Ernährungsphysiologische Bedeutung von Spurenelementen beim Schwein

von Prof. Dr. J. Pallauf

Themen zur Tierernährung

1985/86

Zusammenfassung der Vortrage der Fachgespräche über ernährungsphysiologische, betriebswirtschaftliche und agrarpolitische Fragen in der Veredelungswirtschaft am 5. 12. 1985 in Dinklage und am 30. 1. 1986 in Cuxhaven.

Ernährungsphysiologische Bedeutung von Spurenelementen beim Schwein

von Prof. Dr. J. Pallauf

Institut für Tierernährung, Universität Gießen

Im Gegensatz zu den Mengenelementen Ca, P, K, Na, Mg, S und Chlorid werden alle jene im Organismus vorkommenden chemischen Elemente, deren Konzentration in der Körperfrischmasse im allgemeinen unter 50 mg pro kg, d. h. unter 50 ppm liegt, als Spurenelemente bezeichnet. Sind diese Elemente für lebensnotwendige biochemische Prozesse unentbehrlich, so müssen sie wie andere Nahrungsfaktoren laufend zugeführt werden und zählen zu den essentiellen Spurenelementen. Ernährungsphysiologisch werden die lebensnotwendigen Spurenelemente auch zu den Wirkstoffen gezählt, futtermittelrechtlich sind sie bekanntlich der Gruppe der Zusatzstoffe zugeordnet.
Nachfolgend sollen diese essentiellen Spurenelemente in ihrer ernährungsphysiologischen Bedeutung beim Monogaster und insbesondere beim Schwein näher betrachtet werden. Nach einem kurzen Rückblick über die Entdeckungsgeschichte der insgesamt 16 bis heute als unentbehrlich erkannten Spurenelemente sollen die 6 für das Schwein wichtigsten Spurenelemente, nämlich Eisen, Jod, Kupfer, Mangan, Selen und Zink, im einzelnen behandelt werden. Neben dem beispielhaften Aufzeigen biochemischer Funktionen einerseits und Mangelsymptomen bei defizitärer Versorgung andererseits liegt der Schwerpunkt dabei auf dem Studium des optimalen Bedarfes des Schweines an den einzelnen Elementen. Da grundlegende Modellstudien zu Funktion, Stoffwechsel und Versorgungslage einzelner Spurenelemenelemente häufig an Labortieren, wie z. B. der Ratte, durchgeführt wurden, sollen auch aus diesem Forschungsbereich Aspekte einfließen.

1. Entdeckung der Essentialität von Spurenelementen

In Tabelle 1 sind die nach derzeitiger wissenschaftlicher Kenntnis als essentiell anzusehenden Elemente in der Chronologie ihrer Entdeckung aufgeführt (Literatur bei KIRCHGESSNER et al., 1985a; PALLAUF 1982). Seit mehreren Jahrhunderten ist die Notwendigkeit von Eisen bekannt, dessen ausreichende Zufuhr bei Saugferkeln auch heute noch keineswegs immer gesichert ist. Die Unentbehrlichkeit

Tab. 1 Entdeckungszeitpunkte der bisher bekannten lebensnotwendigen Spurenelemente

Element	entdeckt	Element	entdeckt
1. Eisen (Fe)	17.Jahrh.	9. Chrom (Cr)	1959
2. Jod (I)	1820	10. Zinn (Sn)	1970
3. Kupfer (Cu)	1928	11. Vanadium (V)	1971
4. Mangan (Mn)	1931	12. Fluor (F)	1972
5. Zink (Zn)	1934	13. Silicium (Si)	1972
6. Kobalt (Co)	1935	14. Nickel (Ni)	1974
7. Molybdän (Mo)	1953	15. Blei (Pb)	1974
8. Selen (Se)	1957	16. Arsen (As)	1976

von Jod ist ebenfalls schon lange bekannt. Alle übrigen 14 essentiellen Spurenelemente sind in ihrer ernährungsphysiologischen Bedeutung für die Tierernährung und damit auch für das Schwein erst innerhalb der vergangenen 6 Jahrzehnte entdeckt worden. Die Notwendigkeit von Cu, Mn und Zn wurde erstmals von einer Forschergruppe in Madison/Wisconsin anhand des Wachstums von Labortieren entdeckt. Dort gelang es bereits frühzeitig, mit gereinigten halbsynthetischen Diäten und entsprechenden Vitaminergänzungen durch das Weglassen eines bestimmten Spurenelementes spezifische Mangelsymptome zu erzielen, die bei Zulage des fehlenden Elementes nicht auftraten bzw. wieder verschwanden. Aus heutiger Sicht ist für den Nachweis der Essentialität eines Elementes darüber hinaus auch noch erforderlich, daß die Verarmung (Depletion) des Organismus an dem getesteten Element auch wiederholbar zu identischen, biochemisch zumindest pauschal meßbaren Stoffwechselstörungen führt.

Eine spezifische biochemische Funktion auf molekularer Ebene hingegen wurde, wenn bislang überhaupt, für die einzelnen Elemente meist erst später entdeckt. Lediglich für Molybdän wurde der essentielle Charakter 1953 durch den Nachweis, daß Mo Bestandteil des Enzymes Xanthinoxidase ist, unmittelbar auf biochemischem Wege erbracht.

Kobalt ist nach bisheriger Kenntnis neben seiner lebenswichtigen Funktion als Zentralatom im Corrinsystem des Vitamin B12 noch bei unspezifischen Aktivierungsreaktionen verschiedener Enzyme wirksam. Zur Synthese von B12 sind in der Ökosphäre ausschließlich Mikroorganismen - z. B. im Pansen des Wiederkäuers oder eingeschränkt auch im Dickdarm des Monogasters - befähigt. Das Schwein ist somit auf die Zufuhr an B12 und weniger oder möglicherweise kaum auf eine Versorgung mit Co in anderen chemischen Bindungsformen angewiesen.

Für das Spurenelement Selen wurde 1957 zunächst eine es-

sentielle Funktion als Schutzfaktor gegen die Lebernekrose der Ratte entdeckt. Seit 1973 ist bekannt, daß die Glutathionperoxidase der Erythrocyten ein Se-haltiges Enzym darstellt (ROTRUCK et al. 1973).
Chrom ist in dreiwertiger Form essentiell für den Kohlenhydratstoffwechsel und wurde in organischer Bindung als Glucosetoleranzfaktor beschrieben.
Die Essentialität von Sn, V, F, Si, Ni, Pb und As wurde erst in den 70er Jahren mittels hochgereinigter Diäten an Labortieren hinreichend nachgewiesen. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt fehlen für diese neuen essentiellen Spurenelemente Hinweise auf eine mögliche mangelnde Versorgung des Schweines unter praktischen Fütterungsbedingungen. Mit Ausnahme von Nickel (KIRCHGESSNER et al., 1983) liegen für diese Elemente auch noch kaum Untersuchungen zum quantitativen Bedarf des Schweines vor.

2. Spurenelementgehalt der Sauenmilch

In Tabelle 2 sind nach verschiedenen Angaben aus der neueren Literatur zusammengefaßte Spurenelementgehalte der reifen Sauenmilch wiedergegeben. Seit langem bekannt ist der gemessen am Bedarf des rasch wachsenden Ferkels völlig unzureichende Fe-Gehalt der Sauenmilch. Relativ hoch und ganz im Gegensatz zu Fe gut durch die Fütterung der Zuchtsau zu beeinflussen ist hingegen der Jod-Gehalt der Sauenmilch. Auch die Gehalte an Cu und Zn sind als relativ gut anzusprechen.

Tab. 2 Spurenelemente in der reifen Sauenmilch

Element	Gehalte in mg je kg Sauenmilch
Cu	0,8 - 2,0
Fe	1,2 - 1,8
I	0,3 - 0,6
Mn	0,10
Mo	0,04
Ni	0,1 - 0,2
Se	0,02 - 0,05
Zn	4,0 - 6,0

Der Effekt unterschiedlicher Spurenelementzufuhr an Sauen auf die Konzentration von Zn, Cu, Ni und Mn in der Sauenmilch im Verlaufe der Laktation wurde in jüngerer Zeit von KIRCHGESSNER et al. (1980b) untersucht. Die Sauen ohne Zulage wiesen in diesem Versuch eine während Trächtigkeit und Laktation unter dem Bedarf liegende Zufuhr an den untersuchten Elementen auf, während die Gruppe mit Zulage etwa in 3-4 facher Höhe des Bedarfes versorgt wurde. Für den Zinkgehalt der Milch wurde dabei ein durchgehend positiver Einfluß einer alimentären Zulage festgestellt. Bei Mn traf dies nur für das Colostrum und die ersten Tage post partum zu. Die Gehalte der Sauenmilch an Cu und Ni hingegen wurden gegenüber der Kontrollgruppe zu keinem Zeitpunkt durch alimentäre Zulagen erhöht. Die Colostralmilch weist im Vergleich zur reifen Milch insgesamt einen stark erhöhten Gehalt an Zn sowie einen leicht erhöhten Gehalt an Cu, jedoch niedrigere Gehalte an Ni und Mn auf (KIRCHGESSNER et al., 1980b und 1982a).

3. Methodik der Bedarfsermittlung und Bezugsbasis für Bedarfsangaben

Beim Schwein wurden bisher Bedarfsgrößen sowie Empfehlungen zur Versorgung mit Spurenelementen meist aus Ergebnissen von Wachstumsversuchen,sonstigen Dosis-Wirkungs-Versuchen oder auch aus Bilanzstudien abgeleitet. Für die faktorielle Ermittlung des Bedarfes reichen die experimentellen Daten vielfach noch nicht aus. Zwar liegen neuere Ergebnisse zur Retention von Spurenelementen beim wachsenden und graviden Schwein sowie zum Gehalt in der Sauenmilch vor, die Angaben über endogene Verluste sowie zur Verwertung der Spurenelemente aus der Nahrung sind jedoch vielfach noch sehr lückenhaft. Aus Gründen der Praktikabilität erfolgen Angaben zum Spurenelementbedarf überwiegend in mg/kg lufttrockenen Futters (NRC, 1979) oder in mg/kg Futtertrockenmasse (ARC, 1981). Der Bezug des Erhaltungsbedarfes auf die Einheit Lebendmasse und Tag sowie die Angabe des Leistungsbedarfes je kg Zuwachs oder je kg Sauenmilch wären zwar wissenschaftlich exakter, dürften jedoch im konkreten Fall schwieriger in die Praxis umzusetzen sein. Die Angabe der erforderlichen Spurenelementkonzentration im Futter unterstellt dabei eine bedarfsgerechte Energie- und Nährstoffdichte dieses Futters bei kalkulierbarer Trockenmasseaufnahme je Tier und Tag anhand Fütterung ad libitum oder auch restriktiver Fütterung. Da auch lufttrockenes Futter teilweise schwankende Wassergehalte aufweist sowie aufgrund zunehmender Bedeutung der Flüssigfütterung erscheint es zweckmäßig, die Trockenmasse (TM) des Futters als einheitliche Bezugsbasis für den Spurenelementbedarf zu wählen.

4. Bedarfsstudien und Empfehlungen zur Versorgung des Schweines mit Spurenelementen

4. 1 Eisen

Den in der Literatur vorzufindenden Empfehlungen zur Eisenversorgung des Schweines (z. B. NRC, 1979; ARC, 1981) liegt als Bedarfskriterium meist der Hämoglobingehalt des Blutes zugrunde. Dessen Normalwert wird mit 10 g/100 ml, teilweise aber auch mit 11-12 g/100 ml Blut genannt (UNDERWOOD, 1981). Der Grenzwert von 8 g/100 ml gilt teilweise als Maßstab für Mindestempfehlungen zum Eisenbedarf. Nach neueren Ergebnissen kommt jedoch dem Hämoglobin als Sauerstoffüberträger eine Präferenz im Eisenstoffwechsel zu. Beim latenten Eisenmangel ist somit eine deutliche Reaktion von Hämoglobin und Hämatokrit noch nicht zu erwarten (BOLLWAHN et al., 1983). Andere Parameter wie Eisenbindungskapazität, Serumeisen und prozentuale Transferrinsättigung weisen hingegen teilweise akzentuiertere Veränderungen auf. Bei Ferkeln mit ausgeprägtem Eisenmangel fiel allerdings der Hb-Spiegel des Blutes schneller und stärker ab, als die ebenfalls empfindlich reagierende Katalaseaktivität (GRASSMANN u. KIRCHGESSNER, 1973).

4. 1. 1 Eisenbedarf und Eisenversorgung von Saugferkeln und Aufzuchtferkeln

Saugferkel sind sowohl aufgrund ihrer geringen Eisenreserven bei der Geburt als auch aufgrund des bereits dargelegten niedrigen Fe-Gehaltes der Sauenmilch einerseits sowie hoher Wachstumsintensität andererseits extrem anämiegefährdet. Eine besonders reichliche Fe-Versorgung von Zuchtsauen bleibt dabei ohne Wirkung auf die Eisendepots der neugeborenen Ferkel und den Fe-Gehalt der Sauenmilch (UNDERWOOD, 1981) und kann den postnatalen Hb-Abfall unbehandelter Ferkel nicht verhindern (KIRCHGESSNER und PALLAUF, 1973a). Die hypochrome mikrozytäre Fe-Mangelanämie schwächt Vitalität, Wachstum und Immunabwehr der Ferkel. Unter anderem wurde bei Eisenmangel eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber Endotoxinen von Escherichia coli (OSBORNE und DAVIS, 1968) nachgewiesen.
Der Gesamtbedarf des Saugferkels innerhalb der ersten drei Lebenswochen wird im allgemeinen mit 250-350 mg Fe angenommen (BECKER und TOWLERTON, 1979). Das neugeborene Ferkel weist einen Eisengehalt von etwa 50-60 mg auf (NRC, 1979; BOLLWAHN et al., 1983). Davon sind jedoch nur knapp 12 mg aus den Eisenspeichern verfügbar. Die Wiederverwertung von Eisen aus dem Zerfall von Erythrozyten bleibt auf rund 1 mg/Tag beschränkt. Zur Deckung des Defizites während der Säugezeit wird heute im allgemeinen

eine parenterale Gabe von mindestens 200 mg Fe pro Ferkel, in der Regel als Fe-Dextran, am 2. bis spätestens 4. Lebenstag empfohlen. Prinzipiell kann die zusätzliche Fe-Versorgung jedoch auch über Fe-reiche, hygienisch einwandfreie Erde oder über orale Gaben von geeigneten Fe-Präparaten, z. B. gut verfügbaren Fe-Chelatkomplexen, erfolgen. Die einmalige orale Applikation von 400 mg Fe als Fumaratkomplex am 4. Lebenstag erreichte allerdings, wie Abb. 1 anhand umfangreicher eigener Untersuchungen unter den Bedingungen einer praxisüblichen Saugferkelbeifütterung zeigt, nicht ganz die Langzeitwirkung einer Injektion von 200 mg Fe als Fe-Dextran (PALLAUF und KIRCHGESSNER, 1973). Gegenüber der unbehandelten Gruppe wurde jedoch ein sehr deutlicher Effekt erzielt. Durch die einmalige orale Gabe von 600 mg Fe als Fumarat konnte in weiteren Untersuchungen gegenüber 400 mg Fe-Fumarat kein zusätzlicher positiver Effekt in der Anämieprophylaxe erzielt werden (KIRCHGESSNER und PALLAUF, 1973b). Die orale Verabreichung von 315 mg Fe als Fumarat in Form von Eisen-Depot-Tabletten an 4 Tage alte Saugferkel hingegen ergab eine gute Langzeitwirkung (KIRCHGESSNER und WEIGAND, 1974/75).

Wie neuerdings BOLLWAHN et al. (1983) zeigten, sind jedoch selbst 200 mg Eisen i. m. für hohe Wachstumsintensitäten nicht immer ausreichend. Der Tagesbedarf steigt bei Zunahmen von 200-260 g/Tag auf etwa 11 mg Eisen. In diesen Fällen ist deshalb eine erhöhte einmalige parenterale Applikation bzw. eine wiederholte Eisengabe zu einem späteren Zeitpunkt empfehlenswert.

In der Literatur wurde auch versucht, den Eisenbedarf des Ferkels faktoriell abzuleiten (ARC, 1981). Ausgehend von

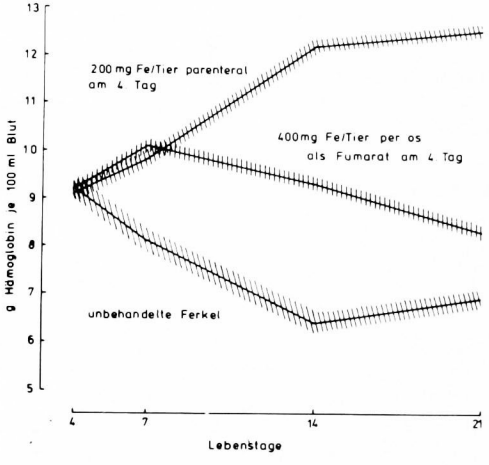

Abb. 1 Verlauf der Hämoglobingehalte von Wurfgeschwistern in Abhängigkeit von der Eisenapplikation (PALLAUF UND KIRCHGESSNER, 1973)

einem - allerdings minimalen - Hämoglobinwert von 8 g/100 ml Blut während der Wachstumsphase wird dabei für das Ferkel mit 5 kg LM ein Blutvolumen von 7 % des Lebendsgewichtes veranschlagt. Da das Hämoglobinmolekül 0,34 % Eisen enthält, errechnen sich bei dem unterstellten Hb-Spiegel von 8 g/100 ml Blut 19 mg Fe je kg Zunahme als Nettobedarf für die Hb-Synthese (70 g x 0,08 x 0,0034 = 0,019 g). Da weiterhin unterstellt wird, daß etwa 90 % des absorbierten Eisens im Blut erscheinen (ARC, 1981), erhöht sich der Bedarf auf 21 mg absorbiertes Fe je kg Zunahme. Bei einer unterstellten täglichen Zunahme an Lebendmasse von 270 g (ARC, 1981) werden somit mindestens 6 mg Eisen netto benötigt. Die Verwertung des alimentären Fe wird dabei mit 60 % angenommen. Damit läge der Bruttobedarf bei 10 mg Fe pro Tier und Tag. Bei ebenfalls unterstellter Futteraufnahme von 370 g Trockenmasse/Tag für das Ferkel mit 5 kg Lebendmasse ergibt sich somit eine erforderliche Eisenkonzentration von mindestens 27 mg pro kg Trockenmasse. Aufgrund von erheblichen Unsicherheiten in dieser Kalkulation werden jedoch vom ARC (1981) selbst 60 mg Fe/kg TM empfohlen. Diese Richtzahl gilt dabei für alle Nutzungsrichtungen, ist jedoch nicht ausreichend, die Eisenspeicher anämischer Ferkel aufzufüllen. Auch der unterstellte Hb-Spiegel von 8 g/100 ml erscheint zu niedrig bemessen. Außerdem werden nach anderen Untersuchungen beim Ferkel (MATRONE et al., 1960) nur 30 % des Nahrungseisens für die Hb-Synthese verwendet. Andere Bedarfsangaben für Ferkel liegen deshalb auch mit 80–150 mg Fe/kg Futter (NRC, 1979) wesentlich höher.
Nach heutiger Kenntnis sollten im Ergänzungsfutter (Beifutter) für Saugferkel 120 mg Fe/kg TM und im Milchaustauscher sowie im Ferkelaufzuchtfutter jeweils 100 mg Fe/kg Futtertrockenmasse nicht unterschritten werden. Ab 10–15 kg Lebendmasse der Ferkel hingegen dürften 80 mg Fe/kg Futter-TM ausreichend sein.

4.1.2 Eisenbedarf von Mast- und Zuchtschweinen

Der Eisenbedarf von Mastschweinen dürfte mit 50–60 mg/kg Futter-TM gedeckt sein. Bei Mastrationen mit Sojaschrot wurde bei Fe-Gehalten von 57 bzw. 82 mg/kg Futter eine Fe-Retention von 39 % bzw. 25 % der Aufnahme gemessen (LAVORENTI, 1972). Bei Deckebern sowie für laktierende bzw. gravide Zuchtsauen wird laut NRC (1979) ein Fe-Bedarf von 80 mg/kg Futter unterstellt. Jüngste Ergebnisse aus Bilanzstudien (ROTH-MAIER et al., 1985) führen ebenfalls zu Empfehlungen von 80 mg Fe je kg Futter-TM bei laktierenden Sauen, während für gravide Sauen 90 mg Fe je kg Futter-TM empfohlen werden.
Insgesamt dürfte der alimentäre Fe-Bedarf insbesondere bei

Zuchtschweinen durch die nativen Gehalte der unter praktischen Bedingungen eingesetzten Futterkomponenten nicht immer voll gedeckt sein, so daß sich ebenso wie auch im Ferkelfutter Fe-Zusätze empfehlen.

4.2 Jodbedarf und Jodversorgung

In der praktischen Schweinefütterung wurde in den zurückliegenden Jahren jodreiches Fischmehl mehr und mehr durch pflanzliche Eiweißträger ersetzt. Teilweise kommen auch vermehrt Futtermittel mit goiterogenen Inhaltsstoffen, wie z. B. Isothiocyanate im Rapsschrot, zum Einsatz, die einen relativen Jodmangel verursachen können.
In Rationen ohne goiterogene Substanzen werden heute für Ferkel und Mastschweine 0,15 mg Jod/kg TM empfohlen. Für Sauen dürften wegen der Bedeutung des Jodes für die Fruchtbarkeit und der hohen Jodausscheidung über die Milch mit 0,5–0,6 mg Jod/kg Futter-TM wesentlich höhere Richtwerte für die optimale Versorgung angezeigt sein.

4.3 Kupferbedarf und Kupferversorgung

Die biochemische Rolle des Kupfers in vielen wichtigen Enzymen, wie Superoxid-Dismutase, Cytochrom-c-Oxidase, Uricase, Tyrosinase und Coeruloplasmin läßt erkennen, daß auch ein Kupfermangel zu schweren Stoffwechselstörungen führen muß.
Der Cu-Ansatz von Saugferkeln bis zur 4. Lebenswoche wurde mit 2 mg pro kg Lebendmasse ermittelt (MEYER, 1978). Bei frühentwöhnten Ferkeln mit 11 kg Lebendmasse wurden mittlere Cu-Gehalte von 1,5 mg je kg Ganzkörper analysiert (KIRCHGESSNER und MÜLLER, 1974). Die Verwertung des Kupfers aus der Sauenmilch wurde von MEYER (1978) mit 60 %, die aus dem angebotenen Beifutter mit 30 % angenommen. In anderen Untersuchungen wurde bei 5,6 mg Cu/kg einer Caseindiät eine Verfügbarkeit von 61 % (OKONKWO et al., 1979) gemessen.
Der Cu-Gehalt der Sauenmilch (0,8–2,0 mg/kg Frischmasse) erscheint für die beiden ersten Lebenswochen ausreichend (MEYER, 1978). Der Cu-Bedarf steigt dabei von rund 0,4 mg/Tag in der ersten Woche auf 1,4 mg/Tag in der 4. Lebenswoche. Mit steigender Beifutteraufnahme wird sodann die Cu-Versorgung zunehmend durch diese Quelle gedeckt. Die Ergänzung einer oralen Gabe von 400 mg Fe als Fumarat am 4. Lebenstag mit 10 bzw. 50 mg Cu als Sulfat bzw. Fumarat ergab keinen zusätzlichen Effekt bei der Anämieprophylaxe (KIRCHGESSNER und PALLAUF, 1973b). Anhand verschiedener Parameter (Coeruloplasminaktivität, Plasma-Cu, Hb-Gehalt, Zunahme an Lebendmasse, Cu-Bilanz) konnten 5,6 mg Cu pro kg einer Caseindiät als ausreichend für Stoffwechsel und Wachstum des 2–8 Wochen alten, frühent-

wöhnten Ferkels nachgewiesen werden (OKONKWO et al., 1979).
Beim Mastschwein liegt die Problematik der Kupferversorgung heute weniger in der Frage der Unterversorgung, sondern mehr im Einsatz hoher Cu-Gaben mit leistungsfördernder Wirkung. Da die Wachstumsintensität im Vergleich zum Ferkel abnimmt, ist der Kupferbedarf des Mastschweins etwas niedriger als für das Ferkel anzusetzen. Im ersten Mastabschnitt dürften 5 mg Cu/kg Futter-TM und für die Endmast 4 mg/kg TM den Bruttobedarf hinreichend sicher decken.
In Ferkelaufzucht und Schweinemast werden jedoch aufgrund ihrer wachstumsfördernden Wirkung teilweise den ernährungsphysiologischen Bedarf um ein Vielfaches übersteigende Zulage von 100–175 mg Cu je kg Futter eingesetzt. Aufgrund des Ionenantagonismus, vor allem auf der Ebene der Absorption, kann dies bei marginaler Zufuhr an anderen essentiellen Elementen zu Mangelsituationen führen. So konnten in britischen Untersuchungen nur durch die gleichzeitige Zulage von 150 mg Fe sowie 150 mg Zn je kg Futter die bei hohen Cu-Zulagen auftretenden Schäden behoben werden (SUTTLE und MILLS, 1966).
Für güste und gravide Sauen wurde bei einem zugrundeliegenden Alleinfutterverzehr von 2 kg je Sau und Tag ein Kupferbedarf von 6 mg/kg abgeleitet (KIRCHGESSNER et al., 1981). Da sich der Kupferansatz in den Konzeptionsprodukten mit 2,4 % des faecal und renal exkretierten Cu als relativ gering erwies, wird zwischen güsten und graviden Sauen nicht unterschieden. Die Verwertung des Nahrungskupfers geht in dieser Bedarfsableitung mit 30–50 % ein (KIRCHGESSNER et al., 1981). In vorausgegangenen Untersuchungen fanden KIRCHGESSNER et al. (1980c) bei Kupfergaben von 9,5 mg/kg Futter an trächtige Zuchtsauen einen Anteil an Totgeburten von lediglich 2 %, während im Vergleich dazu unterversorgte Muttertiere (2 mg Cu/kg Futter) mit im Mittel 16 % Totgeburten wesentlich höher lagen.
Bei der laktierenden Sau wird bei einer unterstellten mittleren Verwertung des alimentären Kupfers von 40% eine Zufuhr von 10 mg Cu/kg Futter-TM empfohlen (KIRCHGESSNER et al., 1983). Der native Gehalt der verwendeten Futterkomponenten dürfte dabei nicht immer ausreichend sein, so daß ein Cu-Zusatz empfehlenswert erscheint.

4.4 Manganbedarf und Manganversorgung

Tabelle 3 zeigt Charakteristika von 3 Mn-Metalloenzymen (KEEN et al., 1984). Besonders deutlich auf einen Mn-Mangel reagiert die Arginase der Lebermitochondrien. Über die Aktivität der Pyruvatcarboxylase hingegen werden im Mn-Mangel bislang widersprüchliche Ergebnisse berichtet. Die

Tab. 3 Mn-Metalloenzyme

Arginase:	- MG 120.000, 4 Mol Mn^{++} je Mol Enzym - Harnstoffcyclus (Mitochondrien Leber) - im Mn-Mangel stark reduzierte Aktivität
Pyruvat-carboxylase:	- MG 500.000, 4 Mol Mn^{++} je Mol Enzym - Bildung von Oxalacetat (Leber, Niere) - im Mn-Mangel auch durch Mg^{++} aktiviert - Aktivität im Mn-Mangel widersprüchlich
Superoxid-dismutase:	- MG 80.000, 4 Mol Mn^{+++} je Mol Enzym - Umwandlung von Superoxidradikalen zu H_2O_2 (vorwieg.Mitochondrienmatrix Gewebe) - im Mn-Mangel verminderte Aktivität

dreiwertiges Mn enthaltene Superoxiddismutase wiederum zeigt unter den Bedingungen des Mn-Mangels nach bisherigen Berichten aus der Literatur verminderte Aktivität. Die wichtigsten schon seit langem beim Schwein beschriebenen Mn-Mangelsymptome (z. B. PLUMLEE et al., 1956) sind in Tabelle 4 wiedergegeben. Im Vordergrund stehen dabei Störungen des Knochenwachstums, des Kohlenhydratstoffwechsels und der Reproduktionsleistung.

In der Literatur wird der Manganbedarf des Ferkels mit 4–16 mg/kg TM (ARC, 1981) angegeben. Mit halbsynthetischen Rationen wurden allerdings teilweise bereits bei 0,4 mg Mn/kg gute Leistungen erzielt (LEIBHOLZ et al., 1962). Eine Casein-Diät mit 0,56 mg Mn/kg führte nach 6 Wochen gegenüber der Kontrollgruppe (22 mg Mn/kg Diät) zu reduzierten Mn-Gehalten in Blutserum und verschiedenen Geweben sowie einer Abnahme der Aktivität der Leberarginase, ohne daß jedoch die Entwicklung der Lebendmasse negativ beeinflußt war (BURCH et al., 1975). Aus früheren Untersuchungen mit synthetischen Rationen wurde ein Mindestbedarf von 1,5 mg Mn/kg abgeleitet (PLUMLEE et al., 1956). Anhand von Bilanzstudien wurde der Manganbedarf

Tab. 4 Mangan-Mangelsymptome beim Schwein

1. Störungen des Knochenwachstums
2. Gelenksverdickungen
3. Ataxie, z.T. Lahmheit u. Steifheit
4. Verfettung
5. Reproduktionsstörungen
6. erhöhte Mortalität der Ferkel

im Bereich von 3–6 mg/kg Futter angesetzt (KAYONGO-MALE et al., 1975). Bei einem Mn-Gehalt der Ration von 2,7 mg/kg wurde dabei eine Retention des mit der Nahrung aufgenommenen Mangans von 36 % und bei über 6 mg/kg von unter 25 % gemessen.
Unter Berücksichtigung möglicher Verwertungsstörungen in praktischen Rationen und bisheriger experimenteller Unsicherheiten erscheinen für eine entsprechende sichere Versorgung des rasch wachsenden Ferkels 15–20 mg Mn/kg Futter-TM empfehlenswert. Da Manganmangel unter anderem eine Ursache für das Beinschwächesyndrom darstellen kann, dürfte für das Mastschwein eine Versorgungsempfehlung von 20 mg/kg TM bis zum Vorliegen genauerer experimenteller Daten ratsam sein. Für güste und gravide Sauen wurde anhand von Bilanzuntersuchungen bei einer Aufnahme von 2 kg Alleinfutter und einer unterstellten Verwertung des Nahrungsmangans von 30 % ein Mangan-Bedarf von 25 mg/kg abgeleitet (KIRCHGESSNER et al., 1981). Aufgrund des niedrigen Mn-Gehaltes der Sauenmilch (0,10 mg/kg) wurde bei einer unterstellten Verzehrsmenge von 6,5 kg Alleinfutter und einer Manganverwertung für die Milchsynthese von 30–50 % ein Bedarf von 10 mg Mn/kg Alleinfutter ermittelt (KIRCHGESSNER et al., 1983). Unter Berücksichtigung möglicher Schwankungen in der Futteraufnahme sowie der Verwertung des alimentären Mangans unter praktischen Rationsbedingungen dürfte es jedoch empfehlenswert sein, auch für die laktierende Sau Gehalte von 20–25 mg Mn/kg Alleinfutter-TM vorzusehen. Damit wäre eine Angleichung an die Empfehlungen für güste und gravide Sauen gegeben.
Gute native Manganquellen stellen Nachprodukte der Getreidemüllerei dar, besonders arm an Mangan hingegen sind neben Maniok auch Mais und Gerste. Vom Tier stammende Futtermittel weisen ebenfalls relativ geringe Mn-Gehalte auf, da die Mn-Konzentration des tierischen Organismus mit im Mittel nur 0,2–0,3 mg Mn je kg Körpermasse z. B. um eine Zehnerpotenz niedriger liegt als die Zn-Konzentration. Je nach Komponentenwahl dürfte ein Mn-Zusatz zu Schweinemischfutter angezeigt sein.

4.5 Selenbedarf und Selenversorgung

Zum Selenbedarf von Ferkeln und Mastschweinen fanden sich in der Literatur bisher überwiegend Angaben von 0,1 – 0,15 mg Se/kg Futter. Aus Natriumselenit wurde Selen bei 0,15 mg Gesamt-Se pro kg Futter zu etwa 60 % retiniert (GROCE et al., 1971). Anhand umfangreicher Praxisversuche an Schweinen wird über positive Wirkungen einer Selenzulage von 0,6 mg/kg Futter zu mittleren nativen Gehalten von 0,1–0,2 mg Se/kg TM berichtet (WIESNER et al., 1979).

Bei marginaler Selenzufuhr zeigte die Kreatinphosphokinase bereits vor dem Auftreten sichtbarer Mangelsymptome eine pathologisch erhöhte Aktivität. Durch die Zufuhr von Se als Natriumselenit konnte dies verhindert werden.
Die Aufnahme von Selen aus der Sauenmilch (0,02–0,05 mg Se/kg) ist beim Ferkel wahrscheinlich nicht bedarfsdekkend. Die Selenreserven des Ferkels weisen während der Säugezeit und bis zur 10. Lebenswoche eine sinkende Tendenz auf (MAHAN et al., 1977). In neueren Arbeiten wurde für Absatzferkel ein Selenbedarf von 0,2 mg (VAN VLEET, 1981) bzw. bis zu 0,35 mg (MEYER et al., 1981) je kg Futter ermittelt. Bei weitgehender Ausschöpfung des genetischen Leistungspotentials anhand der heute üblichen Rationen mit hoher Energie- und Nährstoffdichte sowie vielfach hohen Gehalten an Polyenfettsäuren dürfte ein Se-Gehalt von 0,2–0,3 mg/TM im Saugferkelbeifutter wie auch im Ferkelaufzuchtfutter und ein Se-Gehalt von 0,20 mg/kg TM im Futter von Mastschweinen empfehlenswert sein.
Im Alleinfutter für Sauen erscheinen nach heutiger Kenntnis auch im Hinblick auf die Stabilisierung der Selengehalte in der Sauenmilch 0,15–0,20 mg Se/kg Futter-TM empfehlenswert.
Eine reichliche native Selenquelle stellt Fischmehl dar, während Mais, Maniok und Weizen in der Regel besonders niedrige Selengehalte aufweisen. In vielen Mischfuttermitteln für Schweine dürfte ein Zusatz von Se als Na_2SeO_3 empfehlenswert sein. Da die Toleranzgrenze jedoch bereits bei 2 mg Se je kg Futter erreicht wird und 7 mg/kg als toxisch gelten, ist bei der Selensupplementierung besondere Sorgfalt geboten.

4.6 Zink

4.6.1 Historische und ernährungsphysiologische Aspekte

Wenige Jahre nach der Entdeckung von Zn als essentiellem Nahrungsfaktor (TODD et al., 1934) erschien eine Arbeit von HOVE et al (1937), in der ein Bedarf der wachsenden Ratte von 40 µg je Tag, entsprechend etwa 4 mg/kg Futter, abgeleitet wurde. Dieser aus heutiger Sicht viel zu niedrig angesetzte Zinkbedarf war sicherlich mit ein Grund dafür, daß Zinkmangelsituationen unter Berücksichtigung der vergleichsweise wesentlich höheren Bruttogehalte in Futtermitteln von seiten der Tierernährungsforschung längere Zeit für unbedeutend, wenn nicht gar unmöglich gehalten wurden. Erst vor 3 Jahrzehnten konnte gezeigt werden, daß die bis dahin vorwiegend bei Mais-Soja-Rationen häufig aufgetretene und als besonders rätselhaft geltende Parakeratose des Schweines durch Zinkzulagen zu heilen ist (TUCKER und SALMON, 1955). Aus einer Vielzahl anschließender Arbeiten zeigte sich sehr bald, daß der Zinkbedarf des Schweines

sehr erheblich vom Phytingehalt und auch vom Calciumgehalt der Ration beeinflußt wird.
Wie Tabelle 5 zeigt, gibt es eine Vielzahl von Metalloenzymen, in denen Zink ein integraler Bestandteil ist. Ein Teil dieser Enzyme reagiert auf Zinkmangel frühzeitig mit erheblichen Aktivitätsverlusten. So kann beispielsweise die alkalische Phosphatase in Blutserum oder Knochen unter bestimmten Bedingungen als sensibler Parameter der Zn-Versorgungslage dienen. Empfindliche biochemische Kriterien sind vor allem wichtig, um suboptimale Versorgungssituationen bereits frühzeitig aufzuspüren, lange bevor klinische Mangelsymptome und schwere wirtschaftliche Schäden auftreten. Die Aufstellung zeigt aber auch, daß es einige Zn-Enzyme gibt, die auf Zn-Mangel erst sehr spät oder gar nicht meßbar reagieren.
Neben den Metalloenzymen gibt es eine Reihe wichtiger Metall-Enzymkomplexe in denen Zink eine aktivierende Funktion ausübt, die jedoch keineswegs immer streng spezifisch für Zink ist. Häufig können hier auch andere zweiwertige Kationen wie Mn, Cu, Pb, Fe, Cd oder Co diese Funtion ganz oder zumindest teilweise übernehmen.

Tab. 5 Zink-Metalloenzyme (KIRCHGESSNER et al., 1982b)

Enzyme	EC-Nr.	Aktivitäts-änderung*)	Beispiele für Vorkommen
Alkohol-Dehydrogenase	1.1.1.1	-	Leber, Fettgewebe, Lunge
Glutamat-Dehydrogenase	1.4.1.3	o	Leber, Großhirn, Nieren, Herzmuskel usw.
Malat-Dehydrogenase	1.1.1.37	o	Groß- u. Kleinhirn, Fettgewebe, Leber, Pankreas usw.
Lactat-Dehydrogenase	1.1.1.27	o	Groß- u. Kleinhirn, Fettgewebe, Herzmuskel, Nieren, Leber, Pankreas usw.
Glycerinaldehyd-phosphat-Dehydrogenase	1.2.1.13		Muskel
RNA-Polymerase	2.7.7.6	-	Leber, Nieren
DNA-Polymerase	2.7.7.7	-	Leber, Nieren
Alkalische Phosphatase	3.1.3.1	-	Knochen, Mucosa, Serum, Nieren
Leucin-Aminopeptidase	3.4.1.1		Nieren
Carboxypeptidase A	3.4.2.1	-	Pankreas
Carboxypeptidase B	3.4.2.2	-	Pankreas
Dipeptidase	3.4.3.-	-	Nieren
AMP-Aminohydrolase	3.5.4.6		Muskel
Carboanhydrase	4.2.1.1	-	Erythrozyten
σ-Aminolävulinsäure-Dehydratase	4.2.1.24	-	Erythrozyten

*) o = unverändert bei Zink-Mangel
- = reduziert bei Zink-Mangel

4.6.2 Experimentelle Studien zum Zinkbedarf bei Labortieren

Einige grundsätzliche Zusammenhänge zwischen Zinkversorgung und Bedarfskriterien sollen nachfolgend anhand von Untersuchungen an der Ratte (PALLAUF und KIRCHGESSNER, 1976; PALLAUF, 1983) und am Kaninchen (SCHWARZ, 1985; PALLAUF und SCHWARZ, 1985) erläutert werden.

Da Zn-Mangel bei Ratte und Kaninchen sehr rasch auch die freiwillige Nahrungsaufnahme negativ beeinflußt, werden bei entsprechenden Untersuchungen zweckmäßigerweise sogenannte pairfed Gruppen als Kontrolle mitgeführt. Diese Gruppen erhalten dabei von dem Zn-ergänzten Futter nur jeweils soviel, wie die ad libitum versorgten Mangeltiere von der Mangeldiät aufnehmen. Damit läßt sich der Effekt, der ausschließlich auf die reduzierte Nahrungsaufnahme zurückzuführen ist, von den Zn-Mangelerscheinungen im engeren Sinne abgrenzen. Daraus läßt sich erkennen, daß neben der reduzierten Futteraufnahme im Zn-Mangel auch direkte Störungen der Nährstoffverwertung auftreten.

Wachsende Kaninchen der Rasse Weiße Neuseeländer, die zu Versuchsbeginn im Mittel 800 g Lebendmasse aufwiesen, wurden mit einer halbsynthetischen Ovalbumin-Stärke-Diät, die nur 2,7 mg Zn/kg TM enthielt, ernährt (SCHWARZ, 1985). Im Vergleich zu Kontrolltieren, die dieselbe Diät, jedoch ergänzt mit rund 45 ppm Zn in der TM, erhielten, zeigte sich bereits nach wenigen Tagen eine Depression der Futteraufnahme. In der dritten Versuchswoche zeigten sich erste erkennbare Mangelsymptome in Form von Epidermalläsionen, die später teilweise zu Alopezie und Parakeratose führten. Besonders frühzeitig und deutlich reagierten jedoch die Parameter Aktivität der alkalischen Phosphatase, Zn-Konzentration sowie freie Zinkbindungskapazität des Blutserums. Nach 10 Wochen Versuchsdauer lag die mittlere Lebendmasse bei den Kaninchen der Mangelgruppe bei nur 1400 g, die der pair-fed Kontrolltiere bei rund 1800 g und die der ad libitum Kontrolltiere bei 2700 g. Daraus läßt sich ableiten, daß Zn-Mangel auch beim Kaninchen neben einer reduzierten Futteraufnahme zu direkten Störungen der Verwertung der aufgenommenen Nährstoffe führt. In vorausgegangenen Untersuchungen an der Ratte (PALLAUF und KIRCHGESSNER, 1976) konnte gezeigt werden, daß eine unzureichende alimentäre Zinkzufuhr sowohl die Verdaulichkeit der Nährstoffe als auch deren intermediäre Verwertung verschlechtert. Die Verwertung des Nahrungsproteins für das Wachstum ist dabei auch im weniger extremen Mangelbereich noch deutlich beeinträchtigt (WEIGAND und KIRCHGESSNER, 1977).

Deutliche klinische Mangelsymptome, wie sie im Tierexperi-

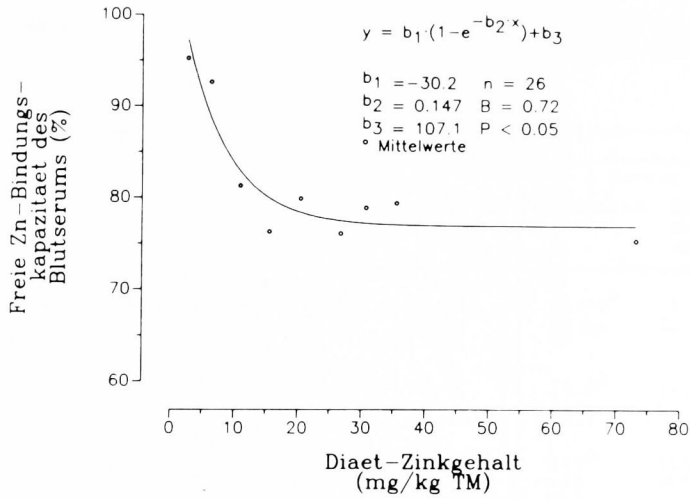

Abb. 2 Regression der freien Zn-Bindungskapazität des Blutserums wachsender Kaninchen auf den Diät-Zinkgehalt nach sechswöchiger Versuchsdauer

ment zum Studium kausaler Zusammenhänge ausgelöst werden, sind jedoch bei unseren Nutztieren heute nur noch sehr selten anzutreffen. Vielmehr sind es teilweise latente Mangelzustände und suboptimale Versorgungssituationen, die mit Hilfe vor allem biochemischer Kriterien möglichst frühzeitig erkannt werden sollten. Da der Organismus durch homöostatische Anpassung von Absorption und endogener Exkretion die Zink-Konzentration zumindest oberhalb des Bedarfes über einen relativ weiten Bereich konstant hält, sind Gewebezinkuntersuchungen keineswegs immer als Bedarfskriterien geeignet. Im Hinblick auf geeignete Kriterien zur Ermittlung des optimalen Zn-Bedarfes steht heute neben der bereits erwähnten Bestimmung der Aktivität der alkalischen Phosphatase und des Serum-Zink-Spiegels, die beide empfindliche Indikatoren der Zink-Versorgung darstellen, noch die Bestimmung der freien Zink-Bindungskapazität des Serums (ROTH und KIRCHGESSNER, 1980) zur Verfügung. Abb. 2 zeigt dazu Ergebnisse aus Untersuchungen an Kaninchen (SCHWARZ, 1985). Bei mangelhafter Zink-Versorgung lag die freie Zink-Bindungskapazität des Blutserums bei rund 95 %, während sie bei ausreichender Versorgung im Mittel auf 75–80 % absank.

Die frühzeitige Diagnose einer suboptimalen Zink-Versorgung kann jedoch mit größerer Sicherheit erfolgen, wenn gleichzeitig mehrere Parameter des Zink-Stoffwechsels erfaßt werden. In Abb. 3 sind deshalb die Kriterien freie Zink-Bindungskapazitäten, Zn-Konzentration und Aktivität der alkalischen Phosphatase des Serums sowie die Lebendmasseentwicklung der Kaninchen in Abhängigkeit gestaffelter Zn-

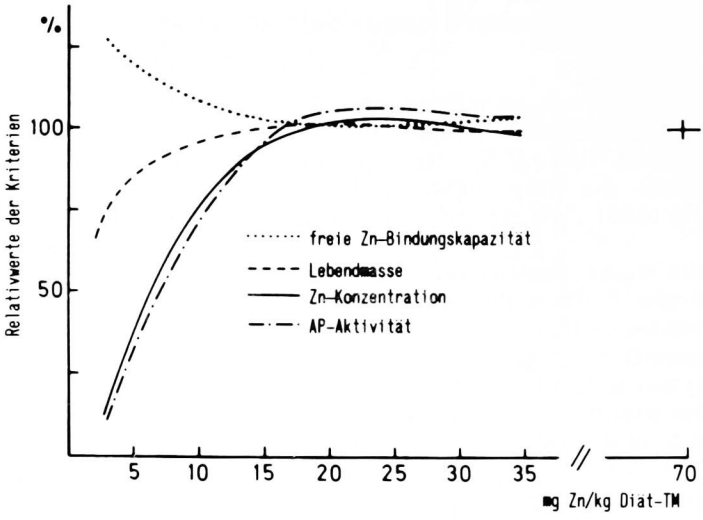

Abb. 3 Einfluß der alimentären Zn-Versorgung auf Relativwerte biochemischer Kriterien des Blutserums sowie die Entwicklung der Lebendmasse wachsender Kaninchen nach 6 Wochen Versuchsdauer (70 mg Zn/kg Dät ≙ 100)

Gehalte in der Diät (PALLAUF und SCHWARZ, 1985) zusammenfassend dargestellt. Es wird deutlich, daß Zink-Konzentration und Aktivität der alkalischen Phosphatase einen sehr sensiblen Maßstab darstellen, während die Lebendmasseentwicklung etwas weniger empfindlich reagierte. Unter den gewählten Untersuchungsbedingungen einer phytinfreien Ovalbumindiät war somit bei wachsenden Kaninchen der Zink-Bedarf mit 15–20 ppm optimal gedeckt. Wurde der Kaninchen-Diät jedoch Phytinsäure zugelegt, die in hohem molaren Überschuß die Zn-Verwertung durch Komplexbildung negativ beeinflußt, so reichten selbst 30 ppm Diät-Zink zur Bedarfsdeckung nicht aus, wie anhand von in Tabelle 6 aufgezeigten Versorgungskriterien (SCHWARZ, 1985) deutlich wird. Bei sehr jungen wachsenden Kaninchen führte die Phytinsäure innerhalb von 3 Wochen Versuchsdauer zu einer signifikanten Verschlechterung aller 3 Kriterien, während dies nach 6 Wochen nur noch bei der Aktivität der alkalischen Phosphatase erkennbar war. Auch beim wachsenden Schwein ist bekannt, daß hohe Phytinsäuregehalte in der Nahrung die Verwertung von Zink und anderen Spurenelementen aus der Nahrung erheblich verschlechtern. In praktischen Rationen für Kaninchen sowie für Schweine, die erhebliche Anteile an Getreide und Ölsaatrückstände enthalten, liegen stets sehr beachtliche Phytingehalte vor.

Tab. 6 Einfluß einer Phytinsäurezulage in 40fachem molaren Überschuß zu Zink auf verschiedene Blutserumparameter des Zn-Stoffwechsels von Kaninchen (Diät-Zinkgehalt 30 ppm)

Kriterium	Versuchsdauer			
	3 Wochen		6 Wochen	
	Kontrolle	Phytinsäure-zulage	Kontrolle	Phytinsäure-zulage
Zn-Konzentration (µg/ml)	$1,99^{a}$ ±0,30	$1,14^{b}$ ±0,14	$1,68^{a}$ ±0,21	$1,58^{a}$ ±0,27
freie-Zn-Bindungskapazität (%)	$76,4^{a}$ ±2,8	$83,9^{b}$ ±3,2	$78,9^{a}$ ±2,4	$77,8^{a}$ ±3,2
Aktivität der alk. Phosphatase (mU/ml)	225^{a} ±26	159^{b} ±26	243^{a} ±14	165^{b} ±29

Hochgestellte unterschiedliche Buchstaben in einer Zeile kennzeichnen signifikante Differenzen von $P < 0,05$

4.6.3 Zinkbedarf des Ferkels

In Versuchen mit steigenden Ca-Gehalten in der Diät von Absatzferkeln zeigte sich, daß die Zinkgehalte im Futter um so weniger ausreichten, Mangelerscheinungen zu verhindern, je höher der Ca-Gehalt anstieg (LEWIS et al., 1957). Beim schnell wachsenden Ferkel ist eine ausreichende Zinkversorgung vor allem dann wichtig, wenn es sich um eine Rationsgestaltung mit ausschließlich pflanzlichen Komponenten handelt, die schlechter verfügbare Zinkverbindungen (Phytatkomplex) enthalten. Während für Caseindiäten bei Ferkeln ein Zinkgehalt von 14–20 mg/kg ausreichte (SMITH et al., 1962; SHANKLIN et al., 1968), wurden bei Soja-Rationen noch mit 22 mg Zn/kg schwere Mangelerscheinungen festgestellt, die durch eine Zulage von 50 mg Zn/kg Futter verhindert wurde (SMITH et al., 1962). Für Ferkel bis 10 kg Lebendmasse werden nach derzeitigem Kenntnisstand bis zu 100 mg und von 10–20 kg Lebendmasse 80 mg Zn/kg Futter empfohlen (NRC, 1979). Dabei ist eine Beeinflussung der Zinkverwertung durch Calcium und Phytate sowie durch andere Elemente wie Cu, Fe, Co und Mg pauschaliert berücksichtigt (MILLER und KORNEGAY, 1983). Britische Angaben liegen mit 50 mg/kg TM allerdings wesentlich niedriger (ARC, 1981).

4.6.4 Zinkbedarf des Mastschweines

Zum Zinkbedarf des Mastschweines liegen ältere Untersuchungen vor (SMITH et al., 1961, 1962). Inclusive Sicher-

heitszuschlag wurde die Versorgungsempfehlung für die Praxis auf 50–60 mg Zn/kg festgesetzt (NRC, 1979; ARC, 1981). Auch der Einfluß des Geschlechts auf den Zinkbedarf wurde studiert (LIPTRAP et al., 1970). Eber und Sauen zeigten dabei erst ab 50 mg Zn je kg einer Mais-Soja-Ration keine Mangelerscheinungen mehr, während Kastraten mit 30 mg/kg bereits ausreichend versorgt schienen. Bei Zinkgehalten unter 30 mg/kg Futter zeigten 33 % der Eber und 27 % der Sauen parakeratotische Veränderungen. Als eine mögliche Ursache geschlechtsspezifischer Bedarfsdifferenzen sind Unterschiede im hormonellen Status und die Spermiogenese beim männlichen Tier zu diskutieren. Auch ein direkter Zusammenhang zu Unterschieden in Futterverwertung und Nährstoffretention dürfte gegeben sein. Insgesamt erscheint der erwähnte Bedarfswert von 50–60 mg Zn/kg Trockenmasse für den Lebendmassebereich 20–100 kg weiterhin angemessen. Bei hohen Phytin- und Ca-Gehalten der Diät sowie bei hohen Kupfergaben ist der ausreichenden Zinkversorgung besondere Beachtung zu widmen. Nicht unerwähnt soll in diesem Zusammenhang auch bleiben, daß eine ausgewogene bis reichliche Zn-Versorgung außerdem einen teilweisen Schutz vor einer schädlichen Cd-Belastung (siehe PALLAUF, 1982) bewirken kann.

4.6.5 Zinkbedarf von Zuchtsauen

Anhand von Versuchen mit graviden Sauen erschienen 33 mg Zn/kg Futter für normale Reproduktionsleistungen und Aufzucht der Ferkel zunächst ausreichend (HEDGES et al., 1976). Die Nachkommen dieser Sauen wurden jedoch mit geringen Zinkreserven geboren, die es ihnen nicht erlaubten, ein optimales Wachstum zu entwickeln. Reduzierte Zn-Gehalte in Leber und Femur neugeborener Ferkel stellten neuerdings auch KIRCHGESSNER et al. (1985) fest, wenn Sauen während der Gravidität im Mittel nur 15 mg Zn/kg Diät erhielten. Aus Bilanzversuchen ermittelten KIRCHGESSNER et al. (1981) für güste und gravide Zuchtsauen einen Bedarf von 25 mg Zn/kg Alleinfutter. Für die laktierende Sau wird ein faktoriell abgeleiteter Bedarf von 35 mg/kg Alleinfutter angegeben (KIRCHGESSNER et al., 1983). Für praktische Empfehlungen zur Zinkversorgung dürfte es insgesamt angezeigt erscheinen, im Futter von Sauen und Zuchtebern einen Zinkgehalt von 50 mg/kg TM anzustreben.
Zinkzusätze zur Ergänzung der nativen Gehalte des Schweinemischfutters dürften in vielen Fällen notwendig sein.

4.7 Empfehlungen zur Versorgung mit Eisen, Jod, Kupfer, Mangan, Selen und Zink

In Tabelle 7 sind die bei den einzelnen bisher behandelten Elementen abgeleiteten Empfehlungen zur Spurenelement-

Tab. 7 Empfehlungen zur Spurenelementversorgung des Schweines (mg/kg Futtertrockenmasse)

Spurenelement	Ferkel	Mastschweine und Zuchtläufer	Zuchtsauen und Zuchteber
Eisen (Fe)	80 - 120 *)	50 - 60	80
Jod (I)	0,15	0,15	0,5 - 0,6
Kupfer (Cu)	6	4 - 5	8 - 10
Mangan (Mn)	15 - 20	20	20 - 25
Selen (Se)	0,2 - 0,3	0,2	0,15 - 0,20
Zink (Zn)	80 - 100	50 - 60	50

*) Bei Saugferkeln mind. 200 mg Fe i. m. 2.–4. Tag post natum

versorgung des Schweines zusammenfassend wiedergegeben. Innerhalb einer angegebenen Spanne beziehen sich die höheren Zahlen bei Ferkeln, Mastschweinen und Zuchtläufern (Jungsauen und Jungebern) jeweils auf den Beginn der Aufzucht bzw. den Mastbeginn. Für Zuchteber stehen kaum eigene Daten zur Verfügung. Die in der Tabelle aufgeführten Richtzahlen für Zuchtsauen dürften jedoch nach bisheriger Kenntnis auch für männliche Zuchttiere ausreichen. Nach derzeitigem Stand der Forschung sollten die angegebenen Gehalte, die gewisse Sicherheitszuschläge für schwankenden Nettobedarf und wechselnde Verwertung der alimentären Zufuhr enthalten, nicht unterschritten werden. Im Falle extrem hoher Energie- und Nährstoffdichte müßte auch die Konzentration an Spurenelementen erhöht werden. Reichen die nativen Gehalte der eingesetzten Futterkomponenten nicht aus, so muß grundsätzlich ein entsprechend genau dosierter Zusatz über geeignete Verbindungen zur Mineralstoffmischung erfolgen.

4. 8. Sonstige essentielle Spurenelemente

Als Bestandteil des Vitamin B_{12}-Moleküls ist Kobalt auch für das Schwein lebensnotwendig. Obwohl teilweise positive Effekte von Kobaltzulagen beim Schwein beobachtet wurden, muß über die Nahrung in erster Linie genügend B_{12} zugeführt werden. Ein von B_{12} unabhängiger Co-Bedarf wurde für das Schwein bislang nicht definiert. Für Nickel ermittelten KIRCHGESSNER et al. (1981 und 1983) einen Bedarf von 0,7 bzw. 0,6 mg pro kg Futter für güste und gravide bzw. für laktierende Sauen. Ein Ergänzungsbedarf an Nickel scheint in praktischen Rationen für Schweine nicht zu beste-

Tab. 8 Maximal tolerierbare Gehalte an Spurenelementen im Futter des Schweines sowie Toxizitätsschwellen

Element	maximal tolerierbarer Gehalt (mg/kg Futter)	Toxizitäts-schwelle (mg/kg Futter)
Co	10	400
Fe	3.000	5.000
I	400	400-800
Cu	250	300-400
Mn	400	1.000
Ni	100	250-350
Se	2	7
Zn	1.000	2.000

hen. Der Molybdänbedarf des Schweines wurde bislang nicht quantifiziert. Mo-Mangelerscheinungen sind beim Schwein nicht bekannt und auch aufgrund hoher nativer Mo-Gehalte vieler Futtermittel unwahrscheinlich.

5. Toleranzschwelle und Toxizitätsschwelle für Spurenelemente

In Tabelle 8 sind Angaben zum maximal tolerierbaren Gehalt an Spurenelementen (NRC, 1980) sowie zur Toxizitätsschwelle einzelner Elemente (NRC, 1979 und 1980; ARC, 1981; UNDERWOOD, 1977 und 1981; KIRCHGESSNER und ROTH, 1977) zusammengefaßt. Ein Beispiel für ein rasch toxisch wirkendes Element stellt das Selen dar. Im Falle von Eisen und Zink hingegen stehen wesentlich größere Spannen zwischen Bedarfsbereich einerseits und Toleranz- bzw. Toxizitätsschwelle andererseits zur Verfügung.
Eine deutliche Überdosierung von Spurenelementen, auch wenn sie noch weit unter der Toleranzgrenze liegt, ist aus verschiedenen Gründen nicht zu empfehlen. So können zum einen ernährungsphysiologisch unerwünschte Ungleichgewichte innerhalb der Spurenelemente auftreten. Zum anderen sollte auch aus ökologischen Gründen auf eine überhöhte Spurenelementdosierung im Schweinefutter verzichtet werden, da die dann erhöhten Gehalte in der Gülle langfristig weitere Probleme innnerhalb der Nahrungskette verursachen können. Bei sehr hohen Cu-Gaben im Schweinefutter, wie sie aufgrund wachstumsfördender Effekte teilweise verwendet werden, ist auch die Gefahr der überhöhten Cu-Akkumulation in der Leber des Schweines gegeben (siehe PALLAUF, 1982). Neben Gesundheitsrisiken für das Schwein könnten daraus aber auch für die Humanernährung unerwünscht

hohe Cu-Konzentrationen des Lebensmittels Leber resultieren.

6. Schlußfolgerung

Zum Bedarf des Schweines an Spurenelementen liegen eine Fülle von Arbeiten vor. Dennoch bedürfen noch viele wichtige Fragen, vor allem zum Komplex der Spurenelementverwertung, der wissenschaftlichen Klärung. Die derzeitigen Empfehlungen zur Spurenelementzufuhr geben den gegenwärtigen Stand der Forschung wieder.
Die leistungsgerechte Versorgung des Schweines mit essentiellen Spurenelementen einschließlich der heute vielfach notwendigen Supplementierung der Futterrationen stellt längst eine unverzichtbare Grundlage in der Schweineproduktion dar. Spurenelementzusätze zum Mischfutter verursachen nur geringere Kosten, während Mangelerscheinungen sehr rasch zu gesundheitlichen Schäden, Leistungseinbußen und damit hohen wirtschaftlichen Verlusten führen können. Die konsequente Anwendung der Fortschritte in der Tierernährungsforschung hat gerade auf dem Gebiete der Spurenelemente zu einer wesentlichen Verbesserung der Produktionsbedingungen geführt.

Literatur

ARC (Agricultural Research Council) (1981): The Nutrient Requirements of Pigs. 2nd ed., Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough

BECKER, W. und R. TOWLERTON (1979): Neues bei Prophylaxe und Therapie der Eisenmangelanämie der Saugferkel. Tierärztl. Umschau **34,** 708–717

BOLLWAHN, W., H. KNÖRL und K. HEINRITZI (1983): Klinik und Diagnose des latenten Eisenmangels beim Ferkel. Prakt. Tierarzt **64,** 294–299

BURCH, R. E., R. V WILLIAMS, H. K. J. HAHN, M. M. JETTON und J. F. SULLIVAN (1975): Tissue trace element and enzyme content in pigs fed a low manganese diet. J. Lab. Clin. Med. **86,** 132–139

GRASSMANN, E. und M. KIRCHGESSNER (1973): Katalaseaktivität des Blutes von Saugferkeln und Mastkälbern bei mangelnder Eisenversorgung. Zbl. Vet. Med. A **20,** 481–486

GROCE, A. W., E. R. MILLER, K. K. KEAHEY, D. E. ULLREY and D. J. ELLIS (1971): Selenium supplementation of practical diets for growing-finishing swine. J. Anim. Sci. **32,** 905–911

HEDGES, J. D., E. T. KORNEGAY and H. R. THOMAS (1976): Comparison of dietary zinc levels for reproducing sows and the effect of dietary zinc and calcium on the subsequent performance of their progeny. J. Anim. Sci. **43,** 453–463

HOVE, E., C. A. ELVEHJEM and E. B. HART (1937): The physiology of Zn in the nutrition of the rat. Am. J. Physiol. **119,** 768–775

KAYONGO-MALE, H., D. E. ULLREY and E. R. MILLER (1975): The Mn requirement of the baby pig from sows fed a low Mn diet. E. Afr. Agric. For. J. **41,** 157–164

KEEN, C. L., B. LÖNNERDAL, L. S. HURLEY (1984): Manganese, In: FRIEDEN, E. (ed.): Biochemistry of the essential ultratrace elements p. 89–132, Plenum Press New York

KIRCHGESSNER, M. und J. PALLAUF (1973a): Zum Einfluß zusätzlicher Eisengaben an Muttersauen ante partum als Anämieprophylaxe bei Saugferkeln. Züchtungskunde **45,** 245–248
–, (1973b): Einfluß einer Cu- u. Vitamin B_{12}-Zulage zur oralen Eisenapplikation an Saugferkel. Züchtungskunde **45,** 249–253
KIRCHGESSNER, M. und H. L. MÜLLER (1974): Einfluß unterschiedlicher Proteinmengen auf den Spurenelementgehalt frühentwöhnter Ferkel. Ldw. Forsch. **27,** 358–364
KIRCHGESSNER, M. und E. WEIGAND (1974/75): Zur Wirksamkeit von einmalig oral zu verabreichenden Eisen-Depot-Tabletten bei der Eisenmangelanämie von Saugferkeln. Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde. **34,** 205–211
KIRCHGESSNER, M. und F. X. ROTH (1977): Zum Einfluß von Ni-Zulagen auf das Wachstum von Ferkeln. Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde. **39,** 277–281
KIRCHGESSNER, M., E. WEIGAND, A. SCHNEGG, E. GRASSMANN, F. J. SCHWARZ, H.-P. ROTH (1980a): Spurenelemente. In: CREMER, H. D., D. HÖTZEL, J. KÜHNAU (Hrsg.): Ernährungslehre und Diätetik, Bd. 1: Biochemie und Physiologie der Ernährung. S. 275–304, Thieme, Stuttgart
KIRCHGESSNER, M., D. A. ROTH-MAIER und R. SPOERL (1980b): Cu-, Zn-, Ni- und Mn-Gehalte von Sauenmilch im Verlauf der Laktation bei unterschiedlicher Spurenelementversorgung. Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde. **44,** 233–238
KIRCHGESSNER, M., H. MADER und E. GRASSMANN (1980c): Zur Fruchtbarkeitsleistung von Sauen bei unterschiedlicher Cu-Versorgung. Züchtungskunde **52,** 46–52
KIRCHGESSNER, M., D. A. ROTH-MAIER und R. SPOERL (1981): Untersuchungen zum Trächtigkeitsanabolismus der Spurenelemente Kupfer, Zink, Nickel und Mangan bei Zuchtsauen. Arch. Tierernährung **31,** 21–34
KIRCHGESSNER, M., D. A. ROTH-MAIER, E. GRASSMANN und H. MADER (1982a): Verlauf der Fe-, Cu-, Zn-, Ni- und Mn-Konzentration in Sauenmilch während einer fünfwöchigen Laktationsperiode. Arch. Tierernährung **32,** 853–858
KIRCHGESSNER, M., F. J. SCHWARZ, E. WEIGAND und H.-P. ROTH (1982b): Zum Stoffwechsel des Zinks im menschlichen und tierischen Organismus. In: STAIB, I. (Hrsg.): Spurenelemente, Bedeutung für Chirurgie, Anästhesilogie und Intensivmedizin. S. 12–61, Schattauer, Stuttgart, New York
KIRCHGESSNER, M., D. A. ROTH-MAIER und R. SPOERL (1983): Spurenelementbilanzen (Cu, Zn, Ni und Mn) laktierender Sauen. Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde. **50,** 230–239
KIRCHGESSNER, M., D. A. ROTH-MAIER, F. REITHMAYER und R. SPÖRL (1985): Zum Zinkstatus neugeborener Ferkel nach suboptimaler Zinkversorgung der Sauen während der Trächtigkeit. Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde. **54,** 20–27
LAVORENTI, A. (1972): Utilization of dietary iron by pigs and rats. Diss. Abstr. Int. **33** B, 509–510
LEIBHOLZ, J. M., V. C. SPEER and V. W. HAYS (1962): Effect of dietary manganese on baby pig performance and tissue manganese levels. J. Anim. Sci. **21,** 772–776
LEWIS, P. K. jr., W. G. HOEKSTRA and R. H. GRUMMER (1957): Restricted calcium feeding versus zinc supplementation for the control of parakeratosis in swine. J. Anim. Sci. **16,** 578–588
LIPTRAP,, D. O., E. R. MILLER, D. E. ULLREY, D. L. WHITENACK, B. L. SCHOEPKE and R. W. LUECKE (1970): Sex influence on the zinc requirement of developing swine. J. Anim. Sci. **30,** 736–741
MAHAN, D. C., A. L. MOXON and M. HUBBARD (1977): Efficacy of inorganic selenium supplementation to sow diets on resulting carry-over to their progeny. J. Anim. Sci. **45,** 738–746
MATRONE, G., E. L. jr. THOMASON and C. R. BUNN (1960): Requirement and utilization of iron by the baby pig. J. Nutrition **72,** 459–465

MEYER, H. (1978): Cu-Umsatz und Cu-Bedarf bei Saugferkeln. Übers. Tierernährung **6,** 149–163

MEYER, W. R., D. C. MAHAN and A. L. MOXON (1981): Value of dietary selenium and vitamin E for weanling swine as measured by performance and tissue selenium and glutathione peroxidase activities. J. Anim. Sci. **52,** 302–311

MILLER, E. R. and E. T. KORNEGAY (1983): Mineral and vitamin nutrition of swine. J. Anim. Sci. **57,** Suppl. 2, 315–329

NRC (National Research Council) (1980): Mineral tolerance of domestic 8th ed., National Academy of Sciences, Washington, D.C.

NRC (National Research Council) (1980): Mineral tolerance of domestic animals, National Academy of Sciences, Washington, D.C.

OKONKWO, A. C., P. K. KU, E. R. MILLER, K. K. KEAHEY and D. E. ULLREY (1979): Copper requirement of baby pigs fed purified diets. J. Nutrition **109,** 939–948

OSBORNE, J. C. and J. W. DAVIS (1968): Increased susceptibility to bacterial endotoxin of pigs with iron-deficiency anemia. J. Am. Vet. Med. Ass. **152,** 1630–1632

PALLAUF, J. (1982): Zum Einfluß der Ernährung mit Spurenelementen auf die Qualität von Lebensmitteln tierischer Herkunft. Übers. Tierernährung **10,** 163–188

PALLAUF, J. (1983): Tierexperimentelle Untersuchungen zum Zink-Mangel-Syndrom. Akt. Ernähr. **8,** 107–112

PALLAUF, J. und M. KIRCHGESSNER (1973): Zur Prüfung von Eisenpräparaten in der Anämieprophylaxe bei Saugferkeln. Züchtungskunde **45,** 119–132

PALLAUF, J. und M. KIRCHGESSNER (1976): Einfluß mangelnder Zinkversorgung auf Verdaulichkeit und Verwertung von Nährstoffen. Arch. Tierernährg. **26,** 457–473

PALLAUF, J. and G. SCHWARZ (1985): Experimental studies on biochemical criteria of zinc deficiency in the rabbit. In. MILLS, C. F., I. BREMNER and J. K. CHESTERS (eds.): Trace elements in man and animals, Proceedings 5th Internat. Symp. on Trace Elements in Man and Animals p. 587–590, Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough

PLUMLEE, M. P., D. M. THRASHER, W. M. BEESON, F. N. ANDREWS and H. E. PARKER (1956): The effects of manganese deficiency upon the growth development and reproduction of swine. J. Anim. Sci. **15,** 352–367

ROTH, H. P. und M. KIRCHGESSNER (1980): Zn-Bindungskapazität des Serums. Ein Parameter zur Diagnose von marginalem Zn-Mangel. Res. Exp. Med. **177,** 213–219

ROTH-MAIER, D. A., M. KIRCHGESSNER und R. SPOERL (1985): Fe-Bilanzen gravider und laktierender Zuchtsauen bei unterschiedlicher alimentärer Eisenzufuhr. Zbl. Vet.-Med. A **32,** 739–751

ROTRUCK, J. T., A. L. POPE, H. E. GANTHER, A. B. SWANSON, D. G. HAFMAN and W. G. HOEKSTRA (1973): Selenium: Biochemical role as a component of glutathione peroxidase. Science **179,** 588–590

SCHWARZ, G. (1985): Untersuchungen zum Zink-Stoffwechsel des Kaninchens (Oryctolagus cuniculus L.). Diss. agr. FB Ernährungswissenschaften Universität Gießen

SHANKLIN, S. H., E. R. MILLER, D. E. ULLREY, J. A. HOEFER and R. W. LUECKE (1986): Zinc requirement of baby pigs on casein diets. J. Nutrition **96,** 101–108

SMITH, W. H., M. P. PLUMLEE and W. M. BEESON (1961): Zinc requirement of the growing pig fed isolated soybean protein semipurified rations. J. Anim. Sci. **20,** 128–132

SMITH, W. H., M. P. PLUMLEE and W. M. BEESON (1962): Effect of source of protein on zinc requirement of the growing pig. J. Anim. Sci. **21,** 399–405

SUTTLE, N. F. and C. F. MILLS (1966): Studies of the toxicity of copper to pigs. 1. Effects of oral supplements of zinc and iron salts on the developement of copper toxicosis. Brit. J. Nutrition **20,** 135–148

TODD, W. R., C. A. ELVEHJEM and E. B. HART (1934): Zinc in the nutrition of the rat. Am. J. Physiol. **107,** 146–156
TUCKER, H. F. and W. D. SALMON (1955): Parakeratosis or zinc deficiency disease in the pig. Proc. Soc. Exp. Biol. Med. **88,** 613–616
UNDERWOOD, E. J. (1977): Trace elements in human and animal nutrition. 4th ed. Academic Press, London
UNDERWOOD, E. J. (1981): The Mineral Nutrition of Livestock. 2nd ed. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Slough
VAN VLEET, J. F. (1981): Comparative efficacy of five supplementation procedures to control selenium-vitamin E deficiency in swine. Am. J. Vet. Res. **43,** 1180–1189
WEIGAND, E. and M. KIRCHGESSNER (1977): Dietary zinc supply and efficiency of food utilization for growth. Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde. **39,** 16–26
WIESNER, E., F. BERSCHNEIDER, K. NEUFFER und S. WILLER (1979): Die Wirkung einer Selenergänzung des Futters landwirtschaftlicher Nutztiere. Mh. Vet. Med. **34,** 401–404