits innerhalb der legalen Höchstgehalte im Futter zur Geltung bringen, kritisch zu hinterfragen. Insgesamt ist die Zielgröße für eine physiologisch sinnvolle Zufuhr an Zink und Kupfer über die Nahrung grundsätzlich nicht der zulässige Maximalwert, sondern vielmehr die jeweilige Versorgungsempfehlung.

Für eine auf die Versorgungsempfehlungen abgestimmte Supplementierung des Futters stellen organische Zn- und Cu-Verbindungen durchaus wertvolle Spurenelementträger dar, da sie in Gegenwart von Phytat und anderen starken Komplexbildnern der Nahrung eine ausreichende Zn- und Cu-Zufuhr noch besser garantieren als anorganische Quellen. Dies könnte der Praxis die Minimierung der Zn- und Cu-Gehalte im Schweinefutter auf das Niveau der Versorgungsempfehlungen erleichtern und so zur Reduzierung der Zn- und Cu-Emissionen über die Wirtschaftsdünger auf ein ökologisch nachhaltiges Maß beitragen. In diesem Zusammenhang ist jedoch zu beachten, dass bereits der Austausch von Oxiden und Carbonaten gegen die weit höher verfügbaren Sulfate und Chloride sowie die Supplementierung des Futters mit Phytase ebenso einen signifikanten Beitrag zur Sicherstellung einer bedarfsdeckenden Zn- und Cu-Versorgung und damit zur Minimierung der betreffenden Emissionen aus der Schweinehaltung leisten kann.

#### **Literatur**

Ist auf Anfrage beim Verfasser erhältlich.

Anschrift des Autors:

Prof. Dr. W. Windisch  
Institut für Nutztierwissenschaften  
der Universität für Bodenkultur Wien  
Gregor Mendel-Strasse 33  
A-1180 Wien  
Email: windisch@boku.ac.at