

# Spurenelemente sind für das Schwein lebensnotwendig

Von Prof. Dr. J. PALLAUF\*)

Die Tierernährung hat zum Ziel, den jeweiligen Bedarf eines Tieres an Nähr- und Wirkstoffen möglichst optimal zu decken. Ernährungsphysiologische Anforderungen stehen dabei im Vordergrund, aber auch ökonomische und ökologische Aspekte sind zu beachten.

## Essentielle Spurenelemente und ihre Entdeckung

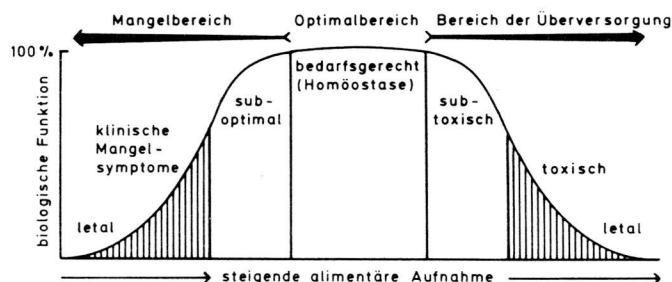
Im Gegensatz zu den Mengenelementen, wie z. B. Calcium, Phosphor, Natrium und Magnesium, werden alle jene Mineralstoffe, deren Konzentration in der Körperfrischmasse im allgemeinen unter 50 mg pro kg (d. h. unter 50 ppm) liegt, als Spurenelemente bezeichnet. Sind diese chemischen Elemente für lebensnotwendige biochemische Prozesse unentbehrlich, so zählen sie zu den essentiellen Spurenelementen und müssen in geeigneter chemischer Bindung laufend mit der Nahrung zugeführt werden.

**Tabelle 1:**  
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     |

Von den in der Tierernährung bislang als essentiell angesehenen 16 Spurenelementen (Tab. 1) sind Eisen und Jod schon sehr lange bekannt. Die Notwendigkeit der übrigen Spurenelemente ist erst in diesem Jahrhundert, meist anhand halbsynthetischer hochgereinigter Mangeldiäten für Labortiere entdeckt und erstmals beschrieben worden. Von den in Tab. 1 unter Nr. 9-16 (Chrom bis Arsen) aufgeführten neueren Spurenelementen fehlen derzeit Hinweise auf mögliche Mangelsituationen in der praktischen Tierernährung. Mit Ausnahme von Chrom, das in dreiwertiger Form essentiell für den Kohlenhydratstoffwechsel ist und in organischer Bindung als Glucosetoleranzfaktor beschrieben wurde, ist von diesen Elementen bislang auch kaum etwas über ihre spezifische biochemische Funktion im Stoffwechsel bekannt. Vielmehr zählen Arsen, Blei und Fluor ebenso wie die nach derzeitigem Kenntnisstand ausschließlich toxischen Elemente Cadmium und Quecksilber futtermittelrechtlich zu den „unerwünschten Stoffen“ (früher „Schadstoffe“). Nach Anlage 5 zu § 23 der Futtermittelverordnung dürfen bestimmte Höchstgehalte in Futtermitteln dabei nicht überschritten werden. Dies dient sowohl zum Schutze des Nutztieres als vor allem auch zum

\*) Institut für Tierernährung der Justus-Liebig-Universität Gießen



**Abb. 1:** Schema biologischer Funktionen in Abhängigkeit von der Zufuhr eines essentiellen Spurenelementes

Schutze des Menschen als Verbraucher vom Tier stammender Lebensmittel. Für die essentiellen Spurenelemente gilt die in Abb. 1 stark vereinfacht dargestellte Dosis-Wirkungsbeziehung. Danach sind zu geringe und zu hohe Gehalte im Futter schädlich und extreme Unter- und Überversorgungen mit dem Leben des Organismus nicht vereinbar. Aufgabe der Fütterung ist es, den wissenschaftlich ermittelten Optimalbedarf in der praktischen Rationsgestaltung zu realisieren, um so das Tier vor extremen Anpassungsreaktionen oder gar Mangelschäden bzw. Toxizitätsproblemen zu schützen.

## Funktionen wichtiger Spurenelemente und Mangelsymptome

### Eisen

Eisen ist Bestandteil des Hämoglobins (0,34 % Fe), der Erythrocyten, des Myoglobins im Muskel, des Transferrins im Serum, des Lactoferrins der Milch sowie mehrerer Stoffwechselenzyme und kann in der Leber als Ferritin und Hämosiderin gespeichert werden. Die ausreichende Zufuhr ist bei Saugferkeln in den ersten Lebenswochen auch heute noch keineswegs immer gesichert. Wie Tab. 2 (KIRCHGESSNER et al., 1980 u. 1982; PALLAUF, 1986) zeigt, enthält die Sauenmilch je kg im Mittel nur etwa 1,5 mg Fe. Dieser niedrige Gehalt ist auch durch eisenreiche Fütterung der Zuchtsau nicht merklich zu erhöhen. Der Tagesbedarf eines rasch wachsenden Ferkels liegt hingegen bei etwa 10 mg. Das neugeborene Ferkel weist einen Fe-Gehalt von lediglich rund 50 mg auf (NRC, 1988), wovon nur wenig mehr als 10 mg rasch verfügbar sind. Ohne zusätzliche Zufuhr von Eisen am 2.-3. Lebenstag, z. B. in Form von mindestens 200 mg Fe als Fe-Dextrin/Dextran intramuskulär oder 400 mg Fe oral in Form gut verwertba-

**Tabelle 2:**  
Mittlere Gehalte an Spurenelementen in der Sauenmilch

| 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                       |

rer Fe-Chelatkomplexe mit Depotwirkung, ist deshalb eine sichere Vermeidung von Blutarmut im allgemeinen nicht möglich. Auch frühzeitiger Auslauf der Ferkel oder das Einbringen eisenreicher und parasitenfreier Erde in die Bucht sowie das Bestreichen des Gesäuges mit geeigneten Fe-Lösungen können hilfreiche Maßnahmen sein. Insbesondere bei der Fe-Injektion ist wichtig, daß die Ferkel nicht unter Mangel an Vitamin E und Selen leiden, da es sonst zu Tierverlusten kommen kann.

Hämoglobingehalte von 10 g pro 100 ml Blut sollten beim Ferkel möglichst nicht unterschritten werden. Die spätestens bei Hb-Werten von unter 8 g/100 ml auftretende hypochrome mikrocytäre Fe-Mangelanämie schwächt Vitalität, Wachstum und Immunabwehr der Ferkel. Die Anämiegefahr ist erst gebannt, wenn die Ferkel genügend eisenreiches Beifutter oder Ferkelaufzuchtfutter aufnehmen.

## Jod

Jod als Bestandteil der Schilddrüsenhormone Trijodthyronin ( $T_3$ ) und Thyroxin ( $T_4$ ) wird vom Zuchtschwein in wesentlich größeren Mengen (Bedarf 0,5–0,6 mg/kg Futtertrockenmasse) benötigt als von Ferkeln und Mastschweinen (Bedarf 0,15 mg/kg Futter-T). In der praktischen Schweinefütterung wurde in den zurückliegenden Jahren jodreiches Fischmehl mehr und mehr durch pflanzliche Proteinträger ersetzt. Auch Futtermittel mit goiterogenen Inhaltsstoffen, wie z. B. Isothiocyanate im Rapsschrot, kommen teilweise zum Einsatz und können einen relativen Jodmangel verursachen.

## Kupfer

Die essentielle Funktion des Cu in vielen Enzymen, wie Superoxid-Dismutase, Cytochrom-c-Oxidase, Uricase, Tyrosinase und Coeruloplasmin läßt erkennen, daß Cu-Mangel zu schweren Störungen führen muß. Besonders zu nennen sind eine im Cu-Mangel unzureichende Erythropoese sowie vermehrte Totgeburten. Der Cu-Gehalt der Sauenmilch dürfte jedoch für die ersten beiden Lebenswochen des Saugferkels meist ausreichend sein. Die Problematik der Cu-Versorgung liegt heute weniger in der Frage einer Unterversorgung, sondern mehr im Einsatz hoher Cu-Gaben mit leistungsfördernder Wirkung. Cu-Zulagen bis zu einem Gesamtgehalt von 175 mg Cu/kg Futter werden teilweise in Ferkelaufzucht und Schweinemast eingesetzt, um ihre wachstumsfördernde Wirkung zu nutzen. Diese hohe Cu-Dosierung entspricht etwa dem 30fachen ernährungsphysiologischen Bedarf und ist veterinärmedizinisch sowie vor allem auch ökologisch (z. B. Cu-Anreicherung in der Gülle) nicht unbedenklich. Der Cu-Gehalt von Alleinfuttermitteln für Schweine ab 16 Wochen Alter ist deshalb futtermittelrechtlich auf maximal 35 mg/kg Futter begrenzt. Aufgrund des Ionenantagonismus, insbesondere auf der Ebene der Absorption, können hohe Cu-Gaben bei marginaler Zufuhr von Fe und Zn bei diesen Elementen zu Mangelsituationen führen. Außerdem besteht die Gefahr überhöhter Cu-Akkumulation in der Leber des Schweines. Neben Gesundheitsrisiken für das Schwein könnten daraus auch für die Humanernährung unerwünscht

hohe Cu-Konzentrationen des Lebensmittels Leber (PALLAUF, 1982) resultieren.

## Mangan

Mangan ist als Bestandteil der Enzyme Arginase, Pyruvat-carboxylase und einer Mn-abhängigen Superoxid-Dismutase unentbehrlich und dient darüber hinaus zur Aktivierung vieler weiterer Enzyme. Der Mangangehalt des tierischen Organismus ist vergleichsweise gering, und dementsprechend sind auch die Mangangehalte tierischer Futtermittel niedrig. Manganmangel führt beim wachsenden Schwein zu Störungen der Mucopolysaccharidsynthese und damit des Knochenwachstums und zu Gelenkverdickungen. Lahmheit und Steifheit können die Folge sein. Bei der Sau führt Manganmangel zu Reproduktionsstörungen, bei Ferkeln wurde erhöhte Mortalität beobachtet.

## Selen

Selen ist in dem Enzym Glutathionperoxidase enthalten, das zur Entgiftung von Lipid-Peroxiden dient und celluläre sowie subcelluläre Membranen vor Schädigungen durch Peroxide schützt. Selen und Vitamin E üben einen gegenseitigen Spareffekt aufeinander aus, da beide antioxidative Wirkungen entfalten. Hohe Zulagen an Vitamin E können den Bedarf an Selen jedoch nicht vollständig ersetzen. Nach derzeitigem Stand der Forschung liegt der Selenbedarf des Schweines normalerweise bei 0,15–0,30 mg je kg Futtertrockenmasse. Fettreiche Rationen mit höheren Gehalten an ungesättigten Fettsäuren sowie Haltungsstress können den Selenbedarf erhöhen. Selenmangel führt zu Lebernekrose, Weißmuskelkrankheit, Maulbeerherzkrankheit, Lungenödemen, reduzierter Fruchtbarkeit, geschwächter Immunabwehr und auch zu plötzlichen Todesfällen (NRC, 1988). Für das Auftreten der akuten Rückenmuskelnekrose des Schweines kommen unter den derzeitigen Bedingungen jedoch ernährungsbedingte Faktoren als Primärursache kaum in Betracht.

## Zink

Zink ist Bestandteil einer Vielzahl von Metalloenzymen, wie z. B. Alkalischer Phosphatase, Carboxypeptidase, Carboanhydrase, verschiedenen Dehydrogenasen sowie RNA- und DNA-Polymerase und dient darüber hinaus zur Aktivierung weiterer Enzyme im Stoffwechsel. Seit 1955 ist bekannt, daß die Parakeratose des Schweines, eine bis dahin rätselhafte, weltweit verbreitete Krankheit, durch Zinkzulagen zum Futter zu heilen bzw. zu vermeiden ist. Zinkmangel führt beim Schwein zu reduziertem Futterverzehr und verringerter Zuwachsrates, wie dies neuerdings von KIRCHGESSNER et al. (1989) wieder eindrucksvoll gezeigt werden konnte. Die Zinkverwertung aus dem Futter wird beim Schwein unter anderem durch Phytinsäure bzw. pflanzliche Phytate, durch Calcium, Kupfer und auch Cadmium negativ beeinflusst. Während der Mindest-Zinkbedarf des rasch wachsenden Ferkels bei einer phytatfreien Diät mit rund 30 mg/kg Futter bestimmt wurde (HANKINS et al., 1985), wird bei phytinhaltigem Futter aus Getreide und z. B. Soja als Proteinträger, für Ferkel eine Zinkzufuhr von 80–100 mg/kg Futtertrockenmasse (AUS-

SCHUSS FÜR BEDARFSNORMEN DER GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE, 1987) empfohlen. Der Zinkbedarf von Mastschweinen und Zuchtläufem hingegen liegt bei praxisüblichen (phytathaltigen) Rationen zwischen 50–60 mg/kg Futtertrockenmasse. Damit wird auch der im Vergleich zu Börgen bei weiblichen Tieren und vor allem bei Aufzuchtebern etwas höhere Zn-Bedarf (NRC, 1988) noch gut gedeckt.

## Sonstige essentielle Spurenelemente

Als Bestandteil des Vitamin-B<sub>12</sub>-Moleküls ist Kobalt auch für das Schwein lebensnotwendig. Unter der Voraussetzung einer ausreichenden B<sub>12</sub>-Zufuhr wurde ein von B<sub>12</sub> unabhängiger Co-Bedarf beim Schwein bislang nicht nachgewiesen. Auch der Molybdänbedarf des Schweines wurde bislang nicht quantifiziert. Mo-Mangelerkrankungen sind beim Schwein weder bekannt noch wahrscheinlich, da viele Futtermittel hohe native Mo-Gehalte aufweisen.

## Spurenelementbedarf und -versorgung

In **Tabelle 3** sind die Empfehlungen zur Spurenelementversorgung des Schweines, wie sie der AUSSCHUSS FÜR BEDARFSNORMEN DER GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE (1987) verabschiedet hat, zusammen-

fassend wiedergegeben. Die Zahlen basieren auf dem derzeitigen Stand der wissenschaftlichen Forschung und beinhalten Sicherheitszuschläge für in der Praxis vielfach auftretende Verwertungsstörungen. Innerhalb einer angegebenen Spanne beziehen sich die höheren Zahlen bei Ferkeln, Mastschweinen und Zuchtläufem (Jungsauen und Jungebern) jeweils auf den Beginn der Aufzucht bzw. den Mastbeginn. Im Falle extrem hoher Energie- und Nährstoffdichte sollte auch die Konzentration an Spurenelementen etwas erhöht werden. Eine gute Versorgung mit essentiellen Spurenelementen kann teilweise auch einen gewissen Schutz vor toxischen Elementen, wie z. B. Cadmium, bieten. Werden die aufgeführten Richtwerte durch die natürlichen Gehalte der eingesetzten Futterkomponenten nicht erreicht, so muß grundsätzlich ein entsprechend genau dosierter Zusatz über geeignete futtermittelrechtlich zugelassene Verbindungen (Zusatzstoffe) zur Mineralstoffmischung erfolgen. Die dabei bestehenden Abgabe- und Verwendungsbeschränkungen, wie z. B. das Einbringen nur über Vormischungen und durch anerkannte Herstellerbetriebe, sollen vor gefährlichen Fehldosierungen schützen.

Eine erhebliche Überdosierung von Spurenelementen ist aus verschiedenen Gründen nicht zu empfehlen. Zum einen können dadurch ernährungsphysiologisch unerwünschte Ungleichgewichte innerhalb der Spurenelemente auftreten, zum anderen sollte aus ökologischen Gründen auf eine überhöhte Spurenelementdosierung im Schweinefutter verzichtet werden, da die dann erhöhten Gehalte in der Gülle langfristig weitere Probleme verursachen können.

## Schlußbemerkung

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 geringe Kosten, während Mangelerkrankungen sehr rasch zu gesundheitlichen Schäden, Leistungseinbußen und damit hohen wirtschaftlichen Verlusten führen können. Die konsequente Anwendung neuer Erkenntnisse der Tierernährungsforschung auch auf dem Gebiete der Spurenelemente hat insgesamt zu einer wesentlichen Verbesserung der Produktionsbedingungen beigetragen. Eine bedarfsgerechte und ausgewogene Versorgung mit Spurenelementen dient beim Mastschwein über die Erzeugung gesunden Schweinefleisches auch dem Verbraucher.

## Zusammenfassung

Von den insgesamt nach heutiger Kenntnis in der Tierernährung als essentiell angesehenen 16 Spurenelementen haben Eisen (für Saugferkel), Jod, Kupfer, Mangan, Selen und Zink beim Schwein besondere praktische Bedeutung. Der Bedarf an Spurenelementen wird üblicherweise in mg pro kg Futtertrockenmasse ausgedrückt. Die Empfehlungen zur Spurenelementversorgung beinhalten Sicherheitszuschläge für in der Praxis nicht immer auszuschließende Verwertungsstörungen. Reichen die nativen Gehalte der eingesetzten Futterkomponenten nicht aus, so werden bei der Mischfutterherstellung die einzelnen Elemente gezielt über futtermittelrechtlich als Zusatzstoffe zugelassene Verbindungen ergänzt. Diese ernährungsphysiologisch notwendigen Zusätze verursachen nur geringe Kosten, verhüten jedoch Mangelerkrankungen, Leistungseinbußen sowie eine Schwächung der Immunabwehr der Tiere und leisten auch einen wertvollen Beitrag zur Erzeugung gesunder vom Tier stammender Nahrungsmittel. Erhebliche Überdosierungen von Spurenelementen sind sowohl aus ernährungsphysiologischen wie auch aus ökologischen Gründen nicht zu empfehlen. □

**Tabelle 3:**  
**Empfehlungen zur Spurenelementversorgung**  
**des Schweines (mg/kg Futtertrockenmasse)**

| Spurenelement | Ferkel               | Mastschweine und Zuchtläufer | Zuchtsauen und Zuchteber |
|---------------|----------------------|------------------------------|--------------------------|
| Eisen (Fe)    | 80–120 <sup>*)</sup> | 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                       |

<sup>\*)</sup> Bei Saugferkeln zusätzlich mindestens 200 mg Fe intramuskulär am 2.–3. Lebenstag

## L I T E R A T U R

- AUSSCHUSS FÜR BEDARFSNORMEN DER GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGS-  
PHYSIOLOGIE (1987): Energie- und Nährstoffbedarf landw.  
Nutztiere, Nr. 4 Schweine,  
DLG-Verlag Frankfurt am Main
- HANKINS, C.C., VEUM, T.L. and REEVES, P.G. (1985): Zinc Requirement  
of the Baby Pig when fed Wet-Autoclaved Spray-Dried Egg  
Albumen as the Protein Source  
J.Nutr. 115, 1600-1612
- KIRCHGESSNER, M., ROTH-MAIER, D.A. und SPOERL, R. (1980):  
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., ROTH-MAIER, D.A.; GRASSMANN, E. und MADER, H.  
(1982): Verlauf der Fe-, Cu-, Zn-, Ni- und Mn-Konzentration  
in Sauenmilch während einer fünföchigen Laktationsperiode  
Arch.Tierernährung 32, 853-858
- KIRCHGESSNER, M., ROTH, F.X. und ROTH, H.-P. (1989): Beziehungen  
zwischen dem Zink- und dem Vitamin-A-Versorgungsstatus  
bei Schweinen.  
J.Anim.Physiol.a.Anim.Nutr. 61, 159-167
- NRC (National Research Council) (1988): Nutrient Requirements  
of Swine, 9<sup>th</sup> ed., National Academy of Sciences,  
Washington, D.C.
- 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, betriebs-  
wirtschaftliche und agrarpolitische Fragen in der Ver-  
edlungswirtschaft am 5.12.1985 in Dinklage und  
am 30.1.1986 in Cuxhaven