

Mineralstoffempfehlungen beim Schwein unter besonderer Berücksichtigung der Phosphor-Verwertung

Referate der
wissenschaftlichen Vortragsstagung
am 27. und 28. November 1989
in Würzburg



Industrieverband Agrar e.V.
Fachausschuß Futterphosphate

Herausgeber:

Industrieverband Agrar e. V.
Fachausschuß Futterphosphate
Karlstraße 21, 6000 Frankfurt am Main

Leistungsgerechte Spurenelementversorgung beim Schwein

Prof. Dr. J. Pallauf, Gießen

Institut für Tierernährung der Justus-Liebig-Universität Gießen

1. Einleitung

Spurenelemente sind definiert als jene im Organismus vorkommenden chemischen Elemente, deren Konzentration in der Körperfrischmasse im allgemeinen unter 50 mg pro kg, d.h. unter 50 ppm, liegt. 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 verschiedentlich zu den Wirkstoffen gezählt, futtermittelrechtlich sind jene Spurenelemente, für die unter Umständen ein Ergänzungsbedarf besteht, bekanntlich der Gruppe der Zusatzstoffe zugeordnet.

In dem nachfolgenden Beitrag zur leistungsgerechten Spurenelementversorgung des Schweines soll nach einem kurzen Rückblick über die Entdeckungsgeschichte der insgesamt 16 bis heute in der Tierernährung als unentbehrlich erkannten Spurenelemente näher auf die 6 für das Schwein wichtigsten Spurenelemente, nämlich **Eisen, Jod, Kupfer, Mangan, Selen und Zink**, eingegangen werden. Neben dem beispielhaften Aufzeigen biochemischer Funktionen einerseits und Mangelsymptomen bei defizitärer Versorgung andererseits soll insbesondere der optimale Bedarf des Schweines an den einzelnen Elementen dargelegt werden. Gleichzeitig soll auch die Problematik der Anwendung von Tabellenwerten für die nativen Gehalte erörtert werden. In einem abschließenden Kapitel werden aber auch Gefahren einer Überdosierung von Spurenelementen aufgezeigt.

2. Essentialität von Spurenelementen

In Tabelle 1 sind die nach derzeitigem wissenschaftlichen Kenntnisstand als essentiell anzusehenden Elemente in der Chronologie ihrer Entdeckung aufgeführt (Literatur bei KIRCHGESSNER et al. 1980; PALLAUF 1982). Die Unentbehrlichkeit von Eisen ist seit mehreren Jahrhunderten bekannt, dessen ausreichende Zufuhr bei Saugferkeln aber auch heute noch keines-

wegs immer gesichert. Die Essentialität von Jod ist ebenfalls schon lange bekannt.

Tabelle 1: Für das Tier essentielle Spurenelemente in der Reihenfolge ihrer Entdeckung

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

Alle übrigen 14 essentiellen Spurenelemente sind in ihrer ernährungsphysiologischen Bedeutung für die Tierernährung und damit auch für das Schwein – wie die meisten anderen essentiellen Nahrungsfaktoren – erst in diesem Jahrhundert 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 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 Nachweis des essentiellen Charakters 1953 durch die Entdeckung, daß Mo unentbehrlicher Cofaktor des Enzymes Xanthinoxidase ist, unmittelbar auf biochemischem Wege erbracht. Später wurde der essentielle Mo-Cofaktor auch noch für die Aldehydoxidase sowie die Sulfitoxidase beschrieben.

Kobalt ist nach bisheriger Kenntnis neben seiner lebenswichtigen Funktion als Zentralatom im Corrinssystem 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 essentielle Funktion als Schutzfaktor gegen die Lebernekrose der Ratte beschrieben. Seit 1973 ist bekannt, daß die Glutathionperoxidase ein Se-haltiges Enzym darstellt (ROTRUCK et al. 1973). Inzwischen wurde ein „Selenoprotein P“ im Rattenplasma beschrieben, dem vermutlich Funktionen im Se-Transport sowie auch bei der antioxidativen Abwehr (siehe BURK 1989) zukommen.

Für die 8 auf der rechten Seite der Tabelle 1 stehenden sogenannten neuen Spurenelemente, die teilweise auch als Ultraspurenelemente bezeichnet werden, fehlen derzeit meist noch genauere Kenntnisse über ihre biochemischen Funktionen. Vor allem aber – und das interessiert in diesem Zusammenhang besonders – fehlen bislang Hinweise auf mögliche Mangelsituationen in der praktischen Tierernährung. Auch über die Höhe des Bedarfes gibt es mit Ausnahme von Nickel (KIRCHGESSNER et al. 1983) kaum Anhaltspunkte. Vielmehr zählen Arsen, Fluor und Blei sowie die nach heutiger Ansicht ausschließlich toxischen Elemente Cadmium und Quecksilber futtermittelrechtlich zu den unerwünschten Stoffen. Nach Anlage 5 zu § 23 der Futtermittelverordnung dürfen dabei bestimmte Höchstgehalte in Futtermitteln nicht überschritten werden. Dies dient einmal zum Schutze der Nutztiere,

Abbildung 1: Für die Tierernährung essentielle Elemente im Periodensystem (ohne Fr, Ra, Ac, Lanthaniden und Actiniden)

1 H																	2 He				
3 Li	4 Be															5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg															13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr				
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd?	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe				
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn				

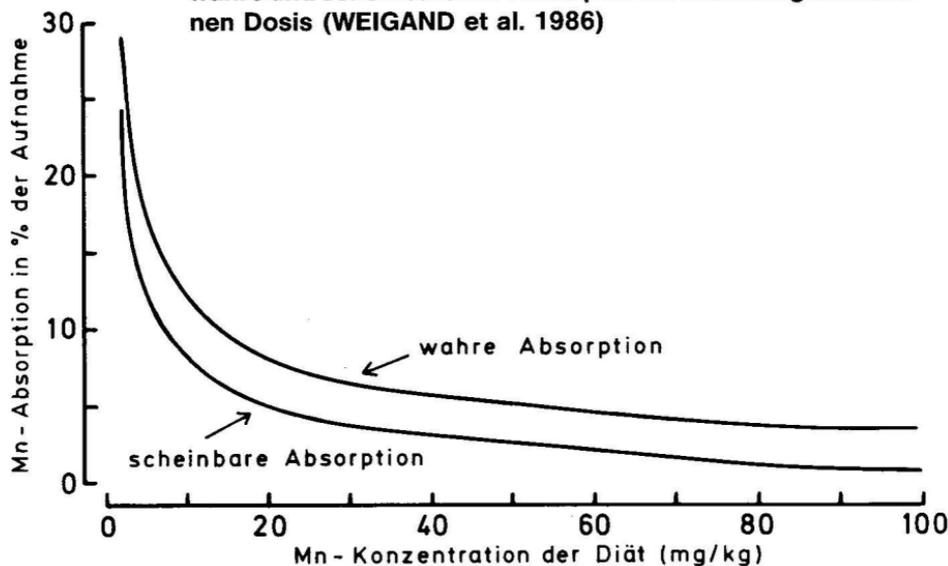
sowie 3.) den optimalen Versorgungsbereich, innerhalb dessen ein bedarfsgerechtes Gleichgewicht auf Grund der Homöostase eingestellt wird. Bei weiter steigender Versorgung wird 4.) der subtoxische Bereich und schließlich 5.) der toxische Bereich erreicht. Klinische Mangelsymptome als Folge unzureichender Spurenelementversorgung sind dank des hohen Standes der ernährungsphysiologischen Forschung und der konsequenten Umsetzung neuer Erkenntnisse in die Tierernährungspraxis in Form von Sicherheitszusätzen an Spurenelementen bei uns heute nur noch in Ausnahmefällen anzutreffen. Der Forschungsansatz aus heutiger Sicht konzentriert sich auf den suboptimalen Bereich, wie dies insbesondere von KIRCHGESSNER und Mitarbeitern in vielen Arbeiten gezeigt wurde (siehe KIRCHGESSNER 1987). Neben biochemischen Kriterien, wie Enzymaktivitäten, werden neuerdings weltweit auch verstärkt Beziehungen der Spurenelementversorgung zum Immunsystem der Tiere untersucht.

Zur Ermittlung des Bedarfes an einem Spurenelement stehen im wesentlichen drei verschiedene Methoden zur Verfügung:

1. die faktorielle Methode
2. die Dosis-Wirkungsbeziehung
3. die Bilanzmethode

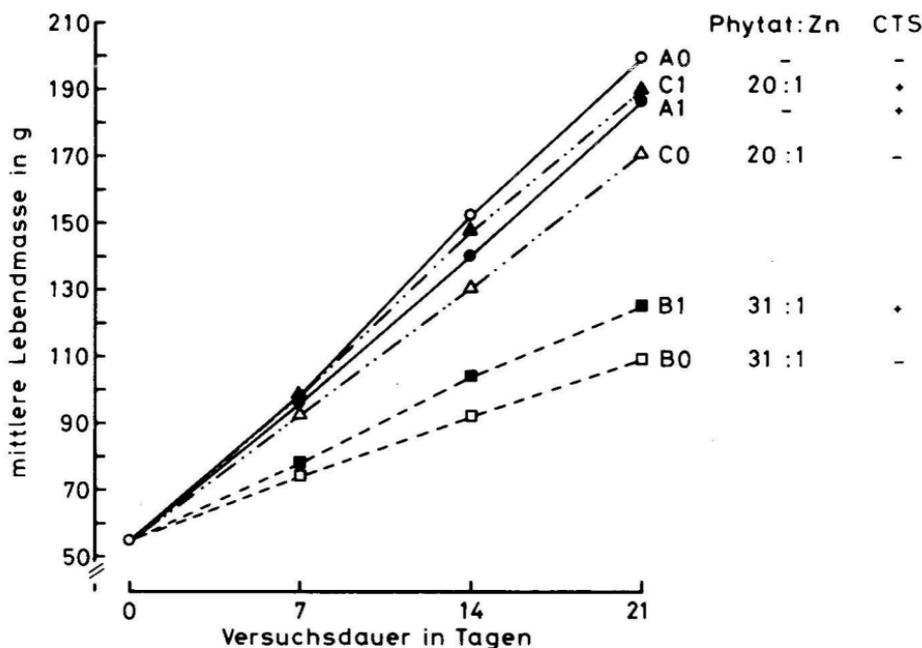
Bei der faktoriellen Bedarfsableitung setzt sich der zunächst zu ermittelnde Nettobedarf aus dem Ansatz für Wachstum und Gravidität sowie der Abgabe

Abbildung 3: Einfluß der Mn-Konzentration in der Diät von Ratten auf die wahre und scheinbare Mn-Absorption in % der aufgenommenen Dosis (WEIGAND et al. 1986)



von Spurenelementen über Leistungsprodukte, wie z.B. Milch, zusammen. Dazu kommen die verschiedenen endogenen Verluste über Kot, Harn, Schweiß, Borstenverluste sowie Hautabschilferungen. Erhebliche Probleme bzw. Ungenauigkeiten der faktoriellen Bedarfsermittlung liegen jedoch beim Schritt vom Netto- zum Bruttobedarf, da die dafür notwendige Größe der Gesamtverwertung bei Spurenelementen methodisch schwierig zu messen ist und je nach Rationszusammensetzung, zugeführter Verbindung und Nahrungsliganden sowie Versorgungsniveau großen Schwankungen unterliegt. Am Beispiel neuerer Untersuchungen über die Manganabsorption der wachsenden Ratte wird in Abbildung 3 gezeigt, daß die wahre Absorption von nahezu 30 % bei mangelnder Versorgung auf weniger als 5 % der aufgenommenen Dosis zurückgeht, wenn der Bedarf erheblich überschritten wird. Im Falle von Zink, das unter Mangelbedingungen aus einer phytinfreien Diät zu über 90 % absorbiert wird (WEIGAND u. KIRCHGESSNER 1978), ist der Unterschied in Abhängigkeit vom Versorgungsniveau noch deutlicher. Es ist daher sehr schwierig, für die Verwertung eines Elementes oder auch einer bestimmten chemischen Verbindung einen konstanten Wert zu unterstellen.

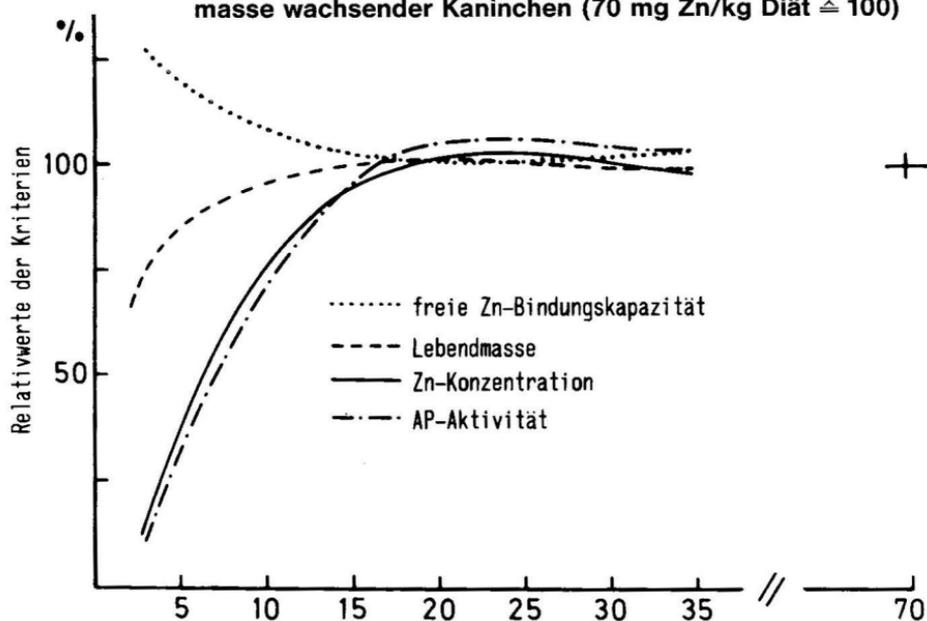
Abbildung 4: Lebendmasseentwicklung wachsender Ratten in Abhängigkeit vom molaren Phytat/Zn-Verhältnis in der Diät und einer Zulage von 1 % Citronensäure (CTS)



Aus der Vielfalt der Nahrungsfaktoren, die die Spurenelementverwertung antagonistisch oder synergistisch beeinflussen, ist in Abbildung 4 (PALLAUF et al. 1990) ein Beispiel dargestellt. Als Kriterium der relativen Zn-Verfügbarkeit diente dabei die Lebendmasseentwicklung. In einem zweifaktoriellen Versuch wurde der Einfluß unterschiedlicher Relationen von Phytat zu Zink in der Diät (0,5 % Phytat und variierte suboptimale Zn-Gehalte) sowie der Einfluß von Citronensäure geprüft. Das Ergebnis bestätigt zunächst die bekannte Verschlechterung der Zn-Verfügbarkeit mit zunehmendem molaren Phytatüberschuß. Die Zulage von 1 % Citronensäure war jedoch in der Lage, die Zn-Verfügbarkeit positiv zu beeinflussen, wie ein Vergleich der Gruppen B0 mit B1 sowie C0 mit C1 zeigt. Bei der phytatfreien Diät der Gruppe A hingegen läßt Citronensäure einen leicht negativen Einfluß erkennen. Das vorliegende Ergebnis einer Verbesserung der Spurenelementverwertung aus phytathaltigem Futter durch Citronensäure könnte einen Faktor von vielen möglichen Faktoren für die positive Wirkung des Zusatzstoffes Citronensäure in der Ferkelfütterung darstellen. Im Hinblick auf eine leistungsgerechte Spurenelementversorgung des Schweines sind solche Einflüsse durchaus von Interesse.

Die 2. Methode der Bedarfsermittlung, basierend auf der Dosis-Wirkungsbeziehung, wird in der ernährungsphysiologischen Forschung und vor allem

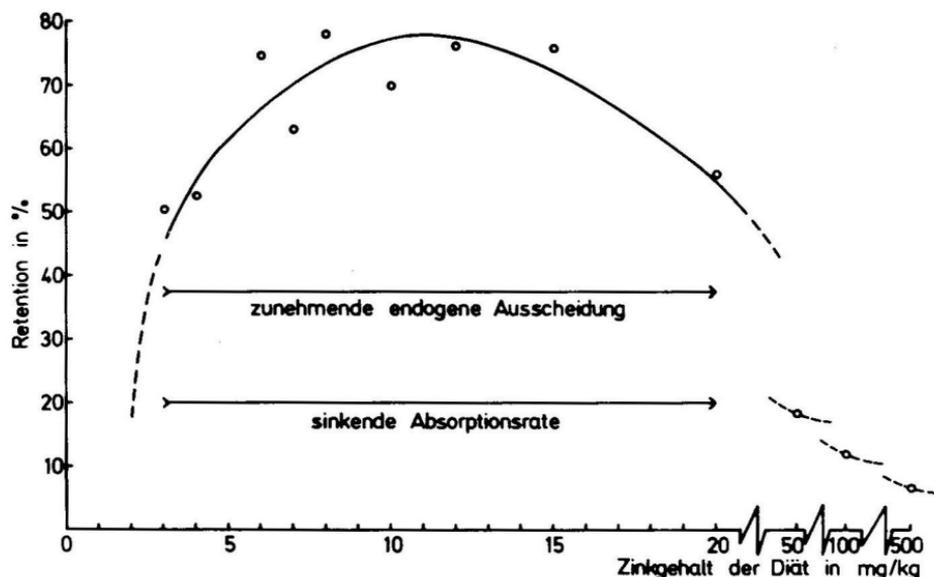
Abbildung 5: Einfluß der alimentären Zn-Versorgung auf Relativwerte biochemischer Kriterien des Blutserums sowie die Lebendmasse wachsender Kaninchen (70 mg Zn/kg Diät \triangleq 100)



bei Spurenelementen sehr häufig angewendet. Abbildung 5 zeigt am Beispiel wachsender Kaninchen zusammenfassend den relativen Verlauf vier verschiedener Bedarfskriterien aus Zn-Mangelversuchen anhand einer phytinfreien halbsynthetischen Diät (PALLAUF u. SCHWARZ 1985, SCHWARZ und PALLAUF 1987, 1989). Im Mangelbereich reagieren die untersuchten biochemischen Kriterien, wie freie Zn-Bindungs­kapazität und Aktivität der Alkalischen Phosphatase des Serums sowie Serum-Zinkgehalt und die Entwicklung der Lebendmasse deutlich in Abhängigkeit von der alimentären Zn-Zufuhr. Die Reaktion der Lebendmasse ist dabei allerdings etwas weniger ausgeprägt, so daß die biochemischen Kriterien empfindlichere Parameter darstellen. Unter den vorliegenden Untersuchungsbedingungen einer phytinfreien Ovalbumindiät war mithin der Zinkbedarf wachsender Kaninchen mit 15-20 mg Zn/kg Diät-T optimal gedeckt. Wurde der Kaninchen-Diät jedoch Phytinsäure zugelegt, die, wie bereits erwähnt, in hohem molaren Überschuß die Zn-Verwertung durch Komplexbildung negativ beeinflußt, so reichten selbst 30 mg Zn je kg Diät-T nicht aus, um den Bedarf zu decken (SCHWARZ, 1985).

Das 3. angesprochene Verfahren der Bedarfsermittlung, die Bilanzmethode, basiert auf experimentell ermittelten Retentionsdaten. Anhand von Ergebnissen aus Zn-Retentionsstudien am Rattenmodell (PALLAUF und KIRCHGESS-

Abbildung 6: Abhängigkeit der Zinkretention wachsender Ratten in % der Zinkzufuhr vom Zinkgehalt einer phytatfreien Diät



NER 1972) ist in Abbildung 6 beispielhaft gezeigt, daß aufgrund der homöostatischen Regulation über einen weiten Versorgungsbereich vom Mangel über den Optimalbereich, der im vorliegenden Falle einer phytatfreien Caseindiät bei 10-12 mg Zn/kg Diät erreicht war, bis hin zum Überschuß, der bis 500 mg/kg Diät gesteigert wurde, außerordentlich unterschiedliche Retentionsgrößen in % der Zn-Aufnahme zustande kommen. Die höchste Effizienz der Zn-Bilanz wurde mit nahezu 80 % im Bedarfsbereich erzielt. Im Mangel liegt zwar eine besonders hohe Absorptionsrate vor, aber die relativ hohe endogene Verlustquote mindert die Gesamtbilanz. Bei hohem Überschuß hingegen muß sich der Organismus vor einer Intoxikation durch Senkung der Absorptionsrate und – je nach Element und verfügbaren Mechanismen – möglichst auch durch gleichzeitige Erhöhung der endogenen Exkretion schützen. Methodisch bereitet die Bedarfsermittlung anhand von Bilanzstudien vor allem dann Probleme, wenn die Retention relativ niedrig liegt, weil sich dann Fehler in Probensammlung, -aufbereitung und Analyse besonders gravierend auswirken können.

4. Spurenelementbedarf des Schweines

Der AUSSCHUSS FÜR BEDARFSNORMEN DER GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE (GfE) hat im Jahre 1987 detaillierte Empfehlungen zur Spurenelementversorgung des Schweines verabschiedet (Tab. 2). Aus Gründen der Praktikabilität wird der Bedarf dabei grundsätzlich in mg/kg Futtertrockenmasse angegeben. Die Angabe des Erhaltungsbedarfes je Einheit Lebendmasse sowie des Teilbedarfes je kg Sauenmilch bzw. je

Tabelle 2: Empfehlungen zur Spurenelementversorgung von Schweinen (mg/kg Futtertrockenmasse)

Spurenelement	Ferkel	Mastschweine und Zuchtläufer	Zuchtsauen und Zuchteber
Eisen (Fe)	80–120*)	50–60	80–90
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 zusätzlich mindestens 200 mg Fe intramuskulär am 2.-3. Lebenstag

kg Körperzuwachs wäre zwar präziser möglich, ist jedoch schwieriger in die praktische Rationsgestaltung umzusetzen. Die empfohlene Spurenelementkonzentration im Futter unterstellt dabei eine bedarfsgerechte Energie- und Nährstoffdichte der jeweiligen Ration bei kalkulierbarer Aufnahme an Trockenmasse je Tier und Tag anhand ad libitum-Fütterung oder auch restriktiver Fütterung. Auch wegen schwankender Wassergehalte luftgetrockneten Futters sowie zunehmender Bedeutung der Flüssigfütterung scheint die Trockenmasse des Futters als einheitliche Bezugsbasis am zweckmäßigsten zu sein. Bei Ferkeln, Mastschweinen und Zuchtläufern (Jungsauen und Jungebern) beziehen sich die höheren Bedarfszahlen innerhalb einer angegebenen Spanne jeweils auf den Beginn der Aufzucht bzw. den Beginn der Mast. Für Zuchteber liegen bislang kaum eigene Ergebnisse zum Spurenelementbedarf vor. Nach bisheriger Kenntnis dürften die Empfehlungen für Zuchtsauen jedoch auch für männliche Zuchttiere ausreichen. Insgesamt enthalten die vorliegenden Versorgungsempfehlungen Sicherheitszuschläge für schwankenden Nettbedarf und wechselnde Verwertung der alimentären Zufuhr. Nach derzeitigem Stand der Forschung sollten diese Werte nicht unterschritten werden. Im Falle extrem hoher Energie- und Nährstoffdichte könnte u.U. auch eine maßvolle Erhöhung der Konzentration an Spurenelementen ratsam sein. Reichen die nativen Gehalte der eingesetzten Futterkomponenten nicht an die Versorgungsempfehlungen heran, so ist grundsätzlich ein Zusatz von geeigneten Spurenelementträgern zur Mineralstoffmischung erforderlich.

In Tabelle 3 ist die Entwicklung der Angaben des US-amerikanischen National Research Council (NRC) zum Spurenelementbedarf des Schweines innerhalb der letzten zwei Jahrzehnte wiedergegeben (NRC 1968, 1973, 1979, 1988). Die NRC-Angaben sind dabei nicht auf T, sondern auf luftgetrocknetes Futter (mit 90 % T) bezogen. Die Umrechnung auf absolute T bedeutet eine Erhöhung der Bedarfswerte um rund 11 %. Auffallend ist, daß die Normen trotz eines insgesamt gestiegenen Leistungsniveaus und verbesserter Futtermittelverwertung nicht generell angehoben wurden. Lediglich für Selen wurde die Bedarfsangabe von zunächst 0,1 mg auf nunmehr bis zu 0,30 mg/kg Futter bei Ferkeln sowie auf 0,15 mg bei Zuchtsauen und Zuchtebern erhöht. Für Mangan wurde die Bedarfsangabe seit der 8. Auflage der Nutrient Requirements of Swine von früher generell 20 mg sogar auf 2-4 mg für Mastschweine bzw. 10 mg für Zuchtschweine reduziert. Es ist bekannt, daß die NRC-Angaben normalerweise kaum größere Sicherheitszuschläge beinhalten und daher im internationalen Vergleich mit anderen Bedarfsangaben bzw. Empfehlungen zur Versorgung eher knapp bemessen sind. Nach dem heutigen Kenntnisstand dürfte die Angabe für den Jodbedarf von Zuchtschweinen mit 0,14 mg/kg allerdings erheblich zu gering bemessen sein. Wegen der Bedeutung von Jod für die Fruchtbarkeit, der relativ hohen Jodausscheidung über die Sauenmilch sowie des teilweisen Einsatzes von

Tabelle 3: Spurenelementbedarf des Schweines nach Angaben des NRC (6.-9. Auflage)

mg/kg Futter (90 % T)					
Element	6.	7.	8.	9. Auflage 1988	
	Aufl. 1968	Aufl. 1973	Aufl. 1979 ^{a)}	Zucht- sauen und Zuchteber	Ferkel ^{a)} und Mast- schweine
Eisen	80	80	40-150	80	40-100
Jod	0,2	0,2	0,14	0,14	0,14
Kupfer	6	6	3-6	5	3-6
Mangan	20	20	2-4 ^{b)}	10	2-4
Selen	0,1	0,1	0,10-0,15	0,15	0,10-0,30
Zink	50	50	50-100	50	50-100

^{a)} die höheren Werte innerhalb einer angegebenen Spanne gelten jeweils für Ferkel
^{b)} Zuchttiere 10 mg/kg

Rationen mit goiterogenen Substanzen (z. B. im Rapsschrot) lauten die Empfehlungen der GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE demgegenüber für Zuchtschweine auf 0,5-0,6 mg Jod/kg Futtertrockenmasse.

Der Spurenelementgehalt der reifen Sauenmilch ist nach verschiedenen Literaturangaben in Tabelle 4 zusammengestellt. Gemessen am Bedarf des Ferkels ist insbesondere der Eisengehalt mit 1,2-1,8 mg/kg extrem niedrig und durch eine eisenreiche Fütterung so gut wie nicht zu erhöhen. Aus diesem Grunde ist eine zusätzliche Eisengabe an die Ferkel in den ersten Lebenstagen unumgänglich. Abbildung 6 zeigt jüngste Ergebnisse aus unse-

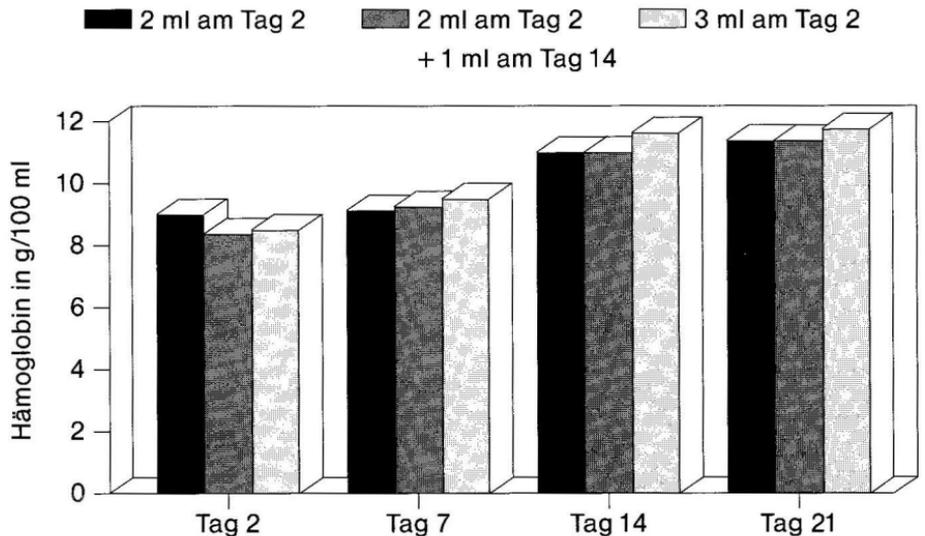
Tabelle 4: Mittlere Gehalte der Sauenmilch an Spurenelementen

Element	Gehalt 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

rem Institut (FELLMANN und PALLAUF unveröffentlicht) über die Wirksamkeit der Eiseninjektion unter praktischen Bedingungen. Verglichen wurden dabei 3 Behandlungsgruppen, nämlich 200 mg Fe (entspricht 2 ml Injektionslösung) am 2. Lebenstag, 200 mg am Tag zwei plus 100 mg am Tag vierzehn sowie in der 3. Variante 300 mg Fe am Tag zwei. Es zeigt sich, daß die zusätzliche Gabe von 100 mg am Tag vierzehn keine Vorteile bringt, während die Erhöhung der einmaligen Gabe am Tag zwei von 200 mg auf 300 mg Fe unter den vorliegenden Bedingungen und bei einem begrenzten Kollektiv in der Tendenz zu verbesserten Hämoglobinwerten führte. Auch BOLLWAHN et al. (1983) weisen darauf hin, daß 200 mg Eisen bei Ferkeln für hohe Wachstumsleistungen nicht immer ausreichend sind. Für die Verträglichkeit der Eiseninjektion ist besonders wichtig, daß sowohl Zuchtsauen wie auch deren Ferkel optimal mit Selen versorgt wurden. Im amerikanischen Schrifttum (siehe NRC 1988) wird außerdem darauf hingewiesen, daß überhöhte Eisengaben bei sehr früher Verabreichung zusätzliche Risiken aufweisen. Über die Erhöhung des ungebundenen Serum-Eisens wird nämlich ein verstärktes Bakterienwachstum ermöglicht, wodurch sich die Anfälligkeit der Ferkel für Infektionen und Diarrhöen deutlich erhöhen kann.

Aufgrund älterer Literaturangaben (z.B. PLUMLEE et al. 1956) sind in Tabelle 5 einige Mn-Mangelsymptome zusammengestellt. Neben Störungen des Knochen- und Knorpelwachstums stehen Reproduktionsstörungen im Vordergrund.

Abbildung 7: Verlauf des Hämoglobingehaltes im Blut von Saugferkeln bei parenteraler Applikation von 200 mg bzw. 300 mg Fe-Dextrin/Dextran am 2. bzw. 14. Lebenstag (n = 3 x 15)



Der Mn-Bedarf für optimale Fruchtbarkeit ist dabei deutlich höher als für das Wachstum. Biochemisch ist Mangan, wie in Tabelle 6 aufgeführt (KEEN et al. 1984), aus heutiger Sicht bei mindestens 3 Metalloenzymen essentiell. Darüber hinaus spielt Mn als mehr oder weniger unspezifischer Aktivator noch bei einer Vielzahl weiterer Enzyme eine Rolle.

Tabelle 5: Mangan-Mangelsymptome beim Schwein

- Störungen des Knochenwachstums
- Gelenksverdickungen
- Ataxie, z.T. Lahmheit und Steifheit
- Verfettung
- Reproduktionsstörungen
- erhöhte Mortalität der Ferkel

Tabelle 6: Mangan-Metalloenzyme

Arginase: - MG 120.000, 4 Mol Mn^{++} je Mol Enzym
 - Harnstoffcyclus (Mitochondrien Leber)
 - im Mn-Mangel teilweise reduzierte Aktivität

Pyruvat-
 carboxylase: - MG 500.000, 4 Mol Mn^{++} je Mol Enzym
 - Bildung von Oxalat (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)
 - im Mn-Mangel verminderte Aktivität

Der Parameter Zunahme der Lebendmasse reagiert im Manganmangel meist nicht empfindlich genug. Eine nicht leistungsgerechte Manganversorgung führt jedoch bei wachsenden Tieren neben Gelenksverdickungen frühzeitig zur Verkrümmung der Röhrenknochen der Vorderextremitäten, wie dies an unserem Institut auch für das Kaninchen (PRZYBILLA 1988) gezeigt werden konnte.

5. Problematik von Tabellenangaben

Die leistungsgerechte Spurenelementversorgung des Schweines bedarf neben möglichst präzisen Bedarfsangaben auch möglichst genauer Tabellenangaben über die nativen Gehalte der eingesetzten Einzelfuttermittel. In Tabelle 7 sind verschiedene Angaben für den Mangan- und Zinkgehalt von Winterweizen zusammengestellt. Laut DLG-Mineralstofftabelle weist

Winterweizen mittlere Mangangehalte von 36 ppm und mittlere Zinkgehalte von 65 ppm auf. Diese beiden Mittelwerte beruhen jeweils auf einer Vielzahl von Einzelanalysen. Bei Zink zeigt die extrem hohe Standardabweichung, daß es sich mit Sicherheit um keine Normalverteilung der Stichprobe, sondern eben um eine sehr schiefe Verteilung handelt. Arithmetischer Mittelwert und häufigster Wert sind daher nicht identisch. Die DDR-Futtermitteltabellen (NEHRING et al. 1972) sowie das Tabellenwerk des NRC (1988) geben für

Tabelle 7: Wieviel Mangan und Zink ist in Winterweizen enthalten?

Quelle	mg je kg Trockenmasse	
	Mangan	Zink
DLG-Mineralstofftabelle (1973)	36 ± 10 (n=362)	65 ± 63 (n=190)
DDR-Tabellen (NEHRING et al. 1972)	35	45
NRC (1988)	33,4	42
Landessortenversuche 1982 u. 1983 in Wulfs- hagen und Futterkamp mit 15 Sorten (STRAMPE 1983)	10,1–17,6 je nach Sorte, Sortendiff. p<0,001	17,6–23,9 je nach Sorte, Sortendiff. p<0,01

Tabelle 8: Eisengehalte einiger Einzelfuttermittel nach verschiedenen Tabellenangaben (mg/kg Trockenmasse)

Quelle	Fe-Gehalte				
	Gerste	Mais	Weizen	Roggen	Hafer
DLG-Tabelle (1973)	44±26	32±17	45±14	52±14	65±30
DDR-Tabelle (1972)	70	30	78	80	81
HOUBA et al. (1988)	60		45	33	93
NRC (1988)	82	37,5	33	72	72
	Soja- schrot	Acker- bohne	Erbse	Fisch- mehl	
DLG-Tabelle (1973)	160±44	86±65	64±28	526±306	
DDR-Tabelle (1972)	254	67	76	760	
HOUBA et al. (1988)			70		
NRC (1988)	156	80,4	73	124-591	

Tabelle 9: Kupfergehalte einiger Einzelfuttermittel nach verschiedenen Tabellenangaben (mg/kg Trockenmasse)

Quelle	Cu-Gehalte				
	Gerste	Mais	Weizen	Roggen	Hafer
DLG-Tabelle (1973)	6,1±1,1	3,8±1,1	7,0±2,7	5,6±1,0	4,7±0,5
DDR-Tabelle (1972)	8,2	3,4	6,0	4,9	6,2
HOUBA et al. (1988)	5,7		5,0	5,0	6,2
NRC (1988)	8,5	4,0	7,9	8,7	6,7
	Soja-schrot	Acker-bohne	Erbse	Fisch-mehl	
DLG-Tabelle (1973)	19,1±4,6	12,3±6,1	7,5±1,1	6,7±4,0	
DDR-Tabelle (1972)	22,2	8,3	9,3	4,4	
HOUBA et al. (1988)			9,8		
NRC (1988)	25,6	4,7		6,1-11,2	

Mangan sehr ähnliche, für Zink jedoch deutlich niedrigere Mittelwerte an. Generell sehr viel geringere Gehalte wurden jedoch bei einem Vergleich von 15 verschiedenen Sorten Winterweizen innerhalb zweier Standorte und zweier Anbaujahre analysiert. Außerdem traten auf diesem niedrigen Gehaltsniveau hochsignifikante Sortenunterschiede auf. Es ist bekannt, daß bei anderen Futtermitteln ebenfalls große Schwankungen auftreten bzw. die Tabellenangaben noch lückenhafter sind.

In den Tabellen 8-11 sind verschiedene Literaturangaben über mittlere Gehalte von Getreidearten und Proteinträgern an Eisen (Tab. 8), Kupfer (Tab. 9), Mangan und Zink (Tab. 10) sowie Selen (Tab. 11) vergleichend gegenübergestellt. Auch daraus wird deutlich, daß teilweise erhebliche Unterschiede bestehen. So kommt z.B. bei Selen neben besonderen analytischen Schwierigkeiten auch noch ein sehr erheblicher Standorteinfluß zum Tragen, so daß hier besonders hohe Schwankungen der nativen Gehalte zu verzeichnen sind. Im Einzelfall ist sicherlich eine verstärkte Analysendichte in Problemfällen angezeigt, vor allem solange es noch an detaillierten und genügend gesicherten Tabellenwerten mangelt.

6. Nachteile einer Überversorgung mit Spurenelementen

Effizienz und Ausmaß des Ausgleiches einer stark variierenden Spurenelementzufuhr sind insgesamt als Anpassung an die Umwelt sehr bedeutsam für den tierischen Organismus. Aufgabe der Tierernährung muß es aber sein, dem Tier nach Möglichkeit die volle Ausschöpfung oder gar die Überbean-

Tabelle 10: Mangan- und Zinkgehalte einiger Einzelfuttermittel nach verschiedenen Tabellenangaben (mg/kg Trockenmasse)

Quelle	Mn-Gehalte								
	Gerste	Mais	Weizen	Roggen	Hafer	Soja- schrot	Acker- bohne	Erbse	Fisch- mehl
DLG-Tabelle (1973)	18±6	9±9	36±10	53±32	48±13	33±10	33±33	17±2	21±12
DDR-Tabelle (1972)	20	6	35	50	51	44	54	14	13
HOUBA et al. (1988)	20		56	37	60			15	
NRC (1988)	18	6,5	38	67	40	34	9,6	3,2	5-10(-40)
	Zn-Gehalte								
DLG-Tabelle (1973)	32±8	31±11	65±63	34±6	36±4	70±18	46±12	24±7	86±21
DDR-Tabelle (1972)	28	22	45	30	31	48	55	50	86
HOUBA et al. (1988)	47		49	49	53			73	
NRC (1988)	19	22	48	32	39	58	48,3	26	112-156

spruchung der verschiedenen Regelmechanismen zu ersparen. Bei den heute geforderten hohen Leistungen dürfte dies besonders wichtig sein. Auch bei der Auseinandersetzung mit bzw. der Aufnahme von toxischen Elementen zeigt sich die Bedeutung einer optimalen Versorgung mit essentiellen Spuren- und Mengenelementen. Bis zu einem gewissen Grade kann dadurch die Gefährdung durch andere toxische Schwermetalle reduziert werden.

In Tabelle 12 sind für das Schwein neben den bereits dargelegten Bedarfswerten, Toleranzschwelle und toxische Schwelle der acht wichtigsten Spu-

Tabelle 11: Selengehalte einiger Einzelfuttermittel nach verschiedenen Tabellenangaben (mg/kg Trockenmasse)

Quelle	Gerste	Mais	Weizen	Roggen
DLG-Tabelle (1973)	0,17±0,06	0,10±0,11	0,12±0,08	0,20±0,01
HOUBA et al. (1988)	0,03		0,02	0,03
NRC (1988)	0,18	0,08	0,05	0,44
	Hafer	Soja-schrot	Erbse	Fisch-mehl
DLG-Tabelle (1973)	0,22±0,05	0,25±0,09	0,27	1,3-1,6
HOUBA et al. (1988)	0,014		0,02	
NRC (1988)	0,24	0,11		1,5-2,3

Tabelle 12: Spurenelementbedarf beim Schwein im Vergleich zu Toleranzschwelle, toxischer Schwelle und Maximalgehalten laut Futtermittelverordnung

Element	Bedarf mg/kg T	Relation zu Co (Co=1)	Toleranz- schwelle mg/kg T	toxische Schwelle mg/kg T	Max.-Gehalt lt. FMV mg/kg Futter (bei 88 % T)
Fe	50-120*	900	3000	5000	1250
I	0,15-0,6	4	400	400-800	40
Co	0,1	1	10	400	10
Cu	4-10	70	250	300-400	35-175
Mn	15-25	200	400	1000	250
Mo	0,1	1	50	1000	2,5
Se	0,15-0,3	3	2	7	0,5
Zn	50-100*	750	1000	2000	250

* hohe Werte nur für Ferkel

renelemente aus Literaturangaben (siehe PALLAUF 1986) aufgeführt. In der 3. Spalte ist der Bedarf in Relation zu dem neben Molybdän in geringster Konzentration benötigten Element Cobalt angegeben. Die Angaben zur Toleranzschwelle, bei der erste Anzeichen einer Unverträglichkeit auftreten, zeigen, daß bei Selen spätestens die zehnfache Bedarfsdosis schädlich wirken kann. Tatsächlich sind auch Selenvergiftungen in Nordamerika sehr viel früher beschrieben worden als der Selenmangel. Bei den anderen Elementen ist die Sicherheitsspanne zwischen Bedarf und Toleranzschwelle bzw. Toxizität wesentlich größer. In der letzten Spalte ist der laut Futtermittelverordnung zulässige Maximalgehalt an Spurenelementen in Alleinfuttermitteln aufgeführt. Dieser Maximalgehalt liegt zwar meist weit über dem Bedarf, aber – von Cobalt abgesehen – dennoch ganz erheblich unter der Toleranzgrenze. Damit soll sichergestellt sein, daß Gesundheit und Leistung der Tiere nicht gefährdet werden und auch die Nahrungskette insgesamt nicht zu stark belastet wird.

Eine wesentliche Überdosierung von Spurenelementen, auch wenn diese noch weit unterhalb der Toleranzgrenze liegt, ist aus mindestens 3 Gründen nicht zu empfehlen:

1. Über den Bedarf hinausgehende Gaben an Spurenelementen bringen im allgemeinen keine positiven Effekte mehr.
2. Aufgrund des Ionenantagonismus können dabei ernährungsphysiologisch schädliche Ungleichgewichte zwischen einzelnen Elementen auftreten.
3. Gegen eine dauerhafte Überschreitung der Versorgungsempfehlungen sprechen auch ökologische Gründe, da unerwünschte Anreicherungen in den Exkrementen vermieden werden sollten.

Der 3. Punkt wird am Beispiel Kupfer beim Schwein besonders deutlich, da Kupfer in hoher Dosierung bei Aufzucht und Mast als Leistungsförderer wirken kann. Während früher deshalb bis zu 250 mg Cu je kg Futter eingesetzt wurden, gestattet die Futtermittelverordnung derzeit noch maximal 175 mg bis zu einem Höchstalter der Schweine von 16 Wochen. Eine überschlägige Berechnung der Anreicherung des Kupfers in der Gülle ergibt bei einer unterstellten Verdaulichkeit der Futtertrockenmasse von etwa 80 % einen in der Gülle-Trockenmasse zu erwartenden Cu-Gehalt von über 800 mg/kg. Selbst Klärschlamm darf nach der gültigen Klärschlamm-Verordnung nur auf landwirtschaftlich genutzte Böden ausgebracht werden, wenn er weniger als 1.200 mg Cu enthält. Dabei gehen Experten davon aus, daß die Klärschlammgrenzwerte künftig noch erheblich reduziert werden. Ein Vorschlag des Verbandes Deutscher Landw. Untersuchungs- und Forschungsanstalten (RANFFT 1989), den Grenzwert für Cu im Klärschlamm auf 800 mg zu reduzieren, liegt bereits vor. Empfohlen wird heute bereits, nur Klärschlamm aus-

zubringen, der die Grenzwerte lediglich zu 10-20 % ausschöpft. Im Falle eines Cu-Gehaltes von 175 mg je kg Mischfutter würde die Schweinegülle mit rund 850 mg Cu je kg Trockenmasse den derzeit gültigen Klärschlammgrenzwert jedoch bereits zu etwa 70 % ausschöpfen.

Abschließend läßt sich feststellen, daß weitere Forschungsanstrengungen und die konsequente Anwendung neuer Erkenntnisse in der Praxis notwendig sind, um in Zukunft nicht nur einen hohen biotechnischen Stand der Tierproduktion zu gewährleisten, sondern auch eine möglichst umweltschonende Tierernährung sicherzustellen. Die leistungsgerechte Spurenelementversorgung des Schweines stellt dabei einen wichtigen Teil dar. In diesem Zusammenhang sollten auch Sicherungszusätze zu Mischfuttermitteln, die in der Vergangenheit sehr effektiv zur Prophylaxe von Spurenelementmangelerscheinungen eingesetzt wurden, kritisch auf ihre notwendige Höhe überprüft werden.

Literatur

- Anke, M., Hennig, A., Groppe, B., Partschfeld, M. und Grün, M. (1978): The biochemical role of cadmium. In: Trace element metabolism in man and animals-3, p. 540-548 (Kirchgeßner, M., ed.), ATW Freising-Weißenstephan
- Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (1987): Energie- und Nährstoffbedarf landw. Nutztiere, Nr. 4 Schweine, DLG-Verlag Frankfurt am Main
- Bollwahn, W., Knörl, H. und Heinritzi, K. (1983): Klinik und Diagnose des latenten Eisenmangels beim Ferkel. Prakt. Tierarzt **64**, 294-299
- Burk, R.F. (1989): Recent developments in trace element metabolism and function: Newer roles of selenium in nutrition. J. Nutr. **119**, 1051-1054
- DLG-Futterwerttabellen (1973): Mineralstoffgehalte in Futtermitteln, 2. Auflage, Arbeiten der DLG Band 62, Frankfurt am Main
- Houba, V.J.G., Koot, Ch., Uittenbogaard, J. (1988): Chemical composition of plant material analysed in 1981-1987, Dep. Soil Sci. Plant Nutr. Wageningen
- Keen, C.L., Lönnerdal, B., Hurley, L.S. (1984): Manganese, in: Frieden, E. (ed.): Biochemistry of the essential ultratrace elements p. 89-132, Plenum Press New York
- Kirchgeßner, M. (1987): Experimentelle Ergebnisse aus der ernährungsphysiologischen und metabolischen Spurenelementforschung. Übers. Tierernährung **15**, 153-192
- Kirchgeßner, M., Weigand, E., Schnegg, A., Grassmann, E., Schwarz, F.J., Roth, H.-P. (1980): Spurenelemente. In: Cremer, H.D., Hötzel, D., Kühnau, J. (Hrsg.): Ernährungslehre und Diätetik, Bd. 1: Biochemie und Physiologie der Ernährung. S. 275-304, Thieme, Stuttgart
- Kirchgeßner, M., Roth-Maier, D.A. und Spoerl, R. (1983): Spurenelementbilanzen (Cu, Zn, Ni und Mn) laktierender Sauen. Z. Tierphysiol., Tierernähr. u. Futtermittelkde. **50**, 230-239
- Nehring, K., Beyer, M. und Hoffmann, B. (1972): Futtermitteltabellenwerk, Oskar-Kellner-Institut für Tierernährung (Hrsg.), VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, 2. Auflage

- NRC (National Research Council) (1968-1988): Nutrient Requirements of Swine, National Academy of Sciences, Washington, D.C. 6th ed. 1968, 7th ed. 1973, 8th ed. 1979, 9th ed. 1988
- Pallauf, J. (1982): Zum Einfluß der Ernährung mit Spurenelementen auf die Qualität von Lebensmitteln tierischer Herkunft. Übers. Tierernährg. **10**, 163-188
- Pallauf, J. (1986): Ernährungsphysiologische Bedeutung von Spurenelementen beim Schwein. S. 3-26 in: Themen zur Tierernährung – Zusammenfassung der Vorträge über ernährungsphysiologische, betriebswirtschaftliche und agrarpolitische Fragen in der Veredlungswirtschaft am 5.12.1985 in Dinklage und am 30.1.1986 in Cuxhaven
- Pallauf, J. und Kirchgeßner, M. (1972): Zinkgehalte in Knochen und Ganzkörper wachsender Ratten bei unterschiedlicher Zinkversorgung. Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde. **30**, 193-202
- Pallauf, J. and Schwarz, G. (1985): Experimental studies on biochemical criteria of zinc deficiency in the rabbit. In: Mills, C.F., Bremner, I. and Chesters, J.K. (eds.): Trace elements in man and animals. Proceedings 5th Internat. Symp. p. 587-590, Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough
- Pallauf, J., Krämer, K., Markwitan, A. und Ebel, D. (1990): Effekt einer Zulage an Citronensäure auf die Bioverfügbarkeit von Zink aus Maiskeimen. Z. Ernährungswiss. **29** (im Druck)
- Plumlee, M.P., Thrasher, D.M. Beeson, W.M., Andrews, F.N. and Parker, H.E. (1956): The effects of manganese deficiency upon the growth development and reproduction of swine. J. Anim. Sci. **15**, 352-367
- Przybilla, P. (1988): Untersuchungen zum Stoffwechsel des Mangans bei Ratte und Kaninchen. Diss. agr. FB Ernährungswissenschaften Univ. Gießen
- Ranft, K. (1989): Ordnungsgemäße Landwirtschaft, Anforderung an Untersuchung und Beratung. Öffentliche Vortragstagung 101. VDLUFA-Kongreß, 20.09.1989 Bayreuth
- Rotruck, J.T., Pope, A.L., Ganther, H.E., Swanson, A.B., Hafeman, D.G. and Hoekstra, W.G. (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 Univ. Gießen
- Schwarz, G. und PALLAUF, J. (1987): Experimenteller Zinkmangel bei wachsenden Kaninchen und dessen Einfluß auf den Zinkstatus des Blutserums J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. **57**, 227-236
- Schwarz, G. und PALLAUF, J. (1989): Einfluß eines alimentären Zinkmangels wachsender Kaninchen auf die Aktivität verschiedener Zink-Metalloenzyme. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. **61**, 129-138
- Strampe, U. (1983): Sortentypisches Nährstoffaneignungsvermögen von Kulturpflanzen unter besonderer Berücksichtigung von Winterweizen. Diplomarbeit, Agrarwiss. Fakultät Kiel
- Weigand, E. and Kirchgeßner, M. (1978): Homeostatic adaptation of Zn absorption and endogenous Zn excretion over a wide range of dietary supply. IN: Trace element metabolism in man and animals-3, p. 106-109 (Kirchgeßner, M. ed.), ATW Freising-Weihenstephan
- Weigand, E., Kirchgeßner, M. and Helbig, U. (1986): True absorption and endogenous fecal excretion of manganese in relation to its dietary supply in growing rats. Biol. Trace Elem. Res. **10**, 265-279