

Ernährungsphysiologische Bedeutung des Zinks in der Tierernährung

Prof. Dr. Josef PALLAUF, Gießen

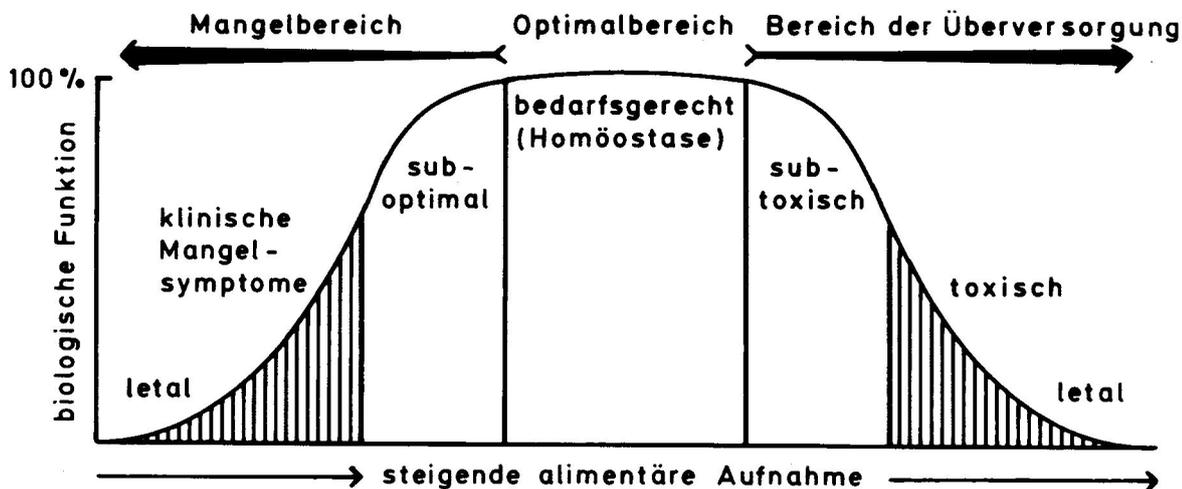


Abb. 1.
Schema biologischer Funktionen in Abhängigkeit von der Zufuhr des essentiellen Spurenelementes Zink

Zink als lebensnotwendiges Spurenelement wurde erstmals 1869 in einer französischen Arbeit am Beispiel des Wachstums von *Aspergillus niger* beschrieben. Der Nachweis der Essentialität des Zinks im Tierreich wurde bei wachsenden Ratten 1934 in den USA anhand einer gereinigten halbsynthetischen Caseindiät erbracht. Zink-Mangelerkrankungen bei Tieren wurden dennoch zunächst lange Jahre irrtümlicherweise für unwahrscheinlich gehalten, da aus ersten Bedarfsstudien an wachsenden Ratten – ebenfalls in den USA – mit etwa 4 mg Zn je kg Diättrockenmasse ein, im Vergleich zu den üblichen Gehalten in Futtermitteln, sehr niedriger Bedarf abgeleitet wurde. Dieser niedrige Bedarfswert hielt späteren Überprüfungen nicht stand [1, 2]. Seit längerem ist bekannt, daß der Zinkbedarf von Tieren wesentlich höher liegt. Einschließlich von Sicherheitszuschlägen für die schwankende Verwertung

verschiedener Zinkherkünfte unter Praxisbedingungen werden heute für die meisten Tierarten bzw. Nutzungsrichtungen Gehalte von etwa 50 mg Zn je kg luftgetrocknetem Futter (ca. 88 % Trockenmasse) angestrebt.

Zink-Mangelerkrankungen

In den Mittelpunkt wissenschaftlichen Interesses trat die Zinkversorgung landwirtschaftlicher Nutztiere, als im Jahre 1955 in den USA gezeigt werden konnte, daß die bis dahin weltweit verbreitete Parakeratose des Schweines durch Zinkzulagen zu verhindern bzw. zu heilen ist. Parakeratose, eine alimentär bedingte Hautkrankheit, bei der die normalen Umwandlungsvorgänge vom *Stratum germinativum* zum *Stratum corneum* schwer gestört sind, war bis dahin vor allem nach Verfütterung phytatreicher Mais-Sojarationen an Ferkel und Mastschweine gehäuft aufgetreten. Inzwischen ist darüber hinaus ein hereditärer Zinkmangel des Rindes, der auch mit typischen Hautveränderungen einhergeht und Parallelen zur ebenfalls genetisch bedingten Acrodermatitis enteropathica des Menschen aufweist, beschrieben worden.

Ein sehr vereinfachtes Schema biologischer Funktionen in Abhängigkeit von der Zufuhr an Zink ist in Abb. 1 [3] dargestellt. Danach sind zu geringe und zu hohe Zinkgehalte im Futter schädlich und extreme Unter- und Überversorgung mit dem Leben des tierischen Organismus nicht vereinbar. Aufgabe der praktischen Tierernährung ist es daher, den wissenschaftlich ermittelten Optimalbedarf in der Gestaltung der täglichen Futterration zu realisieren, um so landwirtschaftliche Nutztiere, Labortiere sowie Heim- und Hobbytiere vor extremen Anpassungsreaktionen, auf jeden Fall aber vor Mangelschäden einerseits und Toxizitätsproblemen andererseits, zu schützen.

Zinkmangel führt bei Schwein, Kaninchen, Ratte und vielen weiteren Tierarten zu reduziertem Futterverzehr und verringertem Wachstum. Dies zeigt Abb. 2 [4] am Beispiel eines Versuches mit wachsenden männlichen Mastkaninchen der Rasse Weiße Neuseeländer. Bei den pair-fed Kontrolltieren wurde dabei die Futteraufnahme auf das Niveau der Zn-Mangeltiere begrenzt. Sowohl die pair-fed als auch die ad libitum gefütterten Kontrolltiere erhielten mit 47,6 mg Zn je kg Diät-Trockenmasse (mg Zn je kg \triangleq ppm Zn) eine ausreichende Zinkversorgung.

Institut für Tierernährung der Justus-Liebig-Universität Gießen, Vortrag vor dem Deutschen Verzinkefertag Feuerverzinken '93 am 24. 9. 1993 in Hannover

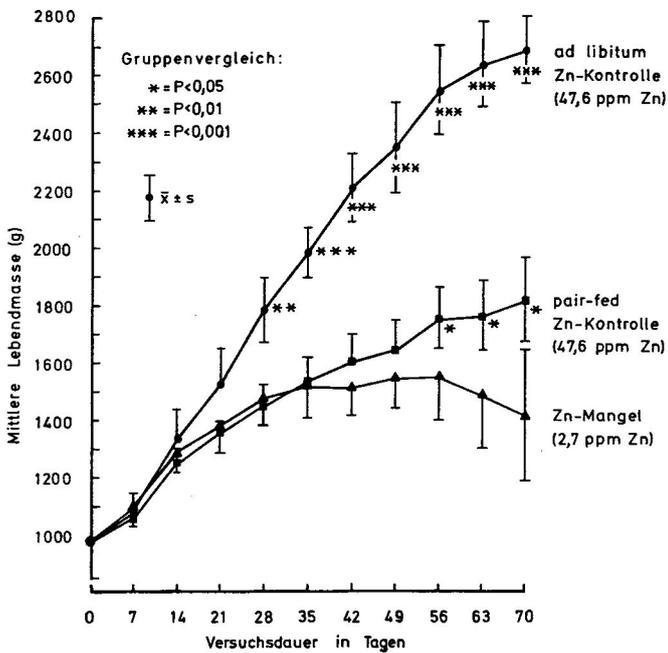


Abb. 2. Lebendmasseentwicklung männlicher Mastkaninchen bei mangelnder Zn-Versorgung im Vergleich zu pair-fed und ad libitum Kontrolltieren mit ausreichender Zinkergänzung

versorgung für die Ausbildung des körpereigenen Immunsystems untersucht und nachgewiesen. In der wissenschaftlichen Forschung wird seit mehreren Jahren auch verstärkt die Rolle des Zinks bei der Aufrechterhaltung der Struktur und Funktion von Biomembranen diskutiert. Da sich in Modellstudien an der Erythrocytenmembran von Ratten kein Einfluß eines Zinkmangels auf die Lipidzusammensetzung der Membran zeigte, ist zu vermuten, daß der nachweislich membranschützende Mechanismus des Zinks auf einer direkten Einwirkung des Kations auf die Membranoberfläche beruhen dürfte [5].

Eine besonders zinkreiche Verbindung stellt das Metallothionein dar, das vorzugsweise im Parenchym von Leber, Niere, Pancreas und Darm anzutreffen ist. Seine genauen Funktionen sind noch nicht völlig geklärt. Vermutet werden Funktionen bei der Homöostase, d. h. Aufrechterhaltung einer physiologischen Zn-Konzentration im Stoffwechsel, sowie eine detoxifizierende Rolle gegenüber dem Schwermetall Cadmium und eine mögliche Schutzfunktion vor schädlichen freien Radikalen.

Zur Verwertung des Nahrungszinks in der Tierernährung

Die vielschichtigen lebensnotwendigen Funktionen des Zinks lassen unschwer erkennen, wie wichtig eine bedarfsgerechte Versorgung für Gesundheit, Fruchtbarkeit und Leistung der Tiere ist. Für die

gung, während sich 2,7 mg Zn je kg Diät-TM als eindeutig mangelhaft erwiesen. Aus einem weiteren Versuch mit weiblichen Mastkaninchen ist in Abb. 3 [4] die deutliche Abnahme der Aktivität des Zn-Metalloenzymes alkalische Phosphatase im Zinkmangel dargestellt. Die Aktivität dieses Enzyms kann, ähnlich wie die freie Zn-Bindungs Kapazität des Blutserums, unter kontrollierten Bedingungen ein geeigneter Statusparameter für die Zinkversorgung des Organismus sein. Wie Abb. 2 zeigt, kommt es im schweren Zinkmangel zu einer Stagnation des Wachstums, später sogar zu einem Verlust an Lebendmasse. Zn-Mangeltiere zeigen dabei zunächst struppiges, später lückenhaftes Haarkleid mit Alopezie und ausgeprägten Epidermalläsionen. Nach einer verbesserten Zinkversorgung über Futter oder Trinkwasser steigen Aktivität und Futteraufnahme der Mangeltiere innerhalb weniger Stunden an. Zumindest im Frühstadium erwiesen sich die Zn-Mangelsymptome wachsender Tiere als weitgehend reversibel, während Zn-Mangel in der Gravidität sehr frühzeitig zu bleibenden Schäden in der embryonalen Entwicklung führen kann.

talloenzymen wie Carboanhydrase, alkalischer Phosphatase, Carboxypeptidasen, zahlreichen Dehydrogenasen sowie RNA- und DNA-Polymerase und vielen anderen Enzymen. Darüber hinaus dient es zur mehr oder weniger spezifischen Aktivierung vieler weiterer Enzyme im Stoffwechsel. Enge Wirkzusammenhänge bestehen auch zwischen Zink und dem in der Bauchspeicheldrüse gebildeten Hormon Insulin. In jüngerer Zeit wurde die Bedeutung einer optimalen Zink-

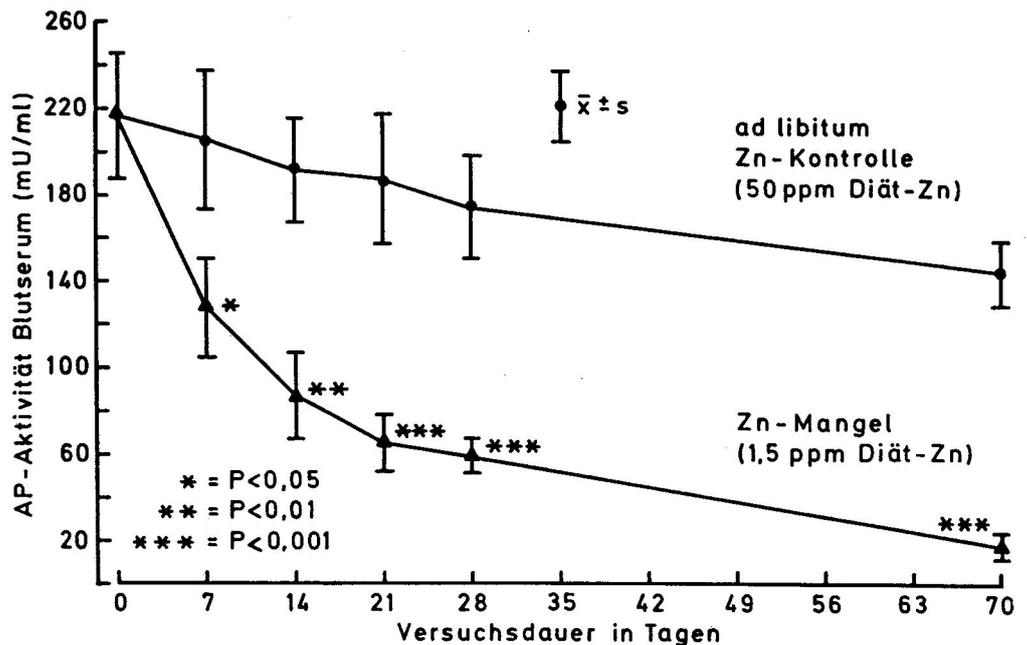


Abb. 3. Verlauf der Aktivität der alkalischen Phosphatase des Blutserums wachsender weiblicher Kaninchen (Lebendmasse zu Versuchsbeginn 1000 g) bei mangelnder und bei ausreichender Zn-Versorgung

Ernährungsphysiologische Funktionen des Zinks

Als zweiwertiges Kation ist Zink essentieller Bestandteil von Me-

Versorgung des Stoffwechsels ist aber neben der absoluten Menge vor allem die Verwertung des zugeführten Zinks bedeutsam, die wiederum von dessen Bioverfügbarkeit abhängt. Die Verwertung des mit der Nahrung zugeführten Zinks wird insbesondere durch die gastrointestinale Löslichkeit der einzelnen Zinkverbindungen, durch Ligandenkonkurrenz sowie die damit zusammenhängende Absorbierbarkeit und die intermediäre Verfügbarkeit bestimmt. In Tabelle 1 sind einige experimentelle Methoden zur Messung der Zinkverwertung aufgeführt. Große praktische Bedeutung hat die scheinbare Verdaulichkeit als wichtiger Teilschritt der Verwertung. Genauere Aussagen ermöglicht die wahre Verdaulichkeit oder wahre Absorption, die die Bestimmung des endogenen Anteiles im Kot, z. B. mit der Isotopen-Verdünnungsmethode, voraussetzt. Dabei sind vor allem die minimalen, d. h. unvermeidlichen endogenen Verluste interessant, deren Quantifizierung unter anderem zur faktoriellen Bedarfsableitung erforderlich ist. Eine weitere wichtige Methode stellen Bilanzstudien dar, in denen neben den Verlusten über den Kot auch die Harnverluste erfaßt werden. Im Falle von Zink erfolgt allerdings der größte Teil auch der endogenen Exkretion auf faekalem Wege. Über die Nieren wird in der Regel nur relativ wenig Zink ausgeschieden.

Zink aus vom Tier stammenden Futtermitteln ist im allgemeinen deutlich besser absorbierbar als aus pflanzlichen. Insbesondere in Samen von Getreide, Leguminosen und Ölfrüchten wird Zink u. U. als schwerlösliches Chelat aus Phytinsäure (Hexaphosphorsäureester des Inosits) und anderen zweiwertigen Kationen, z. B. Ca und Mg, komplexiert und damit der Absorption im Gastrointestinaltrakt entzogen. Phytasen, Enzyme, die zur Spaltung der in diesem Falle antinutritiv wirkenden Phytinsäure befähigt sind, kommen teilweise in Futtermitteln vor, während monogastrische Tiere kaum über körpereigene Phytasen verfügen. Als Beispiel für den negativen Einfluß von Phytinsäure (PA) auf die Zinkverwertung ist in Abb. 4 [6] das Wachstum von Laborratten unter dem Einfluß von Zulagen an Phytat und Phytase aufgezeigt. Wurden zu einer phytinfreien Rattendiät, die optimales Wachstum ermöglichte (Gruppe I), 0,5 bzw. 1,0 % Na-Phytat zugesetzt, so wurde die Zinkverfügbarkeit aus der Diät dosisabhängig reduziert und damit auch das Wachstum der Tiere verschlechtert (Gruppe II und insbesondere Gruppe III). Durch den Zusatz von 1000 Einheiten mikrobieller Phytase je kg Futter konnte

Tab. 1. Methoden zur Bestimmung der ernährungsphysiologischen Verwertung des Spurenelementes Zink in der Tierernährung

1. Scheinbare Verdaulichkeit (Aufnahme minus faekale Exkretion)
2. Wahre Verdaulichkeit (Isotopen-Verdünnungsmethode)
3. Bilanzstudien (Aufnahme minus faekale und renale Exkretion)
4. Vergleichende Ganzkörperanalyse (wachsende Tiere) bzw. Analyse von Milch und Foeten
5. Dosis-Wirkungsversuche
 - 5.1 Wachstumsversuche
 - 5.2 Konzentrationsmessung Serum u. ä.
 - 5.3 Konzentrationsmessung Skelett
 - 5.4 Spezifische Enzymaktivitäten

der negative Einfluß von 0,5 % Phytat vollständig (Gruppe IV), der von 1,0 % Phytat (Gruppe V) zumindest teilweise behoben werden. Durch Phytasezulagen kann somit Zink aus phytinhaltigen Futtermitteln u. U. für das Tier besser verfügbar gemacht werden.

Zinkbedarf und Zinkversorgung in der Tierernährung

Aus Praktikabilitätsgründen wird in der Tierernährung der Bedarf an Spurenelementen in mg pro kg Futtertrockenmasse ausgedrückt. Nach heutigem wissenschaftlichen Kenntnisstand benötigen die meisten Tiere etwa 50 mg Zink je kg Futtertrockenmasse in der Gesamtration für eine sicher ausreichende Versorgung. Deutlich höher mit 80–100 mg Zn je kg Futter-TM liegt allerdings die Versorgungsempfehlung für junge, rasch wachsende Ferkel, da bei ihnen ansonsten die Gefahr einer Parakeratose, insbesondere bei phytinreichen Mais-Sojadiäten, sehr hoch ist. Nach Eisen ist Zink jenes Spurenelement, von dem die größte Menge im tierischen Stoffwechsel benötigt wird. Im Mittel sind im tierischen Organismus 20–30 mg Zink je kg Körperfrischmasse enthalten. Die natürlichen Zinkgehalte liegen in vielen Futtermitteln häufig erheblich unter

den genannten Bedarfswerten. Nur teilweise kann dieses Defizit durch Kombination mit zinkreichen Einzelfuttermitteln ausgeglichen werden. Zulagen an ernährungsphysiologisch gut verwertbaren Zink-Verbindungen sind deshalb seit vielen Jahren laut Futtermittelrecht möglich und bewährte Praxis. Die in Tab. 2 aufgelisteten Zink-Verbindungen sind laut Futtermittelverordnung zugelassene Zusatzstoffe, die zur Ergänzung unzureichender nativer Zinkgehalte in Mischfuttermitteln dienen. Zinkzusätze sind dabei nicht nur erlaubt, sondern aufgrund ihrer großen Bedeutung für Gesundheit und Leistungsfähigkeit unserer Nutztiere sowie die Qualität der erzeugten tierischen Produkte für bestimmte Futtermittel unverzichtbar. Für eine Reihe von Alleinfuttermitteln (z. B. für Schweine und Geflügel) sind bei der sogenannten Normtypqualität Mindestzinkgehalte vorgeschrieben. Dies trifft auch für eine Reihe von Ergänzungsfuttermitteln nach Normtyp (z. B. Mineralfutter für Rinder) zu. Obwohl Zink erst bei hoher Überdosierung toxische Wirkungen entfaltet, ist in der Futtermittelverordnung eine Höchstgrenze von 250 mg Zn je kg Alleinfutter vorgeschrieben, die dem Schutz des Tieres und der Umwelt dient. Ein Mineralfutter (Ergänzungsfuttermittel), von

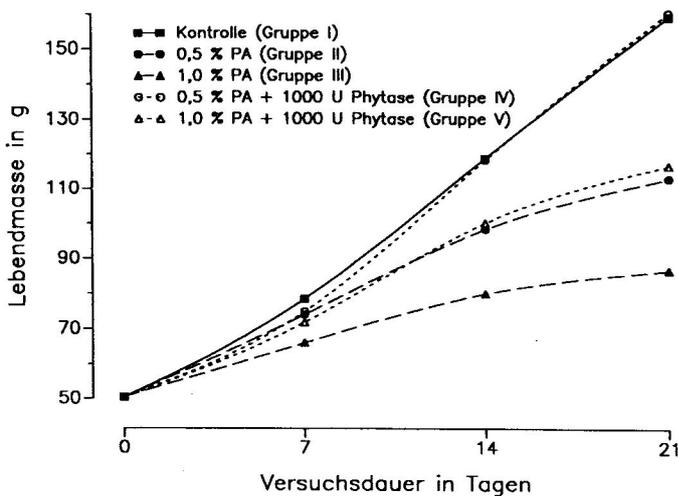


Abb. 4. Lebendmasseentwicklung wachsender Ratten bei 20 ppm Diätzink ohne Phytatzulage (Gruppe I), mit Zulage von 0,5 % bzw. 1,0 % Na-Phytat (PA) in Gruppe II bzw. III sowie Zulagen von PA (0,5 bzw. 1,0 %) plus 1000 Einheiten mikrobieller Phytase je kg Diät (Gruppe IV bzw. V)

Tab. 2. In der Tierernährung futtermittelrechtlich als Zusatzstoffe zugelassene Zinkverbindungen

Bezeichnung	Chemische Formel
Zinkacetat, Dihydrat	$Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$
Zinkcarbonat	$ZnCO_3$
Zinkchlorid, Monohydrat	$ZnCl_2 \cdot H_2O$
Zinklactat, Trihydrat	$Zn(C_3H_5O_3)_2 \cdot 3H_2O$
Zinkoxid	ZnO
Zinksulfat, Heptahydrat	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$
Zinksulfat, Monohydrat	$ZnSO_4 \cdot H_2O$

dem z. B. nur 100 g je Milchkuh und Tag verfüttert werden, darf jedoch beispielsweise wesentlich höhere Zinkgehalte aufweisen, solange dadurch ein Höchstgehalt von 250 mg Zn je kg der Gesamtration (bei 88 % TM) nicht überschritten wird.

Wie andere als Zusatzstoffe zugelassene Spurenelementverbindungen dürfen auch Zinkverbindungen wegen der Gefahr von Fehl- und vor allem von Überdosierungen nicht an den Landwirt direkt abgegeben werden. Vielmehr müssen sie stets vorher in geprüften Präzisionsmischanlagen über Vormischungen exakt dosiert und gleichmäßig verteilt in die Mischfuttermittel eingebracht werden. Überhöhte Zinkzusätze im Futter könnten unter anderem die Verwertung von Eisen und Kupfer aus der Nahrung empfindlich beeinträchtigen und sind

auch aus ökologischen Gründen abzulehnen, da sie langfristig zur übermäßigen Zinkanreicherung der mit den tierischen Exkrementen gedüngten Böden führen könnten.

Abschließend bleibt festzuhalten, daß gezielte Zinkergänzungen über Mischfutter heute integraler Bestandteil einer tier- und leistungsgerechten Ernährung geworden sind. Auf dem Wege der Nahrungskette kommt diese Ergänzung unzureichender natürlicher Zinkgehalte der Futtermittel nicht nur dem Tier, sondern über hochwertige vom Tier stammende Lebensmittel auch der Gesundheit des Menschen zugute. Der erstaunlich hohe Zinkgehalt der Kuhmilch von etwa 5–6 mg Zn je kg Frischmilch (entsprechend ca. 40–45 mg Zn je kg Milch-trockenmasse), der bei sehr zinkarmer Fütterung der Kuh deutlich abnimmt,

mag dazu als Beispiel dienen. Milch und Milchprodukte von optimal ernährten Kühen sind in der Humanernährung nicht nur wichtige Calciumlieferanten, sondern stellen auch eine qualitativ und quantitativ wertvolle Zinkquelle dar.

Literatur

1. Pallauf, J.: Zur Funktion und Verteilung des Zinks im tierischen Organismus. Mitt. Tierhaltung 11 (1971) H. 130, 20–26 u. H. 131, 12–24
2. Pallauf, J.; Kirchgeßner, M.: Zum Zinkbedarf wachsender Ratten. Internat. Z. Vit. Ern. Forschung 41 (1971), 543–553
3. Pallauf, J.: Effizienz der Mineralstoffverwertung in der Tierernährung. S. 25–40 in: Umweltaspekte der Tierproduktion, Kongreßband 103. VDLUFA-Kongreß Ulm 16.–21. 9. 1991, VDLUFA-Verlag Darmstadt 1991,
4. Schwarz, G.; Pallauf, J.: Einfluß eines alimentären Zinkmangels wachsender Kaninchen auf die Aktivität verschiedener Zink-Metalloenzyme. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 61 (1989), 129–138
5. Behrens, G.; Pallauf, J.: Einfluß eines alimentären Zinkmangels auf die Lipidzusammensetzung der Erythrocytenmembran wachsender Ratten. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 68 (1992), 156–164
6. Rimbach, G.; Pallauf, J.: Effekt einer Zulage mikrobieller Phytase auf die Zinkverfügbarkeit. Z. Ernährungswiss. 31 (1992), 269–277