

Aus dem Institut für Tierernährung  
des Fachbereiches Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin

# **Organische Spurenelemente – Eine Literaturübersicht**

**Inaugural-Dissertation**  
zur Erlangung des Grades eines  
Doktors der Veterinärmedizin  
an der  
Freien Universität Berlin

vorgelegt von  
**Stefan Patrick Stuchlich**  
Tierarzt aus Ludwigsburg

Berlin 2019  
Journal-Nr.: 4059







Aus dem Institut für Tierernährung  
des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin

**Organische Spurenelemente – Eine Literaturübersicht**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Grades eines  
Doktors der Veterinärmedizin  
an der  
Freien Universität Berlin

vorgelegt von  
**Stefan Patrick Stuchlich**  
Tierarzt aus Ludwigsburg

Berlin 2019

Journal-Nr.: 4059

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Jürgen Zentek  
Erster Gutachter: Prof. Dr. Klaus Männer  
Zweiter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Rudolf Staufenbiel  
Dritter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Salah Amasheh

*Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):*

cattle, pigs, poultry, literature reviews, trace elements, zinc, manganese, selenium,  
copper, bioavailability

Tag der Promotion: 29.05.2019

Bibliografische Information der *Deutschen Nationalbibliothek*

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<https://dnb.de>> abrufbar.

ISBN: 978-3-86387-981-5

**Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2019**

Dissertation, Freie Universität Berlin

**D188**

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen, usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

This document is protected by copyright law.

No part of this document may be reproduced in any form by any means without prior written authorization of the publisher.

Alle Rechte vorbehalten | all rights reserved

© Mensch und Buch Verlag 2019 Choriner Str. 85 - 10119 Berlin  
verlag@menschundbuch.de – [www.menschundbuch.de](http://www.menschundbuch.de)

**Inhaltsverzeichnis**

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>VI</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>VII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>XI</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Geschichte .....</b>	<b>3</b>
<b>3 Herstellung .....</b>	<b>8</b>
<b>4 Supplementierungsbedürftige Spurenelemente in der Tierernährung.....</b>	<b>12</b>
<b>5 Tierartübergreifende Resorptionsmechanismen .....</b>	<b>17</b>
<b>6 Untersuchte Spurenelemente und deren physiologische Rolle .....</b>	<b>23</b>
6.1 Kupfer .....	24
6.2 Selen .....	26
6.3 Eisen .....	29
6.4 Zink.....	32
6.5 Mangan .....	35
<b>7 Versorgungsempfehlungen.....</b>	<b>37</b>
7.1 Versorgungsempfehlungen GfE .....	38
7.2 NRC-Richtlinie.....	41
<b>8 Gesetzliche Regelung von Tiernahrungszusätzen.....</b>	<b>46</b>
<b>9 Bioverfügbarkeit .....</b>	<b>48</b>
<b>10 Methodik .....</b>	<b>51</b>
10.1 Cochrane Richtlinien .....	51
10.2 Literaturrecherche .....	51
10.3 Verwaltung der Literatur .....	52

<b>11</b>	<b>Auswirkungen auf die Resorptions-, Leistungs-, Immunitäts- und Sonderleistungsparameter durch den Einsatz von organischen Spurenelementen.....</b>	<b>53</b>
11.1	Zink.....	53
11.1.1.	Rinder .....	54
11.1.2.	Schweine .....	76
11.1.3.	Geflügel .....	101
11.2	Kupfer.....	122
11.2.1.	Rinder .....	123
11.2.2.	Schweine .....	136
11.2.3.	Geflügel .....	147
11.3	Selen .....	162
11.3.1.	Rinder .....	162
11.3.2.	Schweine .....	177
11.3.3.	Geflügel .....	199
11.4	Mangan .....	216
11.4.1.	Rinder .....	216
11.4.2.	Schweine .....	224
11.4.3.	Geflügel .....	227
11.5	Eisen .....	238
11.5.1.	Rinder .....	239
11.5.2.	Schweine .....	240
11.5.3.	Geflügel .....	249
<b>12</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>256</b>
<b>13</b>	<b>Schlussfolgerung .....</b>	<b>264</b>
<b>14</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>265</b>
<b>15</b>	<b>Summary .....</b>	<b>268</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>270</b>



**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Herstellungsprozess organisch gebundener Spurenelemente (Gowda 2015).....	8
Abbildung 2: Schema biologischer Funktionen in Abhängigkeit von Zufuhr essentieller Spurenelemente (Pallauf 1991, S. 26) .....	13
Abbildung 3: Mechanismen des Eisenstoffwechsels in Säugetieren (Munoz u.a., 2009, S. 4618).....	30

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Darstellung der verschiedenen Chelat- und Bindungspartner von Kupfer .....	10
Tabelle 2: Essentielle Spurenelemente (Palluf, 1989, verändert) .....	12
Tabelle 3: : Zinkeintrag bei unterschiedlicher Supplementation (Schenkel, 1999, verändert) .....	14
Tabelle 4: Wirkungen einer über die Versorgungsempfehlungen hinausgehenden Supplementierung von Spurenelementen (Schenkel, 2002, verändert) .....	15
Tabelle 5: GfE- Empfehlung für die Spurenelementversorgung von Schweinen (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, 2006, S. 131-152) .....	38
Tabelle 6: GfE- Empfehlungen für die Spurenelementversorgung von Legehennen und Mastgeflügel (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, 1999, S. 143-153) .....	39
Tabelle 7: GfE- Empfehlungen für die Spurenelementversorgung von Milchkühen und Aufzuchtrindern (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, 2001, S. 89-99) .....	40
Tabelle 8: NRC-Regulation für die Spurenelementsupplementation von Schweinen (National Research Council, 2012, S. 82–88) .....	41
Tabelle 9: NRC-Regulation für die Spurenelementsupplementation von Geflügel (National Research Council, 1994, S. 20) .....	43
Tabelle 10: NRC- Regulation für die Spurenelementsupplementation von Rindern (NRC, 2001, S. 132–145) .....	45
Tabelle 11: Organische Formen von Spurenelementen und erlaubte Maximalkonzentration (EG 1334/2003) .....	47
Tabelle 12: Relative Bioverfügbarkeit von Spurenelementen (nach Ammermann u. a., 1998) .....	49
Tabelle 13: In-vivo-Nachweis von Spurenelementen im Körper (Mantovani u. a., 2010) .....	50
Tabelle 14: Übersicht zum Einsatz von organischem Zink .....	53
Tabelle 15: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Zinkverbindungen bei Rindern .....	55
Tabelle 16: Untersuchung zur Auswirkung verschiedener Zinkverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Rindern .....	62
Tabelle 17: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Zinkverbindungen auf die Immunität bei Rindern .....	69
Tabelle 18: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Zinkverbindungen bei Rindern .....	74

---

Tabelle 19: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Zinkverbindungen bei Schweinen .....	76
Tabelle 20: Untersuchung zur Auswirkung verschiedener Zinkverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Schweinen .....	84
Tabelle 21: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Zinkverbindungen auf die Immunität bei Schweinen .....	93
Tabelle 22: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Zinkverbindungen auf Schweine .....	96
Tabelle 23: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Zinkverbindungen bei Geflügel .....	102
Tabelle 24: Untersuchung zur Auswirkung verschiedener Zinkverbindungen auf Leistungseigenschaften bei Geflügel.....	109
Tabelle 25: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Zinkverbindungen auf die Immunität bei Geflügel .....	116
Tabelle 26: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Zinkverbindungen bei Geflügel .....	121
Tabelle 27: Übersicht zum Einsatz von organischem Kupfer .....	122
Tabelle 28: Untersuchung zur Bioverfügbarkeit verschiedener Kupferverbindungen bei Rindern .....	124
Tabelle 29: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Kupferverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Rindern .....	129
Tabelle 30: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Kupferverbindungen auf die Immunität bei Rindern .....	132
Tabelle 31: Untersuchung zur Bioverfügbarkeit verschiedener Kupferverbindungen bei Schweinen .....	136
Tabelle 32: Untersuchung zur Bioverfügbarkeit verschiedener Kupferverbindungen bei Schweinen .....	140
Tabelle 33: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Kupferverbindungen auf Schweine .....	144
Tabelle 34: Untersuchung zur Bioverfügbarkeit verschiedener Kupferverbindungen bei Geflügel .....	148
Tabelle 35: Untersuchung zu den Auswirkungen verschiedener Kupferverbindungen bei Geflügel auf die Leistungseigenschaften .....	154
Tabelle 36: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Kupferverbindungen auf die Immunität bei Geflügel .....	159
Tabelle 37: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Kupferverbindungen auf Geflügel .....	160

Tabelle 38: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Selenverbindungen bei Rindern .....	162
Tabelle 39: Untersuchung zu den Auswirkungen verschiedener Selenverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Rindern .....	170
Tabelle 40: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Selenverbindungen auf die Immunität bei Rindern .....	173
Tabelle 41: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Selenverbindungen bei Schweinen .....	178
Tabelle 42: Untersuchung zu den Auswirkungen verschiedener Selenverbindungen auf Leistungseigenschaften bei Schweinen .....	188
Tabelle 43: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Selenverbindungen auf die Immunität bei Schweinen .....	192
Tabelle 44: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Selenverbindungen bei Geflügel .....	199
Tabelle 45: Untersuchung zu den Auswirkungen verschiedener Selenverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Geflügel .....	204
Tabelle 46: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Selenverbindungen auf die Immunität bei Geflügel .....	212
Tabelle 47: Übersicht zum Einsatz von organischem Mangan .....	216
Tabelle 48: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Manganverbindungen bei Rindern .....	217
Tabelle 49: Untersuchung zur Auswirkung verschiedener Manganverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Rindern .....	219
Tabelle 50: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Manganverbindungen auf die Immunität bei Rindern .....	221
Tabelle 51: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Manganverbindungen bei Rindern .....	223
Tabelle 52: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Manganverbindungen bei Schweinen .....	224
Tabelle 53: Untersuchung zur Auswirkung verschiedener Manganverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Schweinen .....	225
Tabelle 54: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Manganverbindungen auf Schweine .....	226
Tabelle 55: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Manganverbindungen bei Geflügel .....	227
Tabelle 56: Untersuchung zur Auswirkung verschiedener Manganverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Geflügel .....	231

---

Tabelle 57: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Manganverbindungen auf die Immunität bei Geflügel .....	235
Tabelle 58: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Manganverbindungen auf Geflügel .....	237
Tabelle 59: Übersicht zum Einsatz von organischem Eisen .....	238
Tabelle 60: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Eisenverbindungen bei Rindern .....	239
Tabelle 61: Untersuchung zur Auswirkung verschiedener Eisenverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Rindern .....	240
Tabelle 62: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Eisenverbindungen bei Schweinen .....	241
Tabelle 63: Untersuchung zur Auswirkung verschiedener Eisenverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Schweinen .....	242
Tabelle 64: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Eisenverbindungen auf die Immunität bei Schweinen .....	246
Tabelle 65: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Eisenverbindungen auf Schweine .....	247
Tabelle 66: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Eisenverbindungen bei Geflügel .....	249
Tabelle 67: Untersuchung zur Auswirkung verschiedener Eisenverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Geflügel .....	251
Tabelle 68: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Eisenverbindungen auf die Immunität bei Geflügel .....	254
Tabelle 69: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener organischer Spurenelemente auf die Resorption, nach statistischer Signifikanz .....	258
Tabelle 70: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener organischer Spurenelemente auf die Leistungsparameter, nach statistischer Signifikanz .....	259
Tabelle 71: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener organischer Spurenelemente auf die Immunität, nach statistischer Signifikanz .....	260
Tabelle 72: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener organischer Spurenelemente auf Sonderleistungen, nach statistischer Signifikanz .....	261

**Abkürzungsverzeichnis**

AAFCO	American Feed Control Officials
Abb.	Abbildung
Abk.	Abkürzung
AS	Aminosäure
Asp. niger	Aspergillus niger
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
Ca	Calcium
Cu	Kupfer
CuAS	Kupfer-Aminosäure-Komplex
CuCit	Kupfercitrat
CuLys	Kupferlysin
CuMet	Kupfermethionin
CuO	Kupferoxid
CuProt	Kupferproteinat
CuSO <sub>4</sub>	Kupfersulfat
d	Tag
DCT-1	Divalent Cation Transporter 1
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
DMT-1	Divalent Metal Transporter 1
DNA	Deoxyribonucleic acid
EDTA	Ethylendiamintetraacetat
EFSA	European Food Safety Authority
etc	et cetera
FAO	Food and Agriculture Organization
Fe	Eisen
FeAS	Eisen-Aminosäure-Komplex

---

FeGly	Eisenglycin
FeMet	Eisenemthionin
FeO	Eisenoxid
FeProt	Eisenproteinat
FeSO <sub>4</sub>	Eisensulfat
FEEDAP	Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed
g	Gramm
g/mol	Gramm pro Mol
GfE	Gesellschaft für Ernährungsphysiologie
GGT	Gamma-Glutamyl-Transferase
GSH-Px	Glutathionperoxidase
H	Wasserstoff
Hrsg.	Herausgeber
H <sub>2</sub> Se	Selenwasserstoff
IFIF	International Feed Industry Federation
Ig	Immunglobulin
Kap	Kapitel
kg	Kilogramm
LM	Lebendmasse
mg	Milligramm
min.	Minute
MIP	Mobilferrin-Integrin-Paraferitin
Mn	Mangan
MnAS	Mangan-Aminosäure-Komplex
MnMet	Manganmethionin
MnO	Eisenoxid
MnProt	Manganproteinat
MnSO <sub>4</sub>	Mangansulfat

mRNA	messenger RNA
n. Chr.	nach Christus
Na	Natrium
NRC	National Research Council
o.g.	oben genannte
p-Wert	Signifikanzwert
PCV	packed cell volume
PDF	portable document format
PMNL	polymorphonuclear leukocyte
PubMed	Meta-Datenbank der Medizin
pH	potentia Hydrogenii
ppm	parts per million
RNA	Ribonukleinsäure
ROS	Reactive Oxygen Species
s.	siehe
Se	Selen
SeMet	Selenomethionin
SEPP-1	Selenprotein P
SH-Gruppen	Sulfhydrylgruppen
SS	Natriumselenit
SY	Selen-angereicherte-Hefe
t	Tonne
Tab.	Tabelle
TNF	Tumor-Nekrose-Faktor
u.a.	und andere
v. Chr.	vor Christus
z.B.	zum Beispiel
Zn	Zink



ZnAS	Zink-Aminosäure-Komplex
ZnGly	Zink-Glycin
ZnLys	Zinklysin
ZnMet	Zinkmethionin
ZnO	Zinkoxid
ZnPoly	Zinkpolysaccharid
ZnProt	Zinkproteinat
ZnSO <sub>4</sub>	Zinksulfat



## 1 Einleitung

96 % der lebenden Materie sind aus vier Elementen aufgebaut: Sauerstoff, Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff. In Menschen und anderen Säugetieren sind jedoch bis dato 23 Elemente bekannt, die eine physiologische Aktivität aufweisen. Von diesen werden 16 Elemente als sogenannte Spurenelemente bezeichnet, deren Aufnahme in den Körper nur in geringem Ausmaß (unter 100 mg/d) erfolgt, jedoch nichtsdestotrotz essenziell ist. Bezüglich ihrer chemischen Eigenschaften ist auffallend, dass der Großteil der Spurenelemente in der vierten Periode des Periodensystems zu finden ist und sich somit Eigenschaften wie Atomradius und Elektronenverfügbarkeit teilen. Allgemein kann bei Spurenelementen zwischen Metallen (Vanadium, Chrom, Mangan, Eisen, Kobalt, Kupfer, Zink und Molybdän) und Nichtmetallen (Selen, Fluor und Iod) unterschieden werden. Diese Elemente können ungebunden, ionisch oder organisch gebunden vorliegen und dem Körper zugeführt werden, wo sie durch Interaktion mit Biomolekülen (z. B. mit dem Enzym Hämoglobin) wichtige biologische Funktionen ausüben (Fraga, 2005).

Es wird angenommen, dass Spurenelemente (Metalle) in Verbindung mit organischen Chelatverbindungen, wie Aminosäuren, eine verbesserte Bioverfügbarkeit gegenüber anorganischen Salzen aufweisen, die zumeist auf ihre relativ feste Bindung an einen organischen Liganden zurückzuführen sind. Es bleibt jedoch meist unklar, ob diese verbesserte biologische Verfügbarkeit auf einer verbesserten enteralen Absorption und/oder einer veränderten intermediären Verwertung beruht (Brugger & Windisch, 2015; Mantovani, Frazzoli, & Cubadda, 2010; Yattoo u. a., 2013). Wenn die Studien zur Bioverfügbarkeit der organischen Spurenelemente an depletierten Tieren erfolgten, ist meist eine bessere Resorption als bei den mineralischen Quellen nachgewiesen worden (Flachowsky, 1997). Durch eine höhere Bioverfügbarkeit der organischen Spurenelemente könnte demnach die gleiche physiologische Wirkung beim Tier mittels geringerer Zulagen wie mit anorganischen Spurenelementen erreicht werden. Die verringerte Versorgung hätte dann auch niedrigere Ausscheidungen und damit ökologische Vorteile zur Folge. Darüber hinaus werden in verschiedenen Veröffentlichungen weitere Hinweise über mögliche Vorteile von organischen Spurenelementen erwähnt, wie z. B. verbesserte Milchleistung und höhere Legeleistung oder weniger Klauenprobleme. Ein anderer Gesichtspunkt ist eine effektivere intermediäre Verwertung, die sich beispielsweise in einer verbesserten Aktivität von verschiedenen Metalloenzymen äußert und positive Einflüsse auf die Immunabwehr, die Reproduktion etc. hat.

Vor diesem Hintergrund ist das Ziel der vorliegenden Arbeit, den Einfluss von organischen Spurenelementen in der Nutztierernährung auf die ausgewählten Spezies Schweine, Geflügel und Rinder zu evaluieren. Mittels einer Literaturrecherche sollen die biophysiological Ursachen für die unterschiedliche Verwertbarkeit diverser Spurenelemente in den verschiedenen Spezies erhoben werden und anhand aktueller Studien ein Vergleich zwischen der Supplementation mit organischen und anorganischen Spurenelementverbindungen und ihre Auswirkung auf die Bioverfügbarkeit, Fortpflanzung, Immunität und Umwelt in Abhängigkeit vom Versorgungsbereich herausgearbeitet werden. Dabei gilt es, einerseits die aktuelle Diskussion zum Nutzen organischer Spurenelemente in der Nutztierfütterung aufzuzeigen sowie die Wechselwirkungen zwischen Spurenelementen und ihren Bindungspartnern zu verstehen. Hierfür soll neben den Grundlagen der Herstellung organischer Spurenelemente, die Resorbierbarkeit organischer Spurenelemente in Abhängigkeit ihrer Struktur und Darreichungsform erklärt werden. Dabei wird insbesondere auf das Konzept der Bioverfügbarkeit und die Auswirkungen organischer Liganden auf diese eingegangen.

## 2 Geschichte

Während ab dem 17. Jahrhundert erste wissenschaftliche Ansätze nach modernem Verständnis auf dem Gebiet der Spurenelemente erfolgten, waren viele Elemente bereits in der Antike bekannt und wurden zum Teil zu medizinischen Zwecken eingesetzt ohne Kenntnis der zugrundeliegenden Mechanismen.

So wurden schon ab dem 16. Jahrhundert v. Chr. nicht nur verschiedenste Geräte aus Kupfer hergestellt (Waffen, Kunstwerke, Schmuckstücke etc.) (Aitchison, 1960), sondern auch infizierte Wunden mit Kupfer behandelt. Laut Papyrus Ebers (1553 bis 1550 v. Chr.) wurde Kupfer bereits in der Bronzezeit zur Behandlung von Krankheiten wie Kopfschmerzen, Krämpfe, Brandwunden, Hautjucken, Halstumore und Augenerkrankungen eingesetzt (Scheller, 1967). Im 1. Jahrhundert n. Chr. benannte Hippokrates weitere Anwendungsmöglichkeiten von Kupfer beispielsweise als Antiseptikum und Ätzmittel, bei Schädelbrüchen, Bisswunden, Geschlechtskrankheiten und anderen Erkrankungen. Im Mittelalter wurden Wurmerkrankungen von Paracelsus mit Kupfer behandelt und in der Folgezeit kam eine Vielzahl von weiteren Erkrankungen zur Behandlung mit Kupfer dazu.

Im Papyrus Ebers finden sich auch Hinweise auf Zink und zwar in Form von Galmei, das dem Zinkkarbonat entsprechen soll. Auch bei der Substanz Kadmia, die im Altertum oft erwähnt wird, soll es sich um Zinkkarbonat oder Zinkoxid handeln. Die Römer stellten Zinkoxid in Form von Kadmia her (Beck, 1884) und auch Münzen wurden unter Verwendung von Kadmia von Römern, Griechen und Völkern in Kleinasien hergestellt, wobei der Zinkgehalt der Münzen bis zu 27 % betrug (Aitchison, 1960; Liebig, 1913). Der erste industrielle Einsatz von Zink zur Herstellung von Messing, wurde laut Prasad (1966) 1509 von Eber aus Nürnberg durchgeführt und die erste Zinkhütte 1743 von Champion in Bristol errichtet. Es dauerte dann bis 1869, als Raulin die Bedeutung von Zink als Spurenelement im Zusammenhang mit dem Wachstum von *Aspergillus niger* nachwies (Liebig, 1913).

Mangan wurde bereits um 2500 v. Chr. in Form von Manganoxid als Farbstoff (Malerfarbe und Schminke) benutzt, wie Funde aus dieser Zeit belegen (von Lippmann, 1954). Ein bedeutendes manganhaltiges Mineral ist Braunstein, welches schon im Altertum bekannt war und von Galen (1745 – 1818) erstmals dargestellt wurde. Die heute gebräuchliche Bezeichnung Mangan wurde 1808 von Buttmann und Klaproth eingeführt, nachdem zuvor die Bezeichnungen Magnet, Magnesium und Manganesium gebräuchlich waren (Kopp, 1847). 1837 beschrieb Cooper erstmals Mangan-Vergiftungen mit Veränderungen des Zentralnervensystems und 1931 wurde Mangan das erste Mal als essentielles Spurenelement beschrieben (Zumkley, 1990).

Nicht alle Elemente waren schon in der Antike bekannt, sondern wurden erst in jüngerer Zeit entdeckt. Ein Beispiel ist Selen. Es wurde erstmals 1816 beschrieben, als Berzelius (1779 – 1848) Rückstände untersuchte, die sich bei der Verarbeitung schwefelhaltiger Pyrite aus Falun ergaben. Berzelius gab der Substanz den Namen Selene (griechisch für Mond), die hauptsächlich wegen ihrer negativen Auswirkungen auf die Gesundheit Bekanntheit erhielt. Schon Berzelius erkannte sie, als er selenhaltigen Staub einatmete. Typische Hautveränderungen bei Arbeitern durch den Kontakt mit Selen wurden fortlaufend berichtet (Pringle, 1942). Erstmals beschrieb Hamilton eine chronische Vergiftung mit Selen, die das Atmungssystem und den Magen-Darm-Trakt betraf. 1947 dokumentierte Buchan weitere Symptome wie Übelkeit, Erbrechen und starke Müdigkeit, sowie bei großer Exposition auch Dyspnoe, Zyanose und Lungenödeme (Gmelin, 1953).

### **Erforschung der Spurenelemente**

Mangelerkrankungen bei Tieren waren schon seit der Antike bekannt, lange bevor erforscht war, wie sich Spurenelemente auf den Stoffwechsel auswirken. Die Entdeckung, dass durch Veraschung gewonnene Spurenelemente die Vitalität von Tieren unterstützen, wird Foster 1874 zugeschrieben und bildet die Grundlage der heute angewandten Nährstoffsupplementation in der Tierernährung (McDowell, 2003).

Mit Beginn des späten 17. Jahrhundert begannen erste Forschungsansätze auf dem Gebiet der Spurenelemente. So wurden erste Zusammenhänge zwischen Blutanämien und der Eisenversorgung sowie in der ersten Hälfte des 18. Jahrhundert zwischen Iod und dem klinischen Erscheinungsbild „Kropf“ beschrieben. Doch führten diese empirischen Entdeckungen zu keiner weiteren Entwicklung auf dem Gebiet der Spurenelementforschung (Schrauzer, 1984).

Die ersten systematischen Forschungsansätze begannen mit der Entdeckung der Essentialität von Zink für das Wachstum von *Aspergillus niger* durch J. Raulin 1869. Raulin, ein Schüler Pasteurs und späterer Professor der Chemie in Lyon, wies nach, dass *Asp. niger* nur in Gegenwart von Zink wachsen konnte und, dass hierfür nur kleinste Mengen notwendig waren. Raulin bewies, dass der Bedarf an Zink elementar, nicht zu ersetzen und deshalb essentiell war (Schrauzer, 1984).

---

Ab Mitte des 19. Jahrhunderts wurden einige weitere wichtige Erkenntnisse zu den Spurenelementen gewonnen:

- So wurde das Vorhandensein von Kupfer im Sauerstoff-transportierenden Hämozyanin von Weichtieren erstmals nachgewiesen (Harless, 1847).
- Ebenso lieferten Studien an Hydrokulturen von Sachs (1860) und Knop (1861) den konkreten Beweis, dass Pflanzen Spurenelemente zum Wachstum benötigen.
- Baumanns Nachweis von Iod in der Schilddrüse (1895–1896) deutete auf die wesentliche Rolle eines Elements mit hohem Atomgewicht für die Kontrolle des Säugetierstoffwechsels hin. Iod wurde allerdings schon 75 Jahre früher als effektives Heilmittel für den Kropf eingesetzt (Coindet, 1820).
- Erste Hinweise, die zu der Entdeckung von Metall-Enzymen und von Metall-Enzym-Wechselwirkungen in der Katalyse führten, gaben Bernards (1857) Untersuchungen zur Zellatmung, Untersuchungen von MacMunn (1885) über Zytochrome und die Studien von Spitzer (1897) über Eisen und Oxidationsprozesse.
- Die Entdeckung von Foster (1874), dass durch Veraschung gewonnene Spurenelemente die Vitalität von Tieren unterstützen, bildete die Grundlage der heute angewandten Nährstoffsupplementation in der Tierernährung (McDowell, 2003).

Die Bedeutung dieser Grundlagenforschung war wegweisend, jedoch blieben Iod und Eisen bis in das 20. Jahrhundert hinein die einzigen bekannten essentiellen Spurenelemente.

Ab dem 20. Jahrhundert kann man zwei Phasen der Erforschung der Spurenelemente erkennen: Die erste „klassische“ Phase zwischen 1925 und 1956 und die zweite „moderne“ Phase von 1957 bis zur Gegenwart. Während des ersten Abschnitts waren so gut wie alle Entdeckungen in Bezug auf Spurenelemente dem Zufall, Unfällen oder Notsituationen geschuldet. Dem gegenüber steht die zweite Phase, die von Klaus Schwarz geprägt war und durch einen systematischen Forschungsansatz charakterisiert werden kann. Es entwickelten sich experimentelle Methoden unter reproduzierbaren Laborbedingungen in Tierversuchen, welche bald durch präzise und genaue Analysemethoden unterstützt wurden und werden (Schrauzer, 1984).

In die „klassische Phase“ fallen erste konkrete Erkenntnisse bezüglich Mangelzuständen und Wechselwirkungen:

Mangelzustände von Spurenelementen wurden erstmals in den 1930er-Jahren festgestellt und erforscht. So wurde in Holland Kupfermangel bei Pflanzen festgestellt. Tiere, die diese Pflanzen als Futter bekamen, wiesen schwere Erkrankungen durch Kupfermangel auf. (Sjollema, 1933). Kurz darauf wurde Kobaltmangel bei Schafen in Australien entdeckt und untersucht (Filmer u. a., 1934; Marston, 1935).

Wechselwirkungen zwischen Spurenelementen wurden seit den 1940er-Jahren erforscht. Eine erste Studie auf diesem Gebiet zeigte auf, dass die nachteilige Wirkung von Futter mit hohem Zinkanteil auf Ratten durch Kupfer-, Eisen- und Leber-Ergänzung aufgehoben wird (Smith u. a., 1946). Eine andere Forschungsarbeit bezog sich auf Rinder. Ungewöhnlich hohe Konzentration von Molybdän im Futter verursacht bei Rindern Molybdänosis. Festgestellt wurde, dass dieser Prozess durch Kupferzugabe komplett aufgehoben wird (Ferguson, 1943). Einen erhöhten Kupferbedarf bei hoher Molybdänkonzentration wies auch Davis 1950 nach. Ebenfalls wurde 1950 festgestellt, dass die Toxizität von Nickel, Kobalt, Kadmium, Zink und Mangan bei Kolibakterien durch eine erhöhte Konzentration von Magnesium im Nährboden deutlich reduziert und die Menge von Nickel und Kobalt, die in den Zellen gebunden sind, deutlich geringer werden (Abelson u. a., 1950).

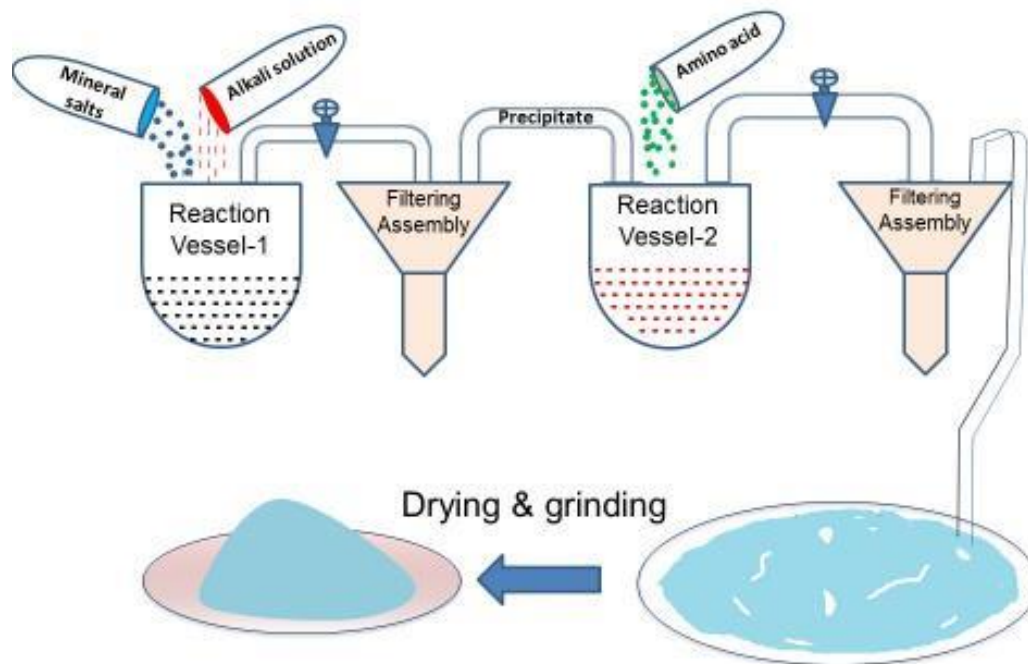
In der „modernen Phase“ wurden durch Fortschritte in der Chemie und Physik große Schritte in der Entwicklung von Instrumenten und Methoden gemacht, die die Ermittlung von geringsten Mengen von Elementen mit hoher Präzision ermöglichten. Gerade die analytische Chemie hat durch ihre Leistungsfähigkeit, die Nachweisgrenzen für die Bestimmung von Elementen zu senken, die Voraussetzung für eine systematische Untersuchung von Spurenelementen in biologischem Material geschaffen und selbst aufgrund der Bedeutung der Spurenelementforschung neue Impulse erhalten. Ohne die bahnbrechenden Arbeiten auf den Gebieten der Mikrochemie (Sandell, 1950), der Polarographie (Kolthoff u. a., 1946), in der Emissions-Spektrographie (Harrison u. a., 1948), der Atomabsorptionsspektralphotometrie (Walsh, 1955) und der Atomemissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (Wendt, 1965) wäre die Erforschung der Wirkzusammenhänge von Spurenelementen im Organismus nicht möglich gewesen.



Etwa seit Mitte der 1990er wird aus verschiedenen Gründen verstärkt der Einsatz von sogenannten organischen Spurenelementen diskutiert. Neben der Verbesserung der Bioverfügbarkeit dieser Nährstoffe und die damit einhergehenden abweichenden Stoffwechsellmuster und spezifischen Wirkungsspektren (Spears, 1996; Flachowsky, 1997), rückt der Fokus einerseits zunehmend auf die Faktoren Umweltbelastungen durch exzessive Ausscheidung konservativer Verbindungen, eine verbesserte Gesundheit der Tiere und andererseits auf einen ökonomisch maximalen Nutzen (FAO und IFIF, 2010).

### 3 Herstellung

Organisch gebundene Mikronährstoffe werden gemäß der AAFCO (American Feed Control Officials) definiert. Es handelt sich dabei um Metall-Aminosäure-Komplexe im Verhältnis 1:1. Diese werden zumeist in einem molaren Verhältnis von Metall zu Aminosäure = 1:1-3 produziert, um das Ausbilden kovalenter Bindungen zwischen dem Metall und dem Chelatpartner zu ermöglichen. Diese sind besonders stabil, was ermöglicht, dass der Metallkomplex das Verdauungssystem passiert und in den Körper aufgenommen wird, ohne mit anderen Stoffen des Verdauungstrakts zu reagieren, was deren Bioverfügbarkeit vermindern könnte. Auch im Stoffwechsel kommen Spurenelemente nicht in ionischer Form, sondern in organisch aktiven Verbindungen gebunden vor. Werden diese bereits organisch gebunden aufgenommen, so ist die Umwandlung in die biologisch aktive Form leichter als aus der ionischen Form heraus (Uchida, Mandebvu, Ballard, Sniffen & Carter, 2001).



**Abbildung 1: Herstellungsprozess organisch gebundener Spurenelemente**  
(Gowda, 2015)

Abbildung 1 zeigt, wie organisch gebundene Spurenelemente hergestellt werden können: In einem ersten Schritt werden anorganische Mineralien mit alkalischen Substanzen zur Reaktion gebracht. Der dabei entstehende Niederschlag wird durch Filtration abgetrennt. In einem nächsten Schritt wird dieser mit Aminosäuren versetzt und erneut filtriert. Das so

gewonnene Produkt wird getrocknet, gemahlen und anschließend den Futtermitteln zugesetzt (Gowda, 2015).

Selen kann beispielsweise in Form von Selenamino­säuren, Selenopeptiden und Selenoproteinen organisch gebunden vorkommen. In dieser Form weist es eine erhöhte Bioverfügbarkeit auf, da es im Verdauungstrakt leichter absorbiert werden kann. Im Vergleich zu anorganischen Verbindungen wie Seleniten und Selenaten ist die Toxizitätsschwelle deutlich herabgesetzt. Wird der Pilz *Agaricus bisporus* mit einer Natriumselenitlösung gedüngt, so kann dessen Selenkonzentration um bis zu 40-fach erhöht werden. Dies kam vorwiegend organisch gebunden als Selenocystein, Selenomethionin und Methylselenocystein (Aminosäuren) vor. Die Maximalkonzentration wurde in den Pilzkappen nachgewiesen und betrug 10µg/g Trockengewicht (Maseko u. a., 2013)

### **Chemische Strukturen der Spurenelemente**

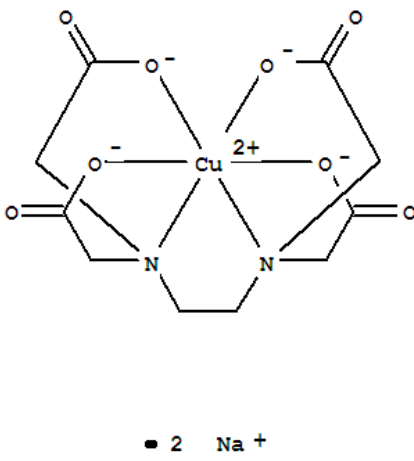
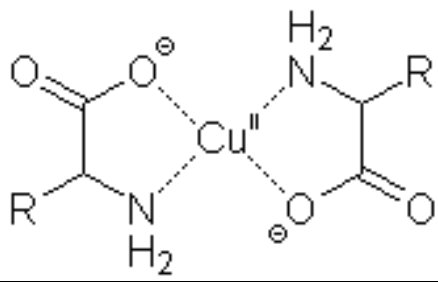
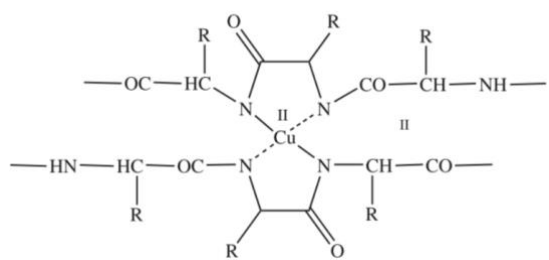
Im Folgenden werden die verschiedenen in der vorliegenden Arbeit behandelten Verbindungen von Spurenelementen definiert (Jerry W. Spears, 1996):

- Metall-Aminosäuren-Komplex: Erzeugt durch Komplexierung eines löslichen Metallsalzes mit einer oder mehreren Aminosäuren.
- Metall-Aminosäuren-Chelat: Herstellung durch die Reaktion eines löslichen Metallsalzes mit Aminosäuren in einem 1:3 bis äquimolaren Verhältnis unter Ausbildung von (bevorzugt) zwei kovalenten Bindungen. Die maximalen Molekulargewichte sind 150 g/mol für die hydrolysierte Aminosäure und 800 g/mol für den resultierenden Chelat-Komplex.
- Metall-Proteinate: Chelatierungsreaktion eines löslichen Metallsalzes mit Aminosäuren oder/und teilweise hydrolysiertem Protein.
- Metall-Polysaccharid-Komplex: Komplexierung eines löslichen Metallsalzes mit einer Polysaccharid-Lösung.

Die folgende Tabelle zeigt die verschiedenen Bindungsarten am Beispiel von Kupfer. Dabei wird anorganisch gebundenes Kupfer, das zumeist in Form von Sulfaten den Futtermitteln beigegeben wird, strukturell mit dem früheren Chelatmaterial EDTA verglichen. Peptid- sowie Proteinkomplexe werden ebenfalls dargestellt.

Die Wechselwirkungen mit diesen Makromolekülen sind es auch, die die Funktion von Metalloproteinen maßgeblich beeinflussen.

**Tabelle 1: Darstellung der verschiedenen Chelat- und Bindungspartner von Kupfer**

Beschreibung	Struktur	Bildquelle
Kupfersulfat, häufigster anorganischer Futtermittelzusatz	$2\text{Cu}^+ \left[ \begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{S} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{O} \quad \text{O} \end{array} \right]^{2-}$	(Sobowski, 2013)
Kupfer-EDTA-Komplex mit einem sehr starken Chelator	 <p style="text-align: center;">• 2 Na<sup>+</sup></p>	(LookChem, 2016)
Kupfer-Peptid-Komplex, wie er z. B. in kommerziell erhältlichen organischen Spurenelementen vorkommt		(Johann Gasteiger und Axel Schunk, 2016)
Kupfer-Protein-Komplex; kann in Metalloproteinen und beim analytischen Proteinnachweis beobachtet werden		(Matissek, Steiner, & Fischer, 2010, S. 269)

Der Begriff Chelat leitet sich vom griechischen Begriff für Krabbenschere ab und bezieht sich auf die Struktur eines Metall-Chelat-Komplexes. Die Bindung wird durch zwei oder mehr Donatoratome vermittelt, die in heterozyklischen Ringen angeordnet sind und das Metallatom binden. Da keine Ionenladung wie in mineralischen Spurenelementen auftritt, kann der Eintritt in den Organismus begünstigt werden. Erste Versuche mit organischen Metallkomplexen verwendeten Ethylentriaminoessigsäure (EDTA) als Chelator. Dadurch wurde jedoch keine Verbesserung der Gesundheitsparameter gegenüber der ionischen Form erzielt. Die weitere Forschung setzte komplexere organometallische Verbindungen ein, bei denen das Chelatmolekül Proteinlysat, Aminosäuren oder Polysaccharide war (Andrieu, 2008; Martell, 1954).

#### 4 Supplementierungsbedürftige Spurenelemente in der Tierernährung

Unter Spurenelementen versteht man essentielle Bestandteile des Futters und des Tierkörpers, die grundsätzlich in Konzentrationen von weniger als 100 ppm (bezogen auf die Trockensubstanz) vorkommen. Sind diese chemischen Elemente für lebensnotwendige biochemische Prozesse unentbehrlich, so zählen sie zu den essentiellen Spurenelementen und müssen in geeigneter chemischer Bindung laufend mit dem Futter zugeführt werden (Pallauf, 1989; Flachowsky, 2005). Nach Kirchgessner und Reichlmayr-Lais (1984) ist die Essentialität eines Spurenelements an drei Bedingungen gebunden. Zum einen muss eine Depletion des Organismus an dem zu testenden Spurenelement wiederholbar zu identischen Störungen im Stoffwechsel führen und die mit den verursachten Störungen verbundenen biochemischen Veränderungen messbar sein. Zum anderen muss die Zufuhr des getesteten Elements zu einer Mangeldiät die vorherrschenden Stoffwechselstörungen verhindern bzw. beseitigen.

In der Tierernährung gelten bislang 16 Spurenelemente als essentiell (Tabelle 2).

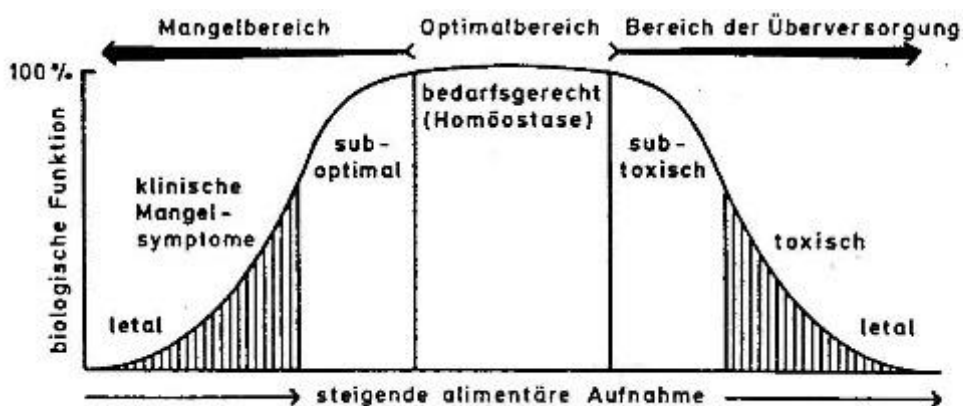
**Tabelle 2: Essentielle Spurenelemente (Palluf, 1989, verändert)**

Element	Element
Eisen (Fe)	Chrom (Cr)
Jod (I)	Zinn (Sn)
Kupfer (Cu)	Vanadium (V)
Mangan (Mn)	Fluor (F)
Zink (Zn)	Silizium (Si)
Kobalt (Co)	Nickel (Ni)
Molybdän (Mo)	Blei (Pb)
Selen (Se)	Arsen (As)

Essentielle Spurenelemente erfüllen vielfältige Funktionen im Organismus landwirtschaftlicher Nutztiere. In ihrem Stoffwechselverhalten unterliegen sie einer mehr oder weniger ausgeprägten homöostatischen Regulation, wobei Unterschiede sowohl zwischen den Tierarten als auch zwischen den einzelnen Elementen bekannt sind. Besondere Bedeutung bei der Regulation des stoffwechselkinetischen Verhaltens kommt dabei der enteralen

Absorption zu. Teilweise sind die unterschiedlichen Mechanismen allerdings noch nicht im Einzelnen bekannt (vgl. Kapitel 5) (Kirchgessner, 1987).

Ein vereinfachtes Schema nach Pallauf (1991) zu biologischen Funktionen in Abhängigkeit von der Zufuhr eines Spurenelements ist in Abb. 2 dargestellt.



**Abbildung 2: Schema biologischer Funktionen in Abhängigkeit von der Zufuhr essentieller Spurenelemente (Pallauf, 1991, S. 26)**

Die spezifischen Wechselwirkungen der essentiellen Spurenelemente mit dem körpereigenen Proteom finden innerhalb enger Grenzen statt. Nach Pallauf ist hiernach zwischen einem extremen Mangel- bzw. Überschussbereich jeweils ein idealer element- und tierspezifisch unterschiedlich weiter Homöostasebereich, innerhalb dessen das Tier eine schwankende Zufuhr ohne Gesundheitsschäden durch verschiedene elementspezifische Regulationsmechanismen durch Absorption und Exkretion ausgleichen kann (Pallauf, 1991).

Unter dem Begriff „Bedarf“ wird in der Tierernährung jene Menge an einem Nähr- oder Wirkstoff verstanden, die für ein Tier unter definierten Bedingungen zur Erzielung bester Gesundheit und optimaler Leistung erforderlich ist (Steinhöfel u.a., 2013). So werden Spurenelemente vor allem dann supplementiert, wenn Elemente nicht in ausreichender Menge im Futter vorhanden sind, die Elemente in einer nur schwer verfügbaren Bindungsform vorliegen, wenn das Futter Inhaltsstoffe enthält, welche die Verwertung der Spurenelemente beeinträchtigen und zum Teil auch, wenn aufgrund bestimmter Ursachen, wie beispielsweise Stress, ein erhöhter Bedarf vorliegt oder wenn zusätzliche Effekte einer erhöhten Elementzufuhr genutzt werden sollen (Schenkel, 2000). Die Herleitung von Versorgungsempfehlungen erfolgt hierbei überwiegend aus Dosis-Wirkungsuntersuchungen (vgl. Kapitel 7).

In einigen Fällen, z. B. in der Ferkelaufzucht, werden Spurenelemente über die Versorgungsempfehlungen hinaus supplementiert, um zusätzlich leistungssteigernde Effekte zu nutzen. Vom Tier nicht verwertete Spurenelemente werden fast vollständig über die Exkremente ausgeschieden und tragen zur Boden- und Wasserverschmutzung bei (Close, 2003). In Tabelle 3 ist beispielhaft der Zinkeintrag in landwirtschaftliche Nutzflächen in einer Modellrechnung nach Schenkel (1999) für verschiedene Tierhaltungen wiedergegeben. Dabei zeigt sich deutlich, dass bei einer Supplementation über den gesetzlich geregelten Höchstwerten erhebliche Elementmengen in die Umwelt eingetragen werden.

**Tabelle 3: : Zinkeintrag bei unterschiedlicher Supplementation (Schenkel, 1999, verändert)**

Tierart	Stallplätze ja ha	Zn-Eintrag: g/ha und Jahr	
		Zn im Futter Schwein 50/80 mg/kg Geflügel 100 mg/kg	Zn im Futter 200 mg/kg
<b>Legehennen</b>	200-300	790-1850	2110-3165
<b>Masthähnchen</b>	500-700	812-1137	2238-3132
<b>Mastputen</b>	100-120	738-885	1968-2361
<b>Zuchtsau</b>	3,5-5,5	306-481	1397-2195
<b>Ferkelaufzucht</b>	40-50	660-825	2360-2950
<b>Schweinemast</b>	8-14	205-358	1184-2072

Insbesondere in der Ferkelfütterung werden Dosierungen von Kupfer über die Versorgungsempfehlungen hinaus zur Leistungsförderung eingesetzt und zudem wird eine prophylaktische Wirkung gegen Durchfall erzielt (Windisch und Roth, 2000, 2002). Die leistungsfördernde Wirkung beruht hierbei auf dem bakteriziden bzw. bakteriostatischen Effekt im Verdauungstrakt (durch Eindämmung unerwünschter Mikroorganismen) und der Stabilisierung der intestinalen Eubiose und beginnt erst bei Dosierungen nahe des derzeit zulässigen Höchstgehaltes. Demgegenüber werden für Zink ergotrope Wirkungen in der Regel erst in einem wesentlich höheren Dosierungsbereich (z. B. Zinkoxid: 1000 bis 3000 ppm, kurzzeitiger Einsatz bis zu drei Wochen) erzielt. Diese Mengen liegen allerdings deutlich oberhalb des gesetzlich geregelten Höchstgehaltes und kommen nur dann zum Tragen, wenn entsprechende Fütterungsarzneimittel zur Behandlung von Durchfallerkrankungen oder im Rahmen der Einstellungsprophylaxe zum Einsatz kommen (Schenkel und Breuer, 2002). Weitere Effekte von Spurenelementgaben, die die Versorgungsempfehlungen überschreiten,



zeigt Tabelle 4 (Schenkel, 2002). Homöostatische Kompensationsreaktionen des tierischen Organismus begrenzen den Übertritt von bedarfsüberschreitenden Mengen an Zink und Kupfer aus dem Verdauungstrakt in das Körperinnere. Somit werden über den Bedarf hinausgehende und nicht in tierische Produkte überführte Elementmengen über den Kot ausgeschieden (Windisch und Roth, 2000). Die Kompensationsfähigkeit über die Homöostase ist jedoch begrenzt, so dass eine der Ernährungsphysiologie der Nutztiere nicht angepasste hohe Zufuhr dieser essentiellen Spurenelemente zu Akkumulationen in Organen und Störungen des Fe-Stoffwechsels führen kann.

**Tabelle 4: Wirkungen einer über die Versorgungsempfehlungen hinausgehenden Supplementierung von Spurenelementen (Schenkel, 2002, verändert)**

Element	Effekt	Tierart
<b>Kupfer</b>	Wachstum, Futtermittelverwertung (Kotkonsistenz)	Schwein
<b>Zink</b>	Wachstum, Futtermittelverwertung	Schwein
	Prophylaxe, Behandlung von Durchfallerkrankungen	Schwein, Ferkel
	Eutergesundheit, Fruchtbarkeit, Klauengesundheit	Milchkuh
<b>Selen</b>	Eutergesundheit, Fruchtbarkeit, Vermeidung von Gelenkproblemen	Milchkuh

Zur Vermeidung von Mangel- und Überschusssituationen für Spurenelemente ist eine Bewertung über Futterrationen bzw. Einzelfuttermittel sowie über Einzeltier spezifische Eigenschaften wie Leistung, Wachstum und Reproduktionsstatus notwendig. So zeigt beispielsweise der Spurenelementgehalt der Futtermittel große Schwankungen und ist u.a. abhängig von der Konzentration in den Böden, dem Zeitpunkt der Futtergewinnung, der Art der Futterherstellung, der Lagerung und dem Verschmutzungsgrad der Futtermittel (Flachowsky, 2005).

Die Bedeutung von Spurenelementen für den Organismus begründet sich in ihrer spezifischen Wechselwirkung mit unterschiedlichen Biomolekülen. So fungieren sie als strukturelle und/oder katalytische Kofaktoren ohne, dass deren Bindung die Aktivität dieser Biomoleküle verändert oder gar komplett gehemmt wird. Hierdurch erklären sich die massiven Stoffwechselstörungen und die damit verbundenen Krankheitsbilder, die aus einem alimentären Spurenelementmangel erwachsen (Frage, 2005). So ist z.B. das dem alimentären Eisenmangel folgende Krankheitsbild der Anämie durch die Bedeutung der Eisenbindung für die bioaktive Hämoglobinstruktur zu erklären (Polycove u.a., 1961). Der bei schwerem Zinkmangel beobachtete systematische Totalausfall des Organismus erklärt sich daher, dass Zink essentieller Kofaktor von mindestens 10 % der im Genom codierten Peptide ist, von denen die meisten an der Regulation der Genexpression beteiligt sind (Andreini u.a., 2006). Alimentäre Mangelsituationen sind demnach unbedingt zu vermeiden, um Beeinträchtigungen der Tiergesundheit und Leistungseinbußen entgegen zu wirken (Windisch u.a., 2014).

Hohe Dosierungen aller Spurenelemente können bei Tieren zu toxischen Erscheinungen führen. Die am Tier beobachteten Toxizitätserscheinungen sind vielschichtig. Sie basieren entweder auf der direkt toxischen Wirkung des Elementes oder auf der antagonistischen Wirkung des Überschusselementes zu anderen Elementen. Das antagonistische Prinzip kann zum Mangel an einem anderen Element führen, sodass manche Toxizitätserscheinungen mit Mangelsymptomen zu vergleichen sind (Flachowsky, 2002). Der Bereich zwischen Bedarfsdeckung und toxischen Erscheinungen variiert bei den verschiedenen Elementen und Tierarten erheblich. Während bei Selen beispielsweise die 10-fache Bedarfsmenge zu Störungen führen kann, liegt dieser Wert bei Zink beim 20- bis 40-Fachen. Kupfer kann bei Schafen bzw. Rindern die etwa 3- bis 12-fache Bedarfsmenge Störungen auslösen, bei Schweinen wirkt dagegen die etwa 30-fache Bedarfsmenge leistungssteigernd (Steinhöfel u.a., 2013).

## **5 Tierartübergreifende Resorptionsmechanismen**

### **Resorption und Verwertung von Spurenelementen in Abhängigkeit von Struktur und Darreichungsform**

Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit der Resorption von Aminosäure- bzw. Peptidchelaten der kationischen Spurenelemente Eisen, Zink, Mangan und Kupfer sowie des Selen, wenn es als anionisches Selenit oder Selenat bzw. Selenomethionin vorliegt. Diese organischen Komplexverbindungen sollen insbesondere im Vergleich mit anorganischen Salzen eine bessere Bioverfügbarkeit bieten.

Ein Teil der zugeführten anorganischen Metallsalze reagiert nämlich mit Nahrungsbestandteilen und bildet schwer lösliche Verbindungen etwa mit Polyphenolen (z. B. Tanninen) oder Phytinsäure, die ausgefällt und so der Resorption entzogen werden. Besonders die Phytinsäure ist ein starker Komplexbildner, der mit dem Futter aufgenommene Mineralstoffe im Gastrointestinaltrakt unlöslich bindet, sodass sie den Tieren nicht mehr zur Verfügung stehen (Lönnerdal u. a., 1988; 1989). Mathematische Modelle für die Zinkresorption zeigen, dass die jeweils resorbierte Menge maßgeblich vom Phytatgehalt, aber auch vom Ca- und Fe-Gehalt des Milieus abhängt (Miller u. a., 2013). Besonders phytatreich sind in der Tiermast häufig verwendete Produkte wie Mais und Soja sowie Weizen-, Gersten- und Roggenkleie.

Der erhöhte pH-Wert im Dünndarm, der bei Übergangsmetallen zur Bildung von Polyhydroxyverbindungen führt, möglicherweise auch zu Reaktionen mit Schwefelwasserstoff, tut sein Übriges, um die verfügbare Konzentration der kationischen Spurenelemente weiter zu verringern. Als Konsequenz – die Schwermetalle werden ungenutzt über den Darm ausgeschieden – reichern sie sich in der Umgebung von Zuchtbetrieben an und sollen sogar die Umwelt belasten (EFSA FEEDAP Panel, 2015).

#### **Metallische Spurenelemente als Chelatkomplexe**

Ji u. a. (2006) haben für Mangan nachgewiesen, dass eine Chelatbildung mit Aminosäuren bei Geflügel die Bioverfügbarkeit des Spurenelements verbessert. Dabei spielen die jeweiligen Dissoziationskonstanten der verschiedenen Aminosäurekomplexe eine wichtige Rolle, denn das Geschehen unterliegt dem Massenwirkungsgesetz: die Bioverfügbarkeit nimmt mit wachsender Stabilität der Komplexe, also geringerer Dissoziationsneigung, zu. Das ist verständlich, denn geringe Dissoziationskonstanten, also starke Komplexe, bedeuten wenig freie Metallionen, die etwa mit Phytaten oder Phosphaten unlösliche Niederschläge bilden könnten und so der Resorption entzogen werden. Aminosäuren fungieren in diesen

Chelatkomplexen als Lewis-Basen, deren Stärke die thermodynamische Stabilität des Chelats bestimmt. Zudem ist das gebildete Chelat mesomeriestabilisiert und die Chelatbildung führt zu einem Entropiegewinn (nach der Chelatbildung sind mehr freie Teilchen vorhanden als vorher). Besonders stabile koordinative Bindungen bilden Liganden, deren freies Elektronenpaar an einem Atom mit vergleichsweise niedriger Elektronegativität sitzt.

Die Untersuchung von Ji u. a. (2006) hat das Jejunum als Hauptort der Mn-Resorption identifizieren können, gibt aber keine Auskunft über den Resorptionsmechanismus. Die Autoren spekulieren, dass die Resorption von Metallen aus Chelaten über andere Wege verläuft als die von hydratisierten Metallionen. Das mag für Sonderfälle zutreffen, insbesondere bei Chelaten mit stark lipophilen Aminosäuren wie Phenylalanin; auch die Ladung des Komplexes spielt wohl eine Rolle. Ji u. a. (2006) gehen darauf nicht ein.

Die organischen Aminosäuren/Peptid-Chelate dürften für den Organismus als Metalle zum Teil unsichtbar sein. Das bedeutet eine geringere Toxizität und es wird erwartet, dass solche Chelate die gastrointestinalen Expressionen von Metallothioneinen, die im Gastrointestinaltrakt als Sammelbecken für Schwermetalle und Schutzproteine fungieren (Bauerly u. a., 2005), nur in geringem Umfang induzieren. Für den Resorptionsprozess der als Chelate vorliegenden Übergangsmetalle ist von Vorteil, dass sie auch im basischen Milieu stabil sind, in Lösung gehalten werden können und eine starke Annäherung an die intestinale Mukosa möglich ist.

Der Resorptionsprozess für chelatgebundene Metallionen mit Aminosäuren und kurzkettigen Peptiden ist nicht bekannt. Vorstellungen, dass diese Chelate als intakte Komplexe resorbiert werden, sind nicht belegt. Es ist aber anzunehmen, dass insbesondere ungeladene Chelate mit lipophilen Aminosäuren, mit kleinen Dissoziationskonstanten passiv durch Diffusion in die Blutbahn gelangen (Ashmead, 2001) und sich in der Zellmembran auch anreichern. Thermodynamische Überlegungen legen jedoch nahe, dass nicht das intakte Chelat resorbiert wird, sondern eine durch das Massenwirkungsgesetz getriebene Dissoziation des Komplexes stattfindet. Gesichert ist das für dreiwertiges Eisen, das im Nahrungsbrei, gebunden an zahlreiche Liganden, vorliegt und über den MIP-Weg resorbiert wird (s. u). Grundsätzlich steht auch das Chelat mit freien Metallionen und Aminosäureliganden in einem thermodynamischen Gleichgewicht. Transportproteine wie etwa Zip4, die eine hohe Affinität zu Übergangsmetallen haben, fangen die freien Metallionen ab und schaffen sie in ein anderes Kompartiment, das Innere der Mukosazelle. Das thermodynamische Gleichgewicht wird gestört und die fehlenden freien Ionen müssen im Sinne des Gleichgewichts aus den Chelatmolekülen nachgeliefert werden. Gleichermaßen werden auch die freien Aminosäure-/Peptidliganden dem

Gleichgewicht entzogen. Aktive energieverbrauchende Transportsysteme schaffen sie ins Innere der Mukosazellen. Die Resorption von Metallionen aus Aminosäure-/Peptidchelaten ist also generell mit thermodynamischen Überlegungen anhand des Massenwirkungsgesetzes zu erklären.

Nachfolgend werden die Resorptionsprozesse bei den wichtigsten Spurenelementen erläutert: Die Resorption von hydratisierten Zinkionen an der Darmmukosa ist ein energieabhängiger Prozess, der durch das Zip4-Protein vermittelt wird (Cousins, 2010), das entsprechend dem jeweiligen Zinkstatus exprimiert ist und einen hohen Cysteinanteil aufweist. Das Zink in der Mukosazelle muss durch einen energieverbrauchenden Prozess ausgeschleust werden. Metallothionein (eine Art zelluläres Zwischenlager für Metalle) und das Transporterprotein ZnT1 regulieren an der basolateralen Membran des Enterozyten die Menge an Zink, die in die Portalvene abgegeben wird. Der Transport im Blut erfolgt gebunden an Plasmaproteine, vor allem an Albumin. Die Aufnahme in das Gewebe wird durch die Interleukine 1 und 6 gesteuert und bei der Aufnahme in die Leber spielen Glukokortikoide eine Rolle. Allerdings wird auch die gastrointestinale Zinkabsorption in Abhängigkeit vom Zinkstatus über die Expression den Zip4-Carrier reguliert. Wenn die Zinkvorräte groß sind, ist in der Darmschleimhaut kaum Zip4-Protein vorhanden und umgekehrt (Cousins, 2010).

Die Eisenresorption ist generell gut untersucht (Collings u. a., 2013). Die Eisenaufnahme wird in Abhängigkeit von den körpereigenen Eisenvorräten durch die Expression des Transportproteins DMT-1 (divalent metal ion transporter-1) gesteuert. Nahrungseisen ist fast immer dreiwertig ( $\text{Fe}^{3+}$ ). Für die Resorption muss es zunächst im Bürstensaum des Darmepithels an der apikalen Membran der Mukosazellen zu zweiwertigem Eisen ( $\text{Fe}^{2+}$ ) reduziert werden. Das besorgt die membranständige Ferrireduktase. Danach transportiert das Transportprotein DMT-1 in einem aktiven energieverbrauchenden Prozess (divalent cation transport-1, DCT) das Eisen in das Zellinnere, wo es mit Apoferritin zu Ferritin, einer Speicherform des Eisens, reagiert. Der Transport ist ein Co-Transport von  $\text{Fe}^{2+}$  und  $\text{H}^+$ . Am basalen Zellpol wird das Eisen durch das Membranprotein Ferroportin in den Extrazellulärraum ausgeschieden, wo es von Coeruloplasmin und Hephaestin wieder zu dreiwertigem Eisen oxidiert und zum Abtransport an Transferritin gebunden wird (Collings u.a., 2013; Scheers, 2013).

Dreiwertiges Eisen wird über den MIP- (Mobilferrin-, Integrin- und Paraferitin-) Weg aufgenommen. Das Mobilferrin löst dabei  $\text{Fe}^{3+}$  aus den zahlreichen lockeren Komplexen des Nahrungsbreis und bindet es fest. Dies gelingt nicht, wenn  $\text{Fe}^{3+}$  in sehr stabilen unlöslichen Komplexen etwa mit Phytin- oder Oxalsäure vorliegt.

Der Eisenspiegel im Organismus wird hauptsächlich durch Hepcidin reguliert, das als Hormon des Eisenstoffwechsels gilt. Das Peptid bindet an das Ferroportin (s. o.) in der Darmmukosa und bewirkt dessen Abbau (Gulec u. a., 2014). Bei niedrigen Eisenspiegeln schränkt die Leber ihre Hepcidinproduktion ein. Als Folge wird die Freisetzung von Eisen aus Zellen ins Blut gesteigert. Ist der Eisenspiegel zu hoch, dann steigert die Leber ihre Hepcidinproduktion und die Eisenerfreisetzung sinkt. Für die Praxis bedeutet dies, dass die Bioverfügbarkeit des Eisens aus zugeführten Eisenverbindungen nur bei Eisenmangelzuständen von Belang ist. Der Zusatznutzen von organischen Eisenchelaten mit hoher Bioverfügbarkeit ist also begrenzt auf pflanzliches Futter, das wenig Eisen freisetzt. Ohnehin liegen bei gemischtem Futter auch bei der Zufuhr von anorganischen Eisensalzen im Darm mehr oder minder stabile organische Eisenkomplexe vor, die das Eisen trotz des alkalischen pH- Wertes in Lösung halten. Entscheidend ist, dass der jeweilige Hepcidinspiegel bestimmt, welche Eisenmenge aus dem gastrointestinalen Eisenpool aufgenommen wird (Collings u.a., 2013).

Die Kupferabsorption war kürzlich Gegenstand einer umfassenden Übersicht (Hordyjewska u.a., 2014). Die Kupferaufnahme folgt wohl einer konzentrationsabhängigen dualen Kinetik. Niedrige Cu-Konzentrationen erfordern einen aktiven, energieverbrauchenden und sättigbaren Transportmechanismus in die Enterozyten. Bei höheren Konzentrationen dominiert wohl die passive Diffusion (Hahn u.a., 2006). Zur Kupferaufnahme in die intestinalen Mukosazellen, vor allem im Duodenum, bedarf es der Mitwirkung von Reduktasen, die zweiwertiges Kupfer zu  $\text{Cu}^+$  reduzieren. Die Aufnahme des einwertigen Kupfers bewirken spezielle Carrierproteine. Beim Carriervermittelten Cu-Transport spielt auch das an der Zink- und Eisenabsorption beteiligte Membrantransportprotein DCT-1 eine wichtige Rolle (Hahn u.a., 2006). Da DCT-1 sowohl von Zink und Eisen als auch von Kupfer sowie anderen Metallen verwendet wird, kann es unter speziellen Bedingungen zu einem Antagonismus dieser Ionen kommen. Ein hohes Angebot von Kupfer induziert die Synthese von Metallothionein in den Mukosazellen des Dünndarms. Es liegt im Cytoplasma und bindet überschüssiges Kupfer und gibt es erst bei Bedarf an das Blut ab.

Vorteilhaft für die Bioverfügbarkeit von Kupfer aus Futtermitteln ist die Anwesenheit von organischen Komplexbildnern. Die gleichzeitige Zufuhr von Ascorbinsäure, einigen Aminosäuren, Glucosepolymeren, Peptiden und Proteinen, Fumar- und Oxalsäuren, Citrat, Malat und Laktat fördert über eine Chelatbildung die Kupferabsorption. Die Verhältnisse sind ähnlich wie beim Mangan. Ascorbinsäure ist zudem in der Lage,  $\text{Cu}^{2+}$  zu  $\text{Cu}^+$  zu reduzieren und damit die Cu-Aufnahme weiter zu steigern, weil das Kupfer in der für den Transport notwendigen Oxidationsstufe angeboten wird. Es ist zu erwarten, dass auch Hydrolysate von Sojaprotein die Bioverfügbarkeit verbessern. Das absorbierte Kupfer wird im Blut gebunden

an die Plasmaproteine Albumin und Transcuprein sowie an niedrigmolekulare Liganden, etwa Histidin, in die Leber transportiert, die als zentrales Speicherorgan fungiert (Hordyjewska u.a., 2014; Scheers, 2013).

Hinsichtlich der Komplexverbindungen von Eisen, Kupfer, Zink und Mangan mit Aminosäuren/kurzkettigen Peptiden kann man folgende Schlussfolgerung ziehen: Die Bildung von Chelatkomplexen verbessert in der Regel die Resorption dieser Spurenelemente, vor allem, weil Parallelreaktionen mit Bestandteilen des Nahrungsbreis weitgehend unterdrückt werden. Die Resorption dürfte im Wesentlichen den Wegen folgen, die für anorganische Metallionen gelten. Dafür sprechen schon thermodynamische Überlegungen. Besonders stabile Komplexe mit sehr niedriger Dissoziationskonstante gelangen jedoch durch passive Diffusion in die Blutbahn. Die Chelatbildung verbessert jedoch nicht notwendigerweise die Resorption und erst recht nicht die biologischen Effekte. Ein bekanntes Beispiel ist der EDTA-Komplex des Eisens, der eine sehr geringe Dissoziationskonstante besitzt und durch passive Diffusion resorbiert wird. Er ist jedoch, bedingt durch seine hohe Stabilität im Organismus weitgehend inert, kann also kein Eisen liefern und wird renal unverändert wieder ausgeschieden (Ashmead, 2001).

### **Die Resorption des Spurenelements Selen**

Seit den Achtzigerjahren sind Natriumselenit und Natriumselenat als Futterzusatzstoffe zugelassen, um etwaige Selendefizite auszugleichen. Selenat ersetzt heute bei Futterzusätzen das Selenit. Selen, wenn es als Selenit vorliegt, wird intestinal natriumunabhängig, vermutlich durch passive Diffusion absorbiert. Es bindet rasch an membranständige SH-Gruppen. Vor der Absorption, aber auch in den Enterozyten, reagiert Selenit mit Thiolen wie Glutathion und Cystein zu Selenotrisulfiden (Mykkannen & Wasserman, 1989, 1990; Vendeland u.a., 1992). Über die  $\gamma$ -Glutamyltransferase können die Selenotrisulfide zu Dipeptiden und Aminosäuren abgebaut und  $\text{Na}^+$ -abhängig mittels Aminosäurecarrier absorbiert werden. Möglicherweise reduziert das Thiol-Cystein Selenit auch spontan zum rasch absorbierbaren Selenid.

Kaum mehr als 10 % des aufgenommenen Selenits erreichen unverändert die Blutbahn. Offenbar reichert es sich dort in den Erythrozyten an. Selenat dagegen wird im Dünndarm im Rahmen eines Natrium-Kotransports gegen ein Konzentrationsgefälle genauso wie Sulfat durch den Bürstensaum der Mukosazellen resorbiert. Zusätzlich wird Selenat im gesamten Dünndarm im Austausch gegen intrazelluläre Hydroxylanionen durch den Bürstensaum der intestinalen Mukosa transportiert. Auch das ist ein vom Sulfat her bekannter Prozess (Ardüser u.a., 1985; Ardüser u.a., 1986, Wolfram u.a., 1985, 1986, 1988; Vendeland, Butler u.a., 1992).

Offenbar gibt es auch eine kompetitive Resorptionshemmung zwischen Sulfat und Selenat. Ebenso zweibasige Carbonsäuren wie Oxalat und strukturell ähnliche Dicarboxylatanionen wie Oxalacetat und Fumarat sollen kompetitiv den intestinalen Selenattransport hemmen (Wolfram u.a., 1988) was bei oxalatreichem Pflanzenfutter eine praktische Relevanz besitzen mag. Selenat, das der Resorption entgeht, dürfte wie Sulfat im Kolon bakteriell zu  $H^2Se$  reduziert werden.

Wie Untersuchungen mit stabilen Selenisotopen gezeigt haben (van Dael u.a., 2002), ist die Selenretention aus Selenit bzw. Selenat etwa gleich. Die Bioverfügbarkeit des Selens wird offenbar vom „Selenstatus“ wenig beeinflusst und spielt auch keine Rolle in der Kontrolle der Selenhomöostase (Sundara, 2012).

Anorganische Selensalze sind giftig. Die Toxizität, wenn sie denn in der Praxis eine Rolle spielen sollte, lässt sich durch Zufuhr von Selenomethionin, dem Selenanalogon des L-Methionins, verringern. In Futterpflanzen liegt Selen überwiegend als Selenomethionin vor. Die Resorption von Selenomethionin (SeMet) erfolgt im gesamten Dünndarm und ist im Vergleich zu den anorganischen Verbindungen Selenat und Selenit sehr schnell (Vendeland, Deagan u.a., 1992). Selenomethionin und Methionin werden aktiv durch den gleichen, für neutrale Aminosäuren spezifischen,  $Na^+$ -abhängigen Prozess aus dem Intestinum resorbiert. Somit ist der Selenomethionintransport durch Methionin und umgekehrt hemmbar. Der Transport einiger Hexosen wie Glucose und Galactose ist ebenfalls  $Na^+$ -abhängig, daher können auch sie den SeMet-Transport hemmen. Zwei weitere Aminosäuren, Selenocystin und Selenocystein, konkurrieren ebenfalls mit ihren Schwefelanaloga um gemeinsame Transportmechanismen. Da der Cystin- bzw. Cysteintransport sowohl durch Selenocystin bzw. -cystein als auch durch Arginin und Lysin kompetitiv gehemmt wird, verläuft dieser Transport vermutlich über den Carrier für basische Aminosäuren (Wolfram u.a., 1989; Wolfram, 2000).

Die Leber spielt im Selenhaushalt des Organismus eine zentrale Rolle. Resorbiertes Selen gelangt innerhalb von 15 min. zur Leber, wird dort in das Selenoprotein P (SEPP-1) eingebaut und als solches ins Plasma sezerniert. Die wichtigsten Selenoproteine sind SEPP-1 und eine extrazelluläre Glutathionperoxidase (Wastney u.a., 2011). Selenhaltige Glutathionperoxidasen kommen auch in Erythrozyten und Thrombozyten vor.



## 6 Untersuchte Spurenelemente und deren physiologische Rollen

Die Spurenelemente Zink, Kupfer, Mangan und Selen sind als wichtiger Grundbaustein in vielen Enzymen wie Superoxid-Dismutase, Glutathion-Reduktase, Glutathion-Peroxidase, Thioredoxin-Reduktase, Ceruloplasmin und Katalase enthalten, die wichtige Funktionen im Immunsystem einnehmen und als Antioxidantien fungieren, welche in der Neutralisation von zellschädlicher Oxidation (beispielsweise durch freie Radikale) fungieren. Auch die Proteinsynthese und die Herstellung von Hormonen unterliegen Prozessen, in die Metallenzyme involviert sind. Daher wirken sich Spurenelemente im Organismus essenziell auf Wachstum, Produktivität und Reproduktion aus (Yatoo u. a., 2013). Ferner spielen sie eine wesentliche Rolle für eine Vielzahl von Stoffwechselprozessen. Dazu zählen strukturelle (Formgebung von Geweben), physiologische (als Elektrolyten), katalytische (Metalloenzyme) und regulatorische Funktionen (Hormone). Die katalytische Funktion manifestiert sich bei einem Mangel als Erstes durch eindeutige Symptome, da viele Stoffwechselprozesse, einschließlich der Energieproduktion des Körpers und der Zellteilung, nicht stattfinden können, wenn beispielsweise ein Iodmangel zu einer verminderten Thyroxinproduktion in der Schilddrüse führt, die zentral den Metabolismus des Körpers steuert (Larson, 2005).

Um einem Mangel an diesen vorzubeugen, wird das Futter angereichert, was in der konventionellen Tierernährung vorwiegend mit mineralischen Salzen vorgenommen wird. Diese dissoziieren (zersetzen in die ionischen Bestandteile) jedoch im Verdauungstrakt und können dort chemische Verbindungen mit anderen Futtermittelzusätzen eingehen, wodurch deren Aufnahme reduziert wird und daher keine ausreichende Bioverfügbarkeit mehr gewährleistet werden kann.

Im nachfolgenden Abschnitt werden die wichtigsten Spurenelemente (Kupfer, Selen, Eisen, Zink und Mangan), die in der Tierernährung eingesetzt werden, genauer beleuchtet und deren physiologische Rollen beschrieben.

## 6.1 Kupfer

Kupfer ist Bestandteil von Cytochrom a und von verschiedenen Enzymen wie der Katalase, der Tyrosinase oder der Monoaminoxidase. Enge metabolische Beziehungen bestehen zwischen Kupfer und Eisen, die beide gemeinsam an biologischen Aktionen beteiligt sind. Kupfer begünstigt die Eisenresorption aus dem Intestinaltrakt, sodass sich bei Kupfermangel eine hypochrome Anämie entwickelt. Als ein redoxaktives Metall ist Kupfer auch ein Cofaktor der Superoxiddismutase, einem Enzym, das an der Entgiftung des toxischen Superoxidradikals  $O_2^-$  beteiligt ist (Theil und Raymond, 1994). Eine verringerte Aufnahme von Kupfer wird nicht nur in Zusammenhang mit Anämie, sondern auch mit Infertilität und verminderter Immunabwehr gebracht (Underwood u.a., 1999). Molybdän, Schwefel und Eisen sind Antagonisten von Kupfer, die durch die Bildung unlöslicher Kupferkomplexe im Verdauungstrakt, in der Blutbahn und in Geweben von Wiederkäuern zu einer Hypokupurose führen (Dick u.a., 1975; Suttle u.a., 1983; Howell u.a. 1990).

An Hereford-Färsen wurde untersucht, wie der Kupfer-antagonistische Effekt von Molybdän, Schwefel oder Eisen durch Kupfer Supplementierung begrenzt werden kann. Die Färsen erhielten Futtermitteln, denen die Kupferantagonisten zugesetzt wurden. Die Untersuchungsgruppen erhielten entweder kein zusätzliches Kupfer oder verschiedene Zusätze von anorganischem Kupfer oder Kupferkomplexen. Eine Kombination aus 25 % Kupfersulfat, einem 50 % Kupfer-Aminosäurekomplex und 25 % Kupferoxid zeigte die günstigsten Wirkungen hinsichtlich der Reduktionen eines Kupferverlustes einerseits und einer Molybdänanreicherung in den Lebern andererseits (Bailey u.a., 2001). Ein niedriger Kupfergehalt in der Fütterung sowie eine hohe Zufütterung von Eisen (500 ppm Trockenmasse) führten zur Kupferdepletion an laktierenden Kühen. Eine Behandlung mit 15 oder 30 ppm Kupfer als Kupfersulfat oder als Kupferlysin zusätzlich zum Grundgehalt von 8 mg Kupfer pro kg Trockenmasse führte zunächst zu einer vermehrten Kupferretention. Der Effekt war jedoch, unabhängig von der Art des supplementierten Kupfers, nicht nachhaltig über die 83-tägige Versuchsdauer (Chase u.a., 2000).

Kupfermangel bei Rindern führt zu verringertem Wachstum (Gengelbach u.a., 1994) und verzögerter Geschlechtsreife (Phillippo u.a., 1987). Befinden sich Rinder in einem zufriedenstellenden gesundheitlichen Zustand und sind ausreichend mit Eiweiß und Energie versorgt, hat ein Fütterungszusatz von Kupfer kaum Effekte. Bei einer bioptisch ermittelten Kupferkonzentration von etwa 50 ppm in der Leber zwei Monate vor dem Kalbetermin konnten durch die Kupfersupplementierung weder eine Zunahme der Trächtigkeitsrate noch eine gesundheitliche Verbesserung der Kälber erreicht werden (Mühlenbein u.a., 2001).

Kupfermangel bei Rindern reduziert eine Abnahme der unspezifischen Immunabwehr. So war in neutrophilen Granulozyten von Rindern mit Kupfermangel die Aktivität gegenüber phagozytierten Mikroorganismen herabgesetzt (Boyne und Arthur, 1986). Ein Einfluss eines Kupfermangels auf die spezifische Immunabwehr bei Rindern ist dagegen nicht sicher nachgewiesen. Experimentell wurde eine potentielle Schwächung der Immunabwehr infolge eines Kupfermangels sowohl an Kälbern, die durch eine hohe Zufuhr der Kupferantagonisten Molybdän und Eisen Kupfer-depletiert wurden, als auch an Holstein-Bullenkälbern mit niedriger Kupferzufuhr untersucht. Die mit den Kupferantagonisten behandelten Kälber zeigten gegenüber Kälbern der Kontrollgruppe eine signifikant geringere Antikörperbildung gegenüber Schweine-Erythrozyten. Die Ergebnisse im zweiten Experiment waren jedoch inkonsistent hinsichtlich einer spezifischen zellvermittelten Immunantwort (Ward u.a., 2001).

Ein positiver Effekt von Kupfer auf das Wachstum bei Schweinen ist durch mehrere Untersuchungen belegt. Kupfer fördert das Wachstum bei Aufzuchtsschweinen (Braude u.a., 1970), säugenden Sauen (Ma u.a., 2015) und in frisch abgesetzten Ferkeln (Coffey u.a., 2004; Veum u.a., 2004; Perez u.a., 2011). Ursächlich für die Wachstumsförderung durch Kupfer bei Schweinen ist eine Erhöhung der messenger RNA Expression für das Releasing Hormone des Wachstumshormons (GHRH mRNA) (Yang u.a., 2011) sowie eine Erhöhung der Konzentration des Neuropeptid Y im Hypothalamus von Schweinen (Li u.a., 2008). Bei einer Fütterung von Schweinen mit Küchenabfällen droht ein Kupfermangel mit assoziierter Anämie, so dass eine Supplementierung von Kupfer empfohlen wird (Pritchard u.a., 1985). Bei einer Zugabe von Kupfer zum Futter konnten an abgesetzten Schweinen zwar Wachstumseffekte, aber keine Beeinflussung der Immunkompetenz, gemessen anhand der Lymphozytenproliferation, festgestellt werden (Davis u.a., 2002). Eine hohe Zufuhr von Kupfer führt zu Erhöhungen der Dopamin- und Noradrenalin-Konzentrationen im Mittelhirn und im Hypothalamus sowie zu einer Zunahme der Dopamin- $\beta$ -Hydroxylase-Aktivität im Mittelhirn von Schweinen (Yang u.a., 2016a). Kupfersupplementierung verbesserte in der Psoas-Muskulatur von Schweinen den antioxidativen Status (Lauridsen u.a., 1999).

Wachstumseffekte durch Kupferzusatz zum Futter lassen sich auch beim Geflügel nachweisen, so bei Küken (Jenkin u.a., 1970), Broilern (Luo u.a., 2005; Lu u.a., 2010; Samanta u.a., 2011; Jegede u.a., 2011) oder bei Pekingenten (Attia u.a., 2012). Bei Legehennen führt die Kupfersupplementierung zur Zunahme der Eiproduktion (Güclü u.a., 2008). Futterzusatz von Kupfer in Kombination mit dem Tonmineral Montmorillonit erhöhte bei Broilern die Aktivitäten der Gesamtproteasen, der Amylase und der Lipase im Dünndarm und verbesserte die Morphologie der Dünndarmmukosa (Xia u.a., 2004).

Eine Erhöhung der Kupferzufuhr von 26 ppm Kupfer im Standardfutter auf 450 ppm hat jedoch negative Auswirkungen auf die Futteraufnahme und ab 600 ppm auch auf das Wachstum (Miles u.a., 1998). Die Erhöhung der Kupferkonzentrationen im Futter (von 0,05 % bis 0,20 %) führt zu einem dosislinearen Anstieg von oralen Läsionen bei Broilern (Jensen u.a., 1991). Stark erhöhte Kupferkonzentrationen im Futter haben jedoch nur einen geringen Einfluss auf eine Bleivergiftung bei Küken (Bafundo u.a., 1984).

## **6.2. Selen**

Selen ist wichtiger Bestandteil von Oxidoreduktasen und Transferasen. Als Spurenelement moduliert Selen eine breite Palette von biologischen Schlüsselprozessen. Dazu gehören vor allem die Zellreaktion auf oxidativen Stress, die zelluläre Differenzierung, die Immunantwort sowie die Proteinfaltung. Die biochemischen Wirkungen des Selen auf Zellebene werden durch die Aktivität von Selen-Cystein-haltigen Selenoproteinen vermittelt (Steinbrenner u.a., 2016).

Die Gewichtszunahme junger Charolaisbullen wurde durch Selenzugabe zwar nicht erhöht, jedoch nahm die Fleischqualität, gemessen als eine höhere Lichthelligkeit und eine geringere Scherkraft, zu (Cozzi u.a., 2011). Viermalige Injektionen von Selen führten bei saugenden Herefordkälbern zu erhöhten täglichen Gewichtszunahmen (Castellan u.a., 1999). Bei ersttragenden Kühen wurde durch Selensupplementierung in der präpartalen Phase die Produktion von Kolostrum und Milch gesteigert. Nachgeburtserhaltung trat unter ausreichender Selenversorgung nicht auf und weniger Inseminationen pro Trächtigkeit waren erforderlich (Moeini u.a., 2009). Die immunstimulierenden Effekte zeigten sich in einer Abnahme der Zellzahl in der Milch sowie in einer höheren Leukozytenzahl im Blut der behandelten Tiere (Moeini u.a., 2011). Die Zugaben von 1 und 3 ppm Selen zum Kolostrum erhöhten den Immunglobulin G Gehalt im Blut der Kälber für etwa zwei Wochen (Kamada u.a., 2007). Bei der Kombination aus einer Seleninjektion und einer Supplementierung mit 1, 3 und 2,5 ppm Grasfutter vor dem Abkalben und während der Laktation wurde das Auftreten von Mastitis verhindert (Ceballos-Marquez u.a., 2010). Eine zweimalige Injektion einer Vitamin E (2,1 g) - Selen (7 g) Kombination vor dem Kalben blieb zwar ohne Wirkung auf die Milchmenge und die reproduktive Leistung oder die Inzidenz von Uterusinfektionen, reduzierte aber das Auftreten einer Mastitis und einer Plazentaretention und verminderte insgesamt das Risiko eines wirtschaftlichen Totalverlustes (Bourne u.a., 2008).

Das Wachstum von Mastschweinen ließ sich durch Zugabe von Selen im Futter (0,1 - 0,3 ppm) nicht steigern. Die Fleischqualität wurde aber dahingehend verbessert, dass der Wasserverlust signifikant geringer war (Mateo u.a., 2007). Die Fütterung von Ferkeln mit selenangereicherten Probiotika verbesserte den antioxidativen Status über eine Erhöhung der Superoxiddismutase-Aktivität und des Glutathiongehalts und verstärkte die Immunabwehr über eine Zunahme der T-Lymphozytenproliferation und der Interleukin-2-Konzentration (Gan u.a., 2014). Unter Hitzestressbedingungen bewirkte die Fütterung mit selenangereicherten Probiotika bei Ferkeln eine Runterregulierung der DNA für Hitzeschockproteine und eine Aktivitätssteigerung der Glutathionperoxidase (Gan u.a., 2013). Die Kontamination des Schweinefutters mit Aflatoxin B1 führt zu Leberschäden und der Schwächung des Immunsystems. Die Supplementierung mit organischem Selen vermindert die durch Aflatoxin B1 verursachte Immunitätsschwäche bei Schweinen durch Erhöhung der antioxidativen Kapazität. Selenzusatz verstärkte insbesondere die messenger RNA und Proteinexpression der Glutathionperoxidase 1, des Selenoprotein S und der Thioredoxinreduktase in Splenozyten (Hao u.a., 2016).

Aufgrund des Vorhandenseins von leicht oxidierbaren langen Ketten vielfach ungesättigter Fettsäuren ist der Samen von Ebern sehr oxidationsanfällig. Um einen ausreichenden antioxidativen Status, der für eine gute Samenqualität erforderlich ist, zu erreichen, wird daher eine optimale Selenversorgung gefordert (Surai und Fisinin, 2015). Eine tägliche Zufuhr von 0,3 ppm Selen hatte allerdings keinen positiven Effekt auf die Samenmenge und -qualität von Ebern (Lovercamp u.a., 2013). In einer anderen Studie konnte die tägliche Zufuhr von Selen in derselben Konzentration (0,3 ppm Futter) die negativen Effekte der Samenspeicherung auf die Spermienmortalität abschwächen und zumindest tendenziell die Fertilisationsrate erhöhen (Speight u.a., 2012b). Die Größe von Hoden und akzessorischen Geschlechtsdrüsen wurden durch die Selensupplementierung ebenso wenig verändert wie die tägliche Gewichtszunahme (Speight u.a., 2012a).

Selenmangel beim Schwein kann zu einer speziellen Form der Kardiomyopathie, der sog. Maulbeerkrankheit, führen. Sie ist durch akutes Herzversagen und plötzlichen Tod ohne vorausgehende klinische Symptome gekennzeichnet. Pathologisch fallen hämorrhagische und blasse Myokardregionen sowie Flüssigkeitsansammlungen im Perikard und in der Pleurahöhle auf (Oropeza-Moe u.a., 2015). Extrem hohe Zufuhren von bis zu 16 mg Selen pro kg Futter verursachten an Sauen keine offensichtliche Toxizität. Die Wurfgröße war nicht beeinträchtigt und die Ferkel waren makroskopisch unauffällig. Beim Absetzen wiesen die Ferkel, die hohe Selendosierungen in den ersten neun Lebenswochen erhalten hatten, jedoch ein geringeres Gewicht auf (Poulsen u.a., 1989).

Selenmangel bei Küken ist mit exudativer Diathese (Huang u.a., 2011; Yang u.a., 2016b), einer starken Reduktion der antioxidativen Funktionen, höheren Expressionsraten von Hitzeschockproteinen in der Milz, im Thymus und der Bursa Fabricii sowie morphologischen Veränderungen in der roten Pulpa und im Mark des Thymus assoziiert. Die Befunde deuten auf die Bedeutung von Selen für die Etablierung einer funktionellen Morphologie immunkompetenter Organe hin (Yang u.a., 2016b). Weitere Folgen des Selenmangels sind die Abnahme des metabolisch wichtigen Schilddrüsenhormons Thyroxin durch Hemmung der Konversion von  $T_4$  zu  $T_3$  (Lin u.a., 2014) und die Runterregulierung von Genen für Selenoproteine in der Leber und in der Muskulatur (Huang u.a., 2011).

Futterzusatz von Selen (0,2 und 0,4 ppm) für Legehennen erhöhte die Eigröße und die Oxidationsstabilität der Eier. Die Effekte traten am deutlichsten hervor, wenn der Gehalt an oxidierten Fettsäuren im Futter hoch war (Laika u.a., 2015). Die Anzahl gelegter Eier und das Eigewicht wurden durch Selensupplementierung erhöht (Rajashree u.a., 2014) und gleichzeitig wurde der Cholesteringehalt in den Eiern gesenkt (Pan u.a., 2011). Das Wachstum von Gänsen wurde durch Selensupplementierung im Futter nicht erhöht. Die Fleischqualität verbesserte sich jedoch mit einer deutlichen Zunahme des Eiweißgehaltes (Baowei u.a., 2011).

Die Selensupplementierung im Futter verbesserte bei männlichen Küken die Entwicklung der Samenleiter (Khalid u.a., 2016). Das Sperma von Junghähnen wies nach Selenzufuhr eine erhöhte Spermienzahl, eine verstärkte Spermienmotilität, einen geringeren Prozentsatz toter Spermien und einen höheren antioxidativen Zustand der Spermaflüssigkeit auf (Ebeid, 2009). Bei Truthähnen konnten durch Selenzufuhr die Spermienkonzentration, die Spermienzahl und die Anzahl beweglicher Spermien erhöht werden (Slowinska u.a., 2011).

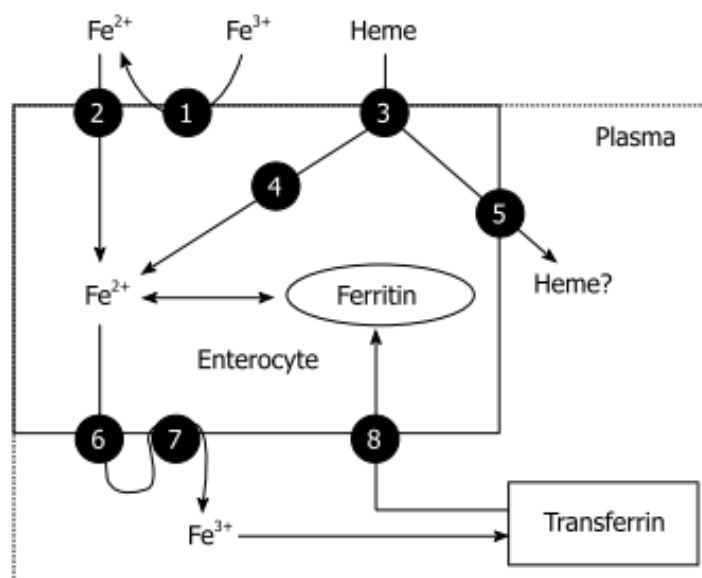
Hitzestress geht mit reduzierter Leistung und Produktivität bei Geflügel einher, was sich in einer geringeren Futteraufnahme, Futtermittelverwertung, Wachstumsrate und Eiproduktion zeigt. Als Teil der spezifischen Selenoproteine hält Selen die antioxidativen Schutzmechanismen aufrecht und verhindert somit Organschäden. Optimale Selenversorgung kann in hitzestressstem Geflügel die Futteraufnahme, die Gewichtszunahme, die Eiproduktion und Eiqualität verbessern. Durch Änderung der Produktion bestimmter Zytokine stärkt Selen zudem die Immunantwort (Habibian u.a., 2015). Durch Futterzusatz von kombiniertem Vitamin E und Selen (0,5 und 1 ppm) wurde die Lipidoxidation im Brustfleisch von Broilern, die unter Hitzestressbedingungen (24 bis 37 °C) gehalten wurden, reduziert (Habibian u.a., 2016). Die durch Hitzestress bei männlichen Broilern reduzierte Immunkompetenz wurde durch Selensupplementierung verbessert, was sich an einer erhöhten Zahl von Makrophagen und

einer gesteigerten Phagozytoseaktivität festmachen ließ (Niu u.a., 2009). In Truthähnen vermindert die diätetische Zuführung von 0,3 ppm Selen zwar die Oxidationsvorgänge im Ei und Gewebe, bleibt aber in den ersten fünf Lebenswochen ohne Einfluss auf die Wachstumsleistung und die zellvermittelte Immunität (Jankowski u.a., 2011). Selenzufuhr hatte bei Gänsen einen positiven Effekt auf zelluläre Immunität, nicht jedoch auf die humorale Immunantwort (Baowei u.a., 2011). Hohe Selenkonzentrationen im Futter (bis zu 1,0 ppm) zeigten günstige Wirkungen gegenüber einer experimentell erzeugten nekrotisierenden Enteritis. Neben einer vermehrten Körpergewichtszunahme wurden auch eine verstärkte Antikörperbildung sowie weniger Darmläsionen beobachtet. Darüber hinaus waren die Konzentrationen immunologisch relevanter Zytokine wie Interleukin-1 $\beta$ , -6 und -8 sowie der induzierbaren Stickstoffmonoxid-Synthase erhöht (Xu u.a., 2015). Selen antagonisiert bei Küken die durch eine Bleivergiftung verursachte Leberschädigung durch eine Veränderung des Eisenprofils in der Leber (Xu u.a., 2016).

### 6.3 Eisen

Als Cofaktor für eine Vielzahl von Proteinen und Enzymen ist Eisen ein wichtiges Spurenelement, das vor allem im Sauerstoff- und Energiemetabolismus, aber auch in anderen Stoffwechselfvorgängen eine essentielle Bedeutung hat. Unter biochemischem Aspekt ist die Fähigkeit des Eisens, Elektronen abzugeben und aufzunehmen, entscheidend. Die häufigsten Eisenformen sind zwei- und dreiwertiges Eisen. Als ein Übergangsmetall kann Eisen verschiedene Oxidationszustände einnehmen, wodurch es an biologischen Redoxreaktionen teilnehmen kann (Theil u.a., 1994). Eisen nimmt eine zentrale Stellung in der Bildung des Hämoglobins ein. Im Zytoplasma und in den Mitochondrien wird das Porphyrin Häm aus Proerythroblasten und Erythroblasten synthetisiert. Im letzten Schritt der Hämsynthese wird zweiwertiges Eisen unter der katalytischen Wirkung des Enzyms Ferrochelatase in einen Protoporphyrin-9-Ring eingeführt. Zusammen mit den an Ribosomen der Retikulozyten gebildeten Globulinketten formiert sich das Häm zum Hämoglobin. Je einem eisenhaltigen Häm kann das Hämoglobinmolekül ein Molekül Sauerstoff reversibel binden und geht dabei in Oxyhämoglobin über. Basierend auf der Reversibilität der Sauerstoffbindung fungiert Hämoglobin als Sauerstoffträger. Bei einem hohen Sauerstoffpartialdruck in den Alveolen ist Hämoglobin praktisch vollständig mit Sauerstoff gesättigt, während bei niedrigerem Sauerstoffpartialdruck im Gewebe Sauerstoff abgegeben wird und dadurch die Sättigung abnimmt. Der Transport von Eisen im Blut findet über eisenbindende Trägerproteine, die Transferrine, statt. Das physiologische Gleichgewicht von Eisen im Blut steht unter der Feedbackkontrolle durch Heparin, einem von Hepatozyten gebildeten Peptidhormon (Ganz

u.a., 2012). Eisenmangel kann durch eine zu geringe Zufuhr oder durch Blutungen verursacht werden. In der Folge wird die Häm synthese reduziert, der Bedarf an Hämoglobin kann nicht mehr ausreichend gedeckt werden und es entwickelt sich eine Anämie. Eine Übersättigung mit Eisen als Resultat einer übermäßig gesteigerten Resorption oder einer mangelhaften Utilisation führt zur Eisenablagerung (Hämochromatose) im Gewebe (Clemens, 2000; Pantopoulos u.a., 2012).



**Abbildung 3: Mechanismen des Eisenstoffwechsels in Säugetieren**  
(Muñoz u. a., 2009, S. 4618)

Abbildung 3 zeigt die Umwandlung von Eisen (III) in die biologisch aktive Form Eisen (II) durch das Enzym Ferrireduktase. Eisen (II) kann anschließend von einem auf den Transport bivalenter Ionen spezialisierten Transportprotein der Verstoffwechslung von Hämoglobin und Ferritin zugeführt werden (Muñoz u. a., 2009).

Die Abhängigkeit des Effektes einer zusätzlichen Eisenversorgung von der Grundversorgung wurde bei Kühen und Färsen in der späten Gestations- und frühen Laktationsperiode deutlich. Zwei Gruppen von Färsen oder Kühen erhielten ab 60 Tagen vor dem errechneten Abkalbetermin entweder mit Eisen angereichertes oder normales Futter. Die verabreichte Dosierung in der mit zusätzlichem Eisen gefütterten Gruppe betrug 30 ppm Körpergewicht Eisen. Das Experiment endete am Tag 63 in der Laktationsperiode. Die Eisensupplementierung zeigte keinen Einfluss auf die Milchproduktion oder die Milchsammensetzung. Der fehlende Effekt des zusätzlichen Eisens wurde auf die insgesamt ausreichende Eisenzufuhr der untersuchten Herde zurückgeführt, die zwischen 282 bis 336 mg Eisen pro kg Trockenmasse lag (Weiss u.a., 2010).



Ein wichtiger Aspekt in der Zufuhr von Eisen ist die Aufnahmerate. Die Zufütterung des Transferrins Lactoferrin an Kälber führte zu einer verbesserten Aufnahme von Kraftfutter während der Tränkephase. Die Kälber, die Lactoferrin (0, 1, und 10 g pro Tag) als Zugabe zum Kolostrum, zur Milch und zum Milchaustauscher erhielten, nahmen schneller an Gewicht zu und erreichten die Kriterien für eine Entwöhnung zu einem früheren Zeitpunkt (Joslin u.a., 2002). Das natürliche Erz Klinoptilolith-Zeolith soll über starke Absorptionseigenschaften und seine Wirkung als Chelator von Schwermetallen wie Blei, Kadmium oder Quecksilber zur Detoxifizierung geeignet sein. Zum Futter beigemischt Klinoptilolith könnte Spurenelemente binden und so zu einem Mangel der vital wichtigen Stoffe führen. Eine Untersuchung an 52 gesunden Holstein-Kühen ergab jedoch, dass der Futterzusatz von 1,25 und 2,5 % Klinoptilolith, der von der vierten Woche vor dem Kalbetermin bis zum Ende der Laktationsperiode verabreicht wurde, keinen negativen Einfluss auf die Serumkonzentrationen von Kupfer, Eisen oder Zink hatte (Katsoulos u.a., 2005).

Bei laktierenden Sauen hatte die Injektion von Eisen-Dextran die gleichen Wachstumseffekte bei den Muttersauen und den Ferkeln wie die Zufuhr von bakteriellem Eisen. Die Injektion von Eisen-Dextran führte bei den Ferkeln jedoch zu vergleichsweise höheren Blutkonzentrationen von Eisen, Leukozyten, Erythrozyten und Hämoglobin (Zhao u.a., 2015). Die Supplementierung des Grundfutters mit 0, 25, 50, 100 und 150 ppm Eisensulfat führte zu dosislinearen Anstiegen der Aufnahmen von Eisen, Kupfer, Magnesium, Mangan, Phosphat und Zink bei säugenden Sauen (Rincker u.a., 2005). Die Immunabwehr an frisch abgesetzten Ferkeln wurde durch den Zusatz von Lactoferrin in der Dosierung von 1 g pro kg deutlich erhöht. Nach 15- und 30-tägiger Zusatzbehandlung waren wichtige Indikatoren der Immunantwort wie die antigen-stimulierte Lymphozytenproliferation und die Konzentrationen von Immunglobulin A, Immunglobulin M, Interleukin-2 und dem Komplementsystem signifikant erhöht (Shan u.a., 2007). Die Verwertung von Eisen aus dem Futter ließ sich bei jungen Schweinen durch den Zusatz von 4 % Inulin verbessern (Yasuda u.a., 2006).

Das polyanionische Molekül Phytat bildet Chelate mit positiv geladenen Kationen, besonders mit Calcium, Eisen und Zink. Da Phytat in Pflanzensamen vorkommt, ist es besonders für die Fütterung von Schweinen und Geflügel von Bedeutung. Durch die Chelatbindung von wichtigen Spurenelementen wird deren Verfügbarkeit für die Nutztiere vermindert, sodass eine Supplementierung erforderlich wird (Humer u.a., 2014). Bei jungen Schweinen im Alter von 31 Tagen, die für vier Wochen mit phytathaltiger Gerste und Sojabohnenmehl gefüttert wurden, führte eine Supplementierung mit Eisen und Zink über die vom National Research Council geforderte Menge hinaus zu linearen Anstiegen der Wachstumsleistung, des Hämatokrit, der

Knochenstärke und des Aschegehaltes der Metacarpen sowie der Verwertung von Zink und Kupfer (Veum u.a., 2014).

Von mehr theoretischem Interesse ist das Ergebnis einer Studie an Ferkeln mit diätetisch erzeugtem Eisenmangel. Der Eisenmangel führte bei den Ferkeln nicht nur zu den typischen Symptomen einer Anämie wie reduzierte Werte für Hämoglobin und Hämatokrit, sondern auch zu einer verminderten Lernfähigkeit, die mit geringeren Eisenkonzentrationen im Hippocampus assoziiert waren (Rytych u.a., 2012).

Bei Legehennen verbesserte die Futterergänzung mit  $\delta$ -Aminolävulinsäure (5 und 10 ppm) und Vitamin C (500 ppm) nicht nur den Eisenstatus, sondern auch die Eiqualität in Bezug auf die Farbe des Eigelbs und des Albumingehaltes (Wang u.a., 2011). Ein besseres Wachstum von Broilern sowie eine verminderte Ausscheidung von Spurenelementen ließen sich dadurch erreichen, dass anorganische Spurenelemente vollständig durch Methionchelate- oder Hefeeiweißformen als Quellen ersetzt wurden. Wurden Eisen, Kupfer, Mangan und Zink aus diesen Quellen verwendet, führte dies zu einem erhöhten Aschegehalt in der Tibia, zu einem höheren Gesamtproteingehalt im Serum und zu einer geringeren Ausscheidungsrate der Spurenelemente (Singh u.a., 2015).

#### **6.4 Zink**

Bei Zink handelt es sich nicht um ein Übergangsmetall im strikten Sinne. Zink befindet sich im Organismus überwiegend im Metallothionein, welches Kupfer und andere Metalle bindet. Die Proteine, mit denen Zink assoziiert ist, katalysieren intra- oder intermolekulare Umlagerungen von Elektronen. Neben den Redoxeigenschaften des Zinks besitzt es eine strukturgebende Funktion im Enzym Superoxiddismutase. Andere Enzyme, in denen Zink vorkommt, sind die Carboanhydrase, die Alkoholdehydrogenase sowie eine Vielzahl von Hydrolasen. Eine eher strukturelle als eine katalytische Rolle nimmt Zink auch in den Nukleinsäure-Polymerasen, den Transkriptionsfaktoren und dem steroidalen Progesteron-Rezeptor ein (Theil u.a., 1994).

Der Einfluss von Zink auf das Wachstum von Rindern ist seit langem bekannt (Miller u.a., 1965; Miller, 1970; Mayland u.a., 1980). Eine Untersuchung an Rindern mit Zinkmangel in Nordindien zeigte deutliche Verbesserungen durch eine Zinksupplementierung in Bezug auf Körpergewicht und Milchproduktion, Hämoglobingehalt, Erythrozyten- und Leukozytenzahl sowie verschiedene Enzyme (Sharma u.a., 2005). In Angus- und Hereford-Mastbullen verbesserte Zinkzusatz im Futter die Gewichtszunahme (Spears u.a., 2002). Die Fütterung mit einem Zusatz an organischen Formen von Zink in Verbindung mit Mangan, Kupfer und Cobalt steigerte die Milchproduktion zur Mitte der Laktationsperiode, hatte jedoch keinen positiven

Effekt auf die postpartale Follikelentwicklung (Hackbart u.a., 2010). Zinksupplementierung zeigte einen positiven Effekt auf die Reproduktion von inseminierten Kühen, die eine erhöhte Trächtigkeitsrate aufwiesen (Ahola u.a., 2004). Bei einer Dosierung von 36 mg Zink pro kg Trockenmasse konnte die Zahl somatischer Zellen sowie die Amyloid-Konzentrationen in der Milch reduziert und die Milchmenge erhöht werden (Cope u.a., 2009). Die gleichzeitige Verabreichung von Zink-Methionin mit Biotin reduzierte das Auftreten einer Mastitis und erhöhte die Milchproduktion (Kinal u.a., 2011). Eine erhöhte phagozytotische in vitro Aktivität von neutrophilen Granulozyten, die nach einer Zinksupplementierung in der prä- und postpartum Periode an indischen Sahiwal-Kühen festgestellt wurde, deutet auf eine potentielle immunstärkende Wirkung von Zink hin (Dang u.a., 2013). Eine Zink-Toxikose wurde nach Einnahme von etwa 1,5 bis 2,0 g Zink pro Tag über einen Milchaustauscher mit einer akkumulierten Gesamtmenge von 42 bis 70 g Zink an Kälbern beobachtet. Die Symptome traten nach ungefähr 23 Tagen auf und bestanden in abnehmender Häufigkeit aus Pneumonie, Augenschäden, Diarrhoe, Anorexie, Blutungen, kardialen Arrhythmien, Konvulsionen und Polydipsie (Graham u.a., 1987). Das Auftreten eines starken fazialen Ekzems aufgrund einer Photosensitivierung konnte durch eine Zinkbehandlung bei Rindern in Neuseeland nicht verhindert werden, die zuvor exzessive Gaben von Kupfer erhalten hatten (Dawson u.a., 2007).

Die wichtigsten Effekte einer Zinksupplementierung beim Schwein beziehen sich auf das Wachstum und die Immunabwehr. Der Effekt von Zink auf das Wachstum hängt in starkem Maße von der Dosierung ab. Niedrige Zusätze zum Futter (150 ppm) anstelle von pharmakologischen Dosierungen (3000 ppm) steigerten die Wachstumsrate bei Ferkeln (Morales u.a., 2012). Verbesserungen im Wachstum und in der Mineralisierung wurden auch in abgesetzten Ferkeln gezeigt (Wang u.a., 2010). Die Wachstumseffekte von pharmakologischen Zinkkonzentrationen im Futter (1000 bis 3000 ppm) sind inkonsistent (Sales, 2013). Der Zusatz von 1750 oder 3500 ppm Zink verminderte das Wachstum von jungen Schweinen (Walk u.a., 2013). Bei abgesetzten Ferkeln reduzierte Zink dosisabhängig die Verdaulichkeit von Calcium, Phosphat, Natrium und Kupfer (Walk u.a., 2015). Hohe Konzentrationen von Zink erhöhten zudem den intramuskulären Fettanteil durch eine Hochregulierung lipogener bei gleichzeitiger Herunterregulierung lipolytischer Genexpressionen (Zhang u.a., 2014). Eine präventive Wirkung von Zink (2500 ppm) auf eine nach dem Absetzen auftretende Diarrhoe bei Ferkeln wird diskutiert (Jensen-Waern, 1998). Die intestinale Genexpression des insulinähnlichen Wachstumsfaktors in der Darmmukosa konnte durch Zinksupplementierung bei Ferkeln nach dem Absetzen nachgewiesen werden (Li u.a., 2006).

Die Wirkungen von Zink auf die Immunabwehr bei Schweinen sind heterogen. Zusätze von Zink im Futter erhöhen bei Ferkeln den Anteil von multiresistenten *Escherichia coli*-Keimen und haben somit einen negativen Einfluss auf die Antibiotikaresistenz (Bednorz u.a., 2013). Andererseits reduzieren hohe Zinkkonzentrationen im Futter von Ferkeln die Belastung mit *Campylobacter coli* (Bratz u.a., 2013). Eine Verbesserung der Immunabwehr in Ferkeln, die mit *Salmonella typhimurium* infiziert waren, ließ sich durch einen Zinkzusatz von 2500 ppm Zn im Futter nur kurzfristig erzielen. Der Effekt kehrte sich nach zwei Wochen vielmehr ins Negative um (Janczyk u.a., 2013). Ein positiver Effekt einer hohen Zinkkonzentration im Futter wurde gegenüber einer Infektion mit dem Virus der transmissiblen Gastroenteritis bei Ferkeln festgestellt (Chai u.a., 2014). Bei abgesetzten Ferkeln verbesserte Zink die antioxidative Kapazität und die intestinale Barrierefunktion durch Hochregulation der messenger RNA für die Zonula occludens-1 und occludin in der Mucosa des Jejunum (Zhu u.a., 2017). Eine Verbesserung der intestinalen Barriere wurde auch bei einer gleichzeitigen Erhöhung der Aktivierung des transforming growth factor- $\beta$ 1 bei abgesetzten Ferkeln gezeigt (Song u.a., 2015).

Die Zahl der produzierten Eier und die Eigröße wurden durch Zinkzusatz im Futter von Legehennen gesteigert (Torki u.a., 2015). Ein Zusatz von 28 ppm Zink wurde als adäquat für die Eiproduktion und die Fertilität von Hühnern ermittelt (Stahl u.a., 1986). Eine Zinkkonzentration von 30 ppm führte zur maximalen Eiproduktion (Yang u.a., 2012). Bei höheren Konzentrationen (137 bis 655 ppm) nahm die Eiqualität jedoch deutlich ab (Trindade Neto u.a., 2011). Bei Broilern wurde nicht nur das Wachstum durch Zink beschleunigt (Salim u.a., 2012), sondern auch das Verhältnis von Muskelfleisch zu Fett verbessert (Jahanian und Rasouli, 2015). Eine Konzentration von 60 ppm Zn im Futter führte zur Steigerung des Wachstums, einer Verstärkung der intestinalen Barriere und zur Erhöhung der Aktivität der Verdauungsenzyme bei Broilern (Hu u.a., 2013). Zudem konnte der Stickstoffverlust durch 1500 ppm Zink gesenkt werden (Kim und Patterson, 2004). Eine Kombination aus Zink-Methionin und Biotin verbesserte den Gesundheitszustand der Füße von Broilern, die auf feuchtem Untergrund gehalten wurden (Abd El-Wahab u.a., 2013).

Zink besitzt entzündliche und immunfördernde Wirkungen. Zinkmangel induziert eine gastrointestinale Entzündung bei Küken, die durch hochdosierte Zinkzufuhr abgeschwächt werden kann (Li u.a., 2015). Bei Broilern aktiviert die Supplementierung mit Zinkchelaten die zelluläre und humorale Immunantwort, führt zu einem ausbalancierten Verhältnis von  $T_H1$ - und  $T_H2$ -Helferzellen und erhöht die Widerstandsfähigkeit gegenüber Infektionen (Jarosz u.a., 2016b). Die intestinale Barrierefunktion wird durch *Salmonella typhimurium* zerstört. Die Zinksupplementierung schwächt diesen Verlust durch eine verstärkte Expression von

Occludin und Claudin-1 in Broilern ab (Zhang u.a., 2012). Der bei einer Infektion mit *Eimeria brunella* entstehende oxidative Stress lässt sich durch Zink vermindern (Bun u.a., 2011).

## 6.5. Mangan

Biologische Bedeutung erhält Mangan durch sein Vorkommen in Oxireduktasen, Ligasen und Hydrolasen. Die mitochondriale Superoxiddismutase enthält Mangan ebenso wie die Pyruvatcarboxylase. Mangan aktiviert in vitro verschiedene Enzyme, beispielsweise die Leberarginase, die saure Phosphatase und die Cholinesterase. Manganmangel ist assoziiert mit Störungen des Knochenstoffwechsels, des zentralen Nervensystems und der Reproduktion (Theil und u.a., 1994).

Mangan ist wichtig für ein normales Wachstum bei Rindern. Manganmangel, beispielsweise aufgrund geringer Bioverfügbarkeit bei Silagenfütterung, führt zu Kleinwüchsigkeit (Dwarfismus) und Gelenkschwäche bei Kälbern (Hidiroglu u.a., 1990). Wachstum, der Beginn der Geschlechtsreife und die Trächtigkeitsrate von Färsen konnten durch Mangan-Konzentrationen von 10, 30 und 50 ppm Trockenmasse nicht dosisabhängig weiter positiv beeinflusst werden, so dass eine Supplementierung mit 15,8 ppm ausreichend zu sein scheint (Hansen u.a., 2006a). Ein höherer Manganbedarf scheint dagegen in der Trächtigkeit zu bestehen. Ein Futterzusatz von 16,6 ppm reichte bei trächtigen Färsen nicht als eine angemessene Versorgung mit diesem Spurenelement aus. Ein Manganmangel bei Kälbern konnte aber durch eine Erhöhung der Mangansupplementierung auf 50 ppm bei den tragenden Jungrindern erreicht werden (Hansen u.a., 2006b). Der Wachstumseffekt von Mangan wird bei sehr hoher Dosierung umgekehrt. Futterzusatz einer hohen Mangan-Konzentration von 500 ppm Trockenmasse hatte einen negativen Effekt und verstärkte die Wachstumsreduktion eines Kupfermangels bei Kälbern (Hansen u.a., 2009).

Mangandefizit bei Schwein hat schwerwiegende Folgen auf den Knochenstoffwechsel. Es führt zur Lahmheit, Verkürzung der Beine, Verdickung der Carpal- und Tarsalgelenke und zur Beinverkrümmung, insbesondere der Vorderbeine. Aufgrund einer lipotropen Wirkung des Mangans kommt es zu verstärkten Fettablagerungen. Histopathologisch zeigt sich das Bild einer verzögerten und unterdrückten Osteochondrose in der Radius-Epiphyse. Auf dem Hintergrund einer allgemeinen Osteoporose entwickelt sich durch fibröse Einlagerungen eine Osteodystrophia fibrosa (Neher u.a., 1956). Bei Schweinen mit Magnesiummangel wurden nach der Supplementierung mit hohen Mangankonzentrationen im Futter (500 ppm) Anzeichen von plötzlichem Herztod beobachtet. Mangan verstärkte dabei den Magnesiummangel (Miller u.a., 2000) und führte zu histopathologisch nachweisbaren

Zerstörungen der mitochondrialen Ultrastruktur (Miller u.a., 2004). Futterzusatz von 80 ppm Mangan resultiert in einer Verbesserung der Fleischfarbe, ohne dabei die Wahrscheinlichkeit einer Lipidoxidation zu erhöhen (Apple u.a., 2007).

Die Folgen eines Manganismangels bei Geflügel bestehen aus einer Entwicklungsstörung der Tibia mit metaphysaler Osteoporose bei Broilern (Liu u.a., 2015) sowie einer Hemmung der Proliferation und Verstärkung der Apoptose in Chondrozyten (Wang u.a., 2015). Futterzusatz von Mangan reduziert bei Broilern den abdominalen Fettanteil und die Lipidoxidation und erhöht die Aktivitäten von Lipasen und der Mangan-Superoxiddismutase (Lu u.a., 2007). Bei Futterkonzentrationen von 30, 60 und 240 ppm beeinflusst Mangan weder das Körpergewicht noch die Futtermittelverwertung (Berta u.a., 2004). Mangansupplementierung erhöht die Eierschalenstärke (Xiao u.a., 2015; Zhu u.a., 2015) durch vermehrte Synthese von Glycosaminoglycan (Xiao u.a., 2014), vermindert die Eiweißoxidation und schwächt den negativen Effekt einer hohen Umgebungstemperatur (Hitzestress) auf die Eiproduktion ab (Zhu u.a., 2015). Der positive Effekt auf die Reproduktion durch hohe nicht toxische Konzentrationen von Mangan (120 oder 240 ppm) ist auf eine Aktivierung der Transkription von Genen des Gonadotropin Releasing Hormons-I und des follikelstimulierenden Hormons zurückzuführen (Xie u.a., 2014).

## 7 Versorgungsempfehlungen

Die Ableitung von Versorgungsempfehlungen für Spurenelemente für landwirtschaftliche Nutztiere erfolgt sowohl mit Hilfe der faktoriellen Methode (Faktoren: Bedarf für Erhaltung, Wachstum, Laktation, Reproduktion, u. a.) als auch unter Berücksichtigung von Dosis-Wirkungs-Studien (GfE 1999, 2001, 2006; NRC 1994, 2001, 2012; Underwood u.a., 1999). Für die Spurenelemente fehlen jedoch meist Daten für eine faktorielle Ableitung, sodass unter Berücksichtigung ihrer physiologischen Funktionen und Unterstellung einer mittleren Absorption sowie verschiedener Sicherheitszuschläge, Empfehlungen zum Bruttobedarf für die einzelnen Spurenelemente abgeleitet wurden (Flachowsky, 2002). Die Absorption von Spurenelementen im Tier wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst, z. B. Wertigkeit und Bindungsform der Elemente, Antagonisten, Futterzusammensetzung und –behandlung sowie physiologische Faktoren (Flachowsky, 2002; Schenkel u.a., 2002), was die Ableitung von Bruttobedarfswerten erschwert. Der Bruttobedarf ist die Spurenelementmenge, die vom Tier aufgenommen werden muss, um unter Berücksichtigung der Elementverwertung (Absorption, intermediäre Verwertung) den Nettobedarf der Tiere für die Erhaltung und die verschiedenen Tierleistungen (Wachstum, Eiproduktion, Milch usw.) zu decken. Zu den wichtigsten Einflussfaktoren auf den Bruttobedarf an Spurenelementen gehört die Bioverfügbarkeit der Elemente. Diese beeinflusst entscheidend die Gesamtverwertung. Bei zu geringer Spurenelementversorgung können primär unspezifische und in der Folge spezifische Mangelsymptome auftreten (Flachowsky, 2002). Andererseits werden in einigen Fällen Spurenelemente auch über die üblichen Versorgungsempfehlungen hinaus supplementiert, um zusätzlich ergotrope Effekte zu nutzen.

Im Zusammenhang mit der Berücksichtigung nativer Elementgehalte in Futtermitteln erweist sich als problematisch, dass keine neueren systematischen Datensammlungen über Elementgehalte in Futtermitteln vorliegen. Die DLG-Futterwerttabelle „Mineralstoffgehalte in Futtermitteln“ (DLG, 1973) ist nicht mehr aktualisiert worden und enthält, z. T. lückenhaft, Angaben zu den wichtigsten essentiellen Spurenelementen. Auch aktuelle Tabellenwerte, z. B. die niederländische Tabelle (CVB, 2000) oder Tabellenanhänge zu den US-amerikanischen Fütterungsnormen (NRC, 1998, 2001, 2012) führen nur Gehalte zu den essentiellen Elementen auf. Zudem bestehen bei einzelnen Futtermitteln Datenlücken (vgl. Schenkel, 2002a).

## 7.1 Versorgungsempfehlungen GfE

Im Folgenden werden die Empfehlungen zur Versorgung mit Spurenelemente der GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) für die Spezies Schwein, Geflügel und Rind dargestellt.

### Schwein

**Tabelle 5: GfE- Empfehlung für die Spurenelementversorgung von Schweinen  
(Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie,  
2006, S. 131-152)**

<b>Spurenelement</b>	<b>Nutzungsart</b>	<b>GfE (2006), in ppm</b>
<b>Kupfer</b>	Zuchtsauen und Zuchteber	80-90
	Ferkel	6
	Mastschweine und Zuchtläufer	4-5
<b>Mangan</b>	Zuchtsauen und Zuchteber	20-25
	Ferkel	15-20
	Mastschweine und Zuchtläufer	4-5
<b>Selen</b>	Zuchtsauen und Zuchteber	0,15-0,20
	Ferkel	0,20-0,25
	Mastschweine und Zuchtläufer	0,15-0,20
<b>Zink</b>	Zuchtsauen und Zuchteber	50
	Ferkel	80-100
	Mastschweine und Zuchtläufer	50-60
<b>Eisen</b>	Zuchtsauen und Zuchteber	80-90
	Ferkel	80-120
	Mastschweine und Zuchtläufer	50-60



## Geflügel

**Tabelle 6: GfE- Empfehlungen für die Spurenelementversorgung von Legehennen und Mastgeflügel (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, 1999, S. 143-153)**

<b>Spurenelement</b>	<b>Nutzungsart</b>	<b>GfE (1999), in ppm</b>
<b>Kupfer</b>	Aufzucht Küken	7
	Junghennen	6
	Eiproduktion Legehennen	7
	Zuchthennen	7
	Mast Broiler	7
<b>Mangan</b>	Aufzucht Küken	60
	Junghennen	50
	Eiproduktion Legehennen	50
	Zuchthennen	50
	Mast Broiler	60
<b>Selen</b>	Aufzucht Küken	0,15
	Junghennen	0,15
	Eiproduktion Legehennen	0,15
	Zuchthennen	0,15
	Mast Broiler	0,15
<b>Zink</b>	Aufzucht Küken	50
	Junghennen	40
	Eiproduktion Legehennen	50
	Zuchthennen	50
	Mast Broiler	50

<b>Eisen</b>	Aufzucht Küken	100
	Junghennen	70
	Eiproduktion Legehennen	100
	Zuchthennen	100
	Mast Broiler	100

## Rind

**Tabelle 7: GfE- Empfehlungen für die Spurenelementversorgung von Milchkühen und Aufzuchtrindern (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, 2001, S. 89-99)**

<b>Spurenelement</b>	<b>Nutzungsart</b>	<b>GfE (2001), in ppm</b>
<b>Kupfer</b>	Aufzuchtrinder	10
	Milchkühe (trockenstehend und laktierend)	10
<b>Mangan</b>	Aufzuchtrinder	40-50
	Milchkühe (trockenstehend und laktierend)	50
<b>Selen</b>	Aufzuchtrinder	0,15
	Milchkühe (trockenstehend und laktierend)	0,20
<b>Zink</b>	Aufzuchtrinder	40-50
	Milchkühe (trockenstehend und laktierend)	50
<b>Eisen</b>	Aufzuchtrinder	50
	Milchkühe (trockenstehend und laktierend)	50

## 7.2 NRC-Richtlinie

Im Folgenden werden die Zulagenbereiche gemäß der NRC- (National Research Council) Regulation für die Spurenelementensupplementation für die Spezies Schwein, Geflügel und Rind dargestellt.

### Schwein

**Tabelle 8: NRC-Regulation für die Spurenelementensupplementation von Schweinen  
(National Research Council, 2012, S. 82–88)**

<b>Spurenelement</b>	<b>Nutzungsart</b>	<b>NRC-Richtlinie (2012) in ppm</b>
<b>Kupfer</b>	neugeborene Ferkel	5-6
	trächtige Sauen	6-14
	Wachstumsphase	100-250
	maximales Toleranzlevel	250
<b>Mangan</b>	Ferkel	0,4
	Ferkel von mangandepletierten Sauen	3-6
	trächtige Sauen	25
<b>Selen</b>	Ferkel (gesäugt)	0,3
	Abschluss der Wachstumsphase und Sauen	0,15
	FDA Obergrenze	0,3

<b>Zink</b>	Ferkel (Casein-Glucose-Ernährung, keine Substanzen, die die Bioverfügbarkeit einschränken)	15
	Ferkel (konventionelle Ernährung)	80
	Wachstumsphase	50
	trächtige Sauen	25 ausreichend, jedoch verbesserte Reproduktionsfähigkeit bei bis zu 200
<b>Eisen</b>	Milchersatz (Ferkel)	50-150 Trockenpulver
	nach dem Absetzen	80-200
	späte Wachstumsphase und Reife	Normalerweise durch Basisernährung abgedeckt, keine weitere Supplementation erforderlich

## Geflügel

**Tabelle 9: NRC-Regulation für die Spurenelementensupplementation von Geflügel  
(National Research Council, 1994, S. 20)**

Spurenelement	Rasse	Periode	NRC-Richtlinie (1994) in ppm
<b>Mangan</b>	weiß-legende Hennen	0 bis 6 Wochen	60
		6 bis 12 Wochen	30
		12 bis 18 Wochen	30
		18 Wochen bis zum ersten Ei	30
	braun-legende Hennen	0 bis 6 Wochen	56
		6 bis 12 Wochen	28
		12 bis 18 Wochen	28
		18 Wochen bis zum ersten Ei	28
<b>Kupfer</b>	weiß-legende Hennen	0 bis 6 Wochen	5
		6 bis 12 Wochen	4
		12 bis 18 Wochen	4
		18 Wochen bis zum ersten Ei	4
	braun-legende Hennen	0 bis 6 Wochen	5
		6 bis 12 Wochen	4
		12 bis 18 Wochen	4
		18 Wochen bis zum ersten Ei	4

<b>Zink</b>	weiß-legende Hennen	0 bis 6 Wochen	40
		6 bis 12 Wochen	35
		12 bis 18 Wochen	35
		18 Wochen bis zum ersten Ei	35
	braun- legende Hennen	0 bis 6 Wochen	38
		6 bis 12 Wochen	33
		12 bis 18 Wochen	33
		18 Wochen bis zum ersten Ei	33
<b>Selen</b>	weiß-legende Hennen	0 bis 6 Wochen	0,15
		6 bis 12 Wochen	0,10
		12 bis 18 Wochen	0,10
		18 Wochen bis zum ersten Ei	0,10
	braun- legende Hennen	0 bis 6 Wochen	0,14
		6 bis 12 Wochen	0,10
		12 bis 18 Wochen	0,10
		18 Wochen bis zum ersten Ei	0,10
<b>Eisen</b>	weiß-legende Hennen	0 bis 6 Wochen	80
		6 bis 12 Wochen	60
		12 bis 18 Wochen	60
		18 Wochen bis zum ersten Ei	60
	braun- legende Hennen	0 bis 6 Wochen	75
		6 bis 12 Wochen	56
		12 bis 18 Wochen	56

## Rind

**Tabelle 10: NRC- Regulation für die Spurenelementensupplementation von Rindern  
(NRC, 2001, S. 132–145)**

<b>Spurenelement</b>	<b>Phase</b>	<b>Futtermasse- zunahme (kg Trockenmasse pro Tag)</b>	<b>NRC-Richtlinie (2001) in ppm</b>
<b>Kupfer</b>	300 kg Jungtier	6	12
	600 kg Jungtier	10	15,2
	650 kg Kuh (40 kg Milchleistung pro Tag)	20	15,7
	650 kg Kuh (Tag 270 der Trächtigkeit)	12	13,7
<b>Mangan</b>	300 kg Jungtier	6	24,2
	600 kg Jungtier	10	22,0
	650 kg Kuh (40 kg Milchleistung pro Tag)	20	16,7
	650 kg Kuh (Tag 270 der Trächtigkeit)	12	17,8
<b>Selen</b>	Alle Stadien		0,3
<b>Zink</b>	300 kg Jungtier	6	33
	600 kg Jungtier	10	31
	650 kg Kuh (40 kg Milchleistung pro Tag)	20	63
	650 kg Kuh (Tag 270 der Trächtigkeit)	12	22,8

## 8 Gesetzliche Regelung von Tiernahrungszusätzen

Spurenelemente werden in einer futtermittelrechtlich zugelassenen Form insbesondere dann supplementiert, wenn für eine optimale Versorgung des Tieres die Elemente in unzureichender Menge im Futter enthalten sind, das Futter Stoffe enthält, die die Verwertung der Spurenelemente beeinträchtigen und die Elemente in einer physiologisch schwer verfügbaren Bindungsform vorliegen.

Für die essentiellen Spurenelemente Eisen, Iod, Kobalt, Kupfer, Mangan, Molybdän, Selen und Zink liegen europaweit einheitliche Höchstgehalte für den Fall der Ergänzung in Form von Zusatzstoffen bei Mischfuttermitteln vor (Richtlinie 70/524/EWG des Rates vom 23. November 1970 über Zusatzstoffe in der Tierernährung). Diese Richtlinie wurde mit der Futtermittelverordnung in nationales Recht umgesetzt (FMV, 2000). Bei Supplementierung der Spurenelemente bis zum zulässigen Höchstgehalt sind die nativen Gehalte der Futtermittel einzubeziehen (Petersen, 2002). Die Höchstgehalte gelten auch für die Gesamtration falls ein Betrieb mit Spurenelementen supplementierte Ergänzungsfuttermittel einsetzt. Ergänzungsfuttermittel dürfen höhere Gehalte an Spurenelementen aufweisen als für Alleinfuttermittel festgesetzt ist, was allerdings zu kennzeichnen ist. Die Zumischung von Spurenelementverbindungen zu Einzelfuttermitteln ist generell nicht zulässig (FMV, 2000; Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft 2001; Petersen 2002). Für Futtermittel und Futterzusatzstoffe wurde innerhalb der EU-Kommission in den Arbeitsgruppen des „Wissenschaftlichen Ausschusses für Tierernährung“ (SCAN) eine Herabsetzung zulässiger Höchstwerte für Spurenelemente, die als Futterzusatzstoffe supplementiert werden, diskutiert. Die Notwendigkeit der Herabsetzung der Höchstgehalte wird mit einer möglichen Beeinträchtigung der Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Tiere, einer eventuell überhöhten Elementanreicherung in Lebensmitteln tierischer Herkunft sowie einer möglichen Beeinträchtigung der Umwelt infolge eines erhöhten Elementeintrages über die Wirtschaftsdünger begründet (Schenkel u.a., 2002). Mit der EU-Verordnung 1334/2003 der Kommission vom 25.07.2003 ist der zulässige Gehalt einzelner Spurenelemente in Futtermitteln reduziert worden, da die bisherigen Höchstmengen vom wissenschaftlichen Futtermittelausschuss der EU als nicht bedarfsgerecht und damit als zu hoch angesehen worden waren. Die Neuregelung gilt seit dem 26.01.2004, wobei die Diskussion über weitere Reduktionen anhält. Beispielsweise hat die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) im März 2016 eine weitere Verringerung der Kupferhöchstgehalte im Futter für Ferkel, Rinder und Milchkühe vorgeschlagen. Hierbei wird empfohlen, den Kupferhöchstwert im Alleinfutter für Ferkel von 170 ppm auf 25 ppm drastisch abzusenken. Der Kupferhöchstgehalt in Alleinfutter für Milchkühe und Rinder sollte laut EFSA (2016) von 35 ppm Futter auf 30 ppm



reduziert werden. Neben einer weiteren Verminderung der in die Umwelt freigesetzten Menge an Kupfer wird ferner auf das Auftreten von Antibiotikaresistenzen verwiesen. Begründet wird dies anhand von Studien, denen zufolge das Auftreten von Antibiotikaresistenzen im Zusammenhang mit der genetischen Nähe einiger Antibiotika- und Kupferresistenzgene stehen könnte (EFSA, 2016).

Die nachfolgende Tabelle zeigt die erlaubten Maximalkonzentrationen für verschiedene Spurenelemente, inklusive der organisch gebundenen Spurenelemente, die in der vorliegenden Arbeit untersucht werden.

**Tabelle 11: Organische Formen von Spurenelementen und erlaubte Maximalkonzentration (VO EG 1334/2003)**

<b>Spurenelement</b>	<b>Organische Form</b>	<b>Erlaubte Maximalkonzentration in der EU</b>	<b>Zielspezies</b>
<b>Kupfer</b>	Kupfer-Methionin-Hydroxyl-Analog	25 ppm außer für Kälber (15 mg), Ferkel (170 ppm) und Rind (35 ppm)	alle
<b>Mangan</b>	Mangan-Methionin-Hydroxyl-Analog	150 ppm	alle
<b>Selen</b>	selenangereicherte Hefe (> 60 % Selenomethionin)	0,5 ppm	alle
<b>Zink</b>	Zink-Methionin-Hydroxyl-Analog	150 ppm außer für Milchersatz (200 ppm)	alle
<b>Eisen</b>	Glycin-Eisenchelat-Hydrat	750 ppm außer Ferkel bis zu 1 Woche vor dem Absetzen (250 mg/d)	alle

## 9 Bioverfügbarkeit

Die genaue Definition des Begriffs Bioverfügbarkeit ist in der wissenschaftlichen Welt oft strittig, weshalb hier kurz verschiedene Begriffserklärungskonzepte angeführt werden. Eine der am häufigsten zitierten Definitionen bezeichnet Bioverfügbarkeit als jenen Anteil eines Nährstoffs, der über physiologische Stoffwechselwege verdaut, resorbiert und metabolisiert wird. Einen wesentlichen Kritikpunkt an dieser Definition stellt jedoch die Tatsache dar, dass es oft nicht möglich ist, diese Parameter konkret zu bestimmen. Andere Definitionen berücksichtigen hingegen auch Mechanismen wie Absorption, Verdauung und die Nährstoffverteilung im Körper als wichtige Funktionen. In einer weiteren Definition wird Bioverfügbarkeit als Effizienz der metabolischen Verwertung bezeichnet, jedoch um den Einflussfaktor erweitert, dass auch andere Faktoren (z. B. andere Lebensmittelinhaltsstoffe oder individuell physiologische Parameter) diese zu beeinflussen vermögen. Des Weiteren muss auch bei der Definition der Bioverfügbarkeit berücksichtigt werden, dass der betrachtete Nährstoff dem Organismus entweder zur direkten Verwertung zur Verfügung steht oder gespeichert wird (Bundesinstitut für Risikobewertung, 2013).

Die Bioverfügbarkeit wird in der Tierernährung häufig für die Charakterisierung der Vorteile organischer Spurenelemente gegenüber den anorganischen Bindungsformen verwendet. Hierbei handelt es sich meist um die sogenannte „relative Bioverfügbarkeit“. In der Regel wird die relative Verfügbarkeit im Vergleich mit einer Referenzsubstanz ermittelt. Hierzu werden Test- und Referenzverbindungen in einer oder mehreren Dosierungen der Ration zugelegt und nach einer gewissen Versuchsdauer die Retention in einem Indikatororgan und/oder die Reaktion eines biochemischen Parameters (Enzymaktivität) ermittelt und über eine „slope ratio-“ oder „parallel line-“ Auswertung die relative „Verfügbarkeit“ ermittelt (Wedekind u. a., 1992; Ammerman, 1995). Ein Blick auf die verschiedenen zusammengefassten Auswertungen in der Literatur ergibt für organische Spurenelemente eine mehr oder weniger ausgeprägte verbesserte Verfügbarkeit (Tabelle 12). Als Referenzverbindungen werden meist die jeweiligen Elementsulfate herangezogen. Allerdings ist in Abhängigkeit von der jeweiligen Versuchsanstellung (Vordepletion der Tiere, Dosierung der Testverbindung, Rationsgestaltung, Versuchsdauer, etc.) eine erhebliche Variation zu beobachten. (Wedekind u. a., 1994; Ammerman u. a., 1995; Cheng u. a., 1998).

Die folgende Tabelle stellt die Bioverfügbarkeit verschiedener Bindungspartner bezogen auf Sulfate als Referenzmaterial für die Spurenelemente Kupfer, Mangan, Zink und Eisen dar.

**Tabelle 12: Relative Bioverfügbarkeit von Spurenelementen  
(nach Ammermann u. a., 1998)**

Quelle	Geflügel	Schwein	Rind
<b>Cu-Sulfat</b>	100	100	100
<b>Cu-Oxid</b>	0	30	15
<b>Cu-Lysin</b>	105	-	100
<b>Cu-Methionin</b>	90	110	-
<b>Zn-Sulfat</b>	100	-	100
<b>Zn-Oxid</b>	55	50	-
<b>Zn-Lysin</b>	-	100	-
<b>Zn-Methionin</b>	125	100	-
<b>Zn-Proteinat</b>	100	-	-
<b>Natriumselenit</b>	100	100	100
<b>selenangereicherte Hefe</b>	-	-	290
<b>Mn-Sulfat</b>	100	-	-
<b>Mn-Oxid</b>	75	-	-
<b>Mn-Methionin</b>	120	-	-
<b>Mn-Proteinat</b>	110	-	-
<b>Fe (II)-Sulfat</b>	100	100	100
<b>Fe-Oxid</b>	10	10	-
<b>Fe-Methionin</b>	-	185	-
<b>Fe-Proteinat</b>	-	125	-

Obwohl die zumeist kostengünstigste Möglichkeit der Spurenelementversorgung den Einsatz einer hochverfügbaren anorganischen Nährstoffquelle darstellt, ist die Bioverfügbarkeit organischer Spurenelemente oft höher, weshalb diese in den letzten Jahren zunehmend eingesetzt werden. Es ist jedoch nicht vollends wissenschaftlich abgeklärt, ob diese Erhöhung der Bioverfügbarkeit auch mit einer verbesserten Effizienz einhergeht. Abhängig von Spezies und Studiendesign konnten vergangene Studien gleiche, verminderte oder erhöhte Effizienz organischer gegenüber mineralischer Spurenelemente zeigen. Allgemeine Tendenzen weisen darauf hin, dass ein akutes Defizit oder das Vorliegen hoher Antagonistenlevels den Einsatz organischer Spurenelemente indiziert, während hingegen in den meisten Fällen eine 2:1-Mischung mineralischer und organischer Nährstoffquellen eine optimale Versorgung gewährleisten kann (Berger, 2004).

Die Bioverfügbarkeit von (organischen) Spurenelementverbindungen lässt sich oft anhand der Ablagerung in verschiedenen Geweben untersuchen. Die folgende Tabelle beschreibt die Messparameter, die zum Nachweis der Ablagerung verschiedener Spurenelemente herangezogen werden können.

**Tabelle 13: In-vivo-Nachweis von Spurenelementen im Körper (Mantovani u. a., 2010)**

<b>Spurenelement</b>	<b>Messparameter</b>
<b>Kupfer</b>	Kupferkonzentration in der Leber, Kupfer-Chaperon für Cu-/Zn-Superoxid Dismutase
<b>Mangan</b>	Mangankonzentration im Knochen
<b>Selen</b>	Selenkonzentration in der Leber, Blut oder Plasma/Serum, Erythrozyten und Aktivität von Glutathion-Peroxidase
<b>Zink</b>	Zinkkonzentration in Knochen und Niere (Wiederkäuer) bzw. in Knochen und Pankreas (monogastrische Spezies)

## 10 Methodik

### 10.1 Cochrane-Richtlinien

Die systematische Literaturrecherche erfolgte auf Basis der Cochrane-Richtlinien. Diese wurden zuletzt 2013 von der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften – Institut für Medizinisches Wissensmanagement herausgegeben und beinhalten eine umfassende Beschreibung der methodischen Vorgehensweise bei der Erstellung von Leitlinien, als die sich im weiteren Sinne auch die vorliegende Arbeit versteht. Durch Miteinbeziehung englischsprachiger Literatur aus dem internationalen Forschungsumfeld wurde versucht, die geografischen beziehungsweise sprachlichen Limitationen in der Literaturbeschaffung zu vermeiden. Konkret sehen die Cochrane-Richtlinien für die systematische Literaturrecherche die folgenden Punkte vor (Gechter u. a., 2013, S. 7–8):

- Formulierung der Fragestellung
- Auswahl von Recherchequellen (Datenbanken, Bibliotheken)
- Definition des Suchvokabulars und der Suchstrategie (z. B. mittels AND, OR und multiplen Wortendungen)
- Durchführung der Suche
- Analyse der Suchergebnisse
- Modifikation der Suchstrategie und erneute Suche
- Sortierung der Treffer nach Relevanz und Entfernung von Duplikaten sowie
- Dokumentation der durchgeführten Recherche, um eine Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten.

### 10.2 Literaturrecherche

Die Literaturrecherche wurde mittels folgender Datenbanken durchgeführt:

- a) Scencedirect
- b) PubMed
- c) Scopus
- d) Google Scholar

### **10.3 Verwaltung der Literatur**

Literatur konnte vorwiegend über Fachdatenbanken online bezogen und als PDF-Datei heruntergeladen werden. Diese Literaturquellen wurden in das Literaturverwaltungsprogramm Mendeley eingespielt, das automatisch Autor, Jahr etc. aus den Dateien ausliest und mittels eines MS Word Plug-Ins Textverweise erstellen kann. Des Weiteren ist eine Suche nach Schlagwörtern innerhalb der wie zuvor beschrieben ausgewählten Literatur möglich, wodurch Querverbindungen besser hergestellt und von mehreren Forschungsgruppen dokumentierte Ergebnisse aufgezeigt werden können.

## 11 Auswirkungen auf die Resorptions-, Leistungs-, Immunitäts- und Sonderleistungsparameter durch den Einsatz von organischen Spurenelementen

Nachfolgend werden die Ergebnisse der vorliegenden Literaturrecherche dargestellt. Hierbei werden die Auswirkungen der untersuchten organischen Spurenelemente Fe, Se, Cu, Zn, Mn in Abhängigkeit ihrer chemischen Verbindungsform auf die Parameter Resorbierbarkeit, Leistung, Immunität und Sonderleistungen der jeweiligen Tierarten Rinder, Schweine und Geflügel beschrieben und deren Einsatz tabellarisch dargestellt.

### 11.1 Zink

In Bezug auf Zink wurden bei allen untersuchten Nutztierarten hauptsächlich der Gehalt von Zink in Blutserum, Blutplasma, Leber und Niere als Indikator der Bioverfügbarkeit genutzt. Daneben wurden Leistungsparameter, wie Körpermassenentwicklung, Milchleistung beim Rind oder Legeleistung bei Geflügel zur Beurteilung der Bioverfügbarkeit genutzt.

Insgesamt wurden 96 Studien zu Zink näher untersucht. Hierbei entfielen 37 auf Rinder, 27 auf Geflügel und 32 auf Schweine. Die verwendeten organischen Zinkformen waren hierbei:

**Tabelle 14: Übersicht zum Einsatz von organischem Zink**

Verbindung	Anzahl der Versuchsgruppen
Zinkmethionin	135
Zink-Aminosäure-Komplex	67
Zinkproteinat	62
Zinkglycin	51
Zink-Polysaccharide	32
Zinklysin	15
Zinkpropionat	10

### 11.1.1 Rinder

#### Resorption

Eine Übersicht der Resorbierbarkeit von unterschiedlichen Zinkverbindungen bei Rindern ist in Tabelle 15 dargestellt.

Der Zinkgehalt in der Leber konnte in sieben Studien durch organische Zinkverbindungen gesteigert werden, während in einer Studie (Zn-Poly.) eine geringere Einlagerung im Vergleich zur anorganischen Zinkform gemessen werden konnte. Die höhere Einlagerung entfiel hierbei bei vier Studien auf Zinkproteinat, bei zwei Studien auf Zinkmethionin und eine auf Zinkglycin. Demgegenüber wurde in sechs Studien eine gleiche Zinkkonzentration zwischen organischer und anorganischer Zinkquelle in der Leber gemessen. Es handelte sich hier um drei Studien zu Zinkmethionin und jeweils eine Studie zu Zinkproteinat, Zinklysin und Zink-Aminosäure-Komplexen.

Erhöhungen der Zink-Plasma-Konzentrationen wurden in sechs Studien durch organische Zinkformen beobachtet, wohingegen ebenfalls sechs Studien keinen Unterschied in der Zinkquelle belegen konnten. Eine Erhöhung der Zink-Plasma-Gehalte entfiel hierbei auf drei Studien zu Zinkproteinat und jeweils eine Studie zu Zinkglycin, Zinkmethionin und Zink-Aminosäure-Komplexe. Keine Unterschiede zu den anorganischen Zinkverbindungen gleicher Konzentration bestanden hierbei bei jeweils zwei Studien mit Zinkmethionin und Zinkproteinat und jeweils einer Studie mit Zinklysin und Zink-Aminosäuren-Komplexen.

Die Zink-Serum-Konzentrationen führten in fünf Studien zu keinen Unterschieden zwischen organischer und anorganischer Zinkquelle (drei Studien zu Zn-Met und jeweils eine Studie zu Zn-AS und Zn-Poly).

Weitere Organe, in denen der Zinkgehalt in Abhängigkeit zur Zinkquelle gemessen wurde, sind Niere, Herz, Milz und Pankreas. Der Nieren-Zink-Gehalt wurde in fünf Studien untersucht, wobei in zwei Studien kein Unterschied zwischen organischer und anorganischer Zinkquelle festgestellt werden konnte (Zn-Prot, Zn-Met) und drei Studien eine höhere Zinkeinlagerung nachwiesen (drei Studien zu Zn-Prot). Sowohl der Zinkgehalt in Herz, Milz als auch Pankreas wurde lediglich in jeweils einer Studie betrachtet. In allen drei Organen konnte die zugehörige Studie keinen Unterschied des Zinkgehalt feststellen (Herz und Milz jeweils Zn-Prot; Pankreas: Zn-Met).



**Tabelle 15: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Zinkverbindungen bei Rindern**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Spears u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 18.8 ppm Zn	Zinkgehalt Leber	ZnGly: + 25,97 %
			ZnMet: + 1,88 %
	2) Kontrolle + 20 ppm ZnSO <sub>4</sub>	Zinkgehalt Plasma	ZnSO <sub>4</sub> : - 0,88 %
			ZnGly: + 37,18 %
3) Kontrolle + 20 ppm ZnMet	Zinkgehalt Plasma	ZnMet: + 28,21 %	
		ZnSO <sub>4</sub> : + 16,67 %	
<b>Wright u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 28 ppm Zn	Zinkgehalt Leber	ZnSO <sub>4</sub> : + 21,83 %
			ZnProt: + 3,57 %
	2) Kontrolle + 20 ppm ZnSO <sub>4</sub>	Zinkgehalt Nieren	ZnSO <sub>4</sub> : + 1,46 %
			ZnProt: - 6,37 %
	3) Kontrolle + 20 ppm ZnProt	Zinkgehalt Herz	ZnProt: - 17,02 %
ZnSO <sub>4</sub> : - 22,08 %			
ZnSO <sub>4</sub> : - 13,24 %			
3) Kontrolle + 20 ppm ZnProt	Zinkgehalt Milz	ZnProt: - 13,24 %	
		ZnSO <sub>4</sub> : - 13,24 %	
3) Kontrolle + 20 ppm ZnProt	Zinkgehalt Plasma	ZnProt: + 3,74 %	
		ZnSO <sub>4</sub> : - 3,74 %	

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Kincaid u.a. (1997)</b>	1) Kontrolle: 60 ppm Zn  2) 150 ppm ZnMet + ZnLys  3) 300 ppm ZnMet + ZnLys  4) 300 ppm ZnO	Zinkgehalt Leber	ZnMet + ZnLys (300 ppm): + 73,54 %  ZnO: + 16,14 %  ZnMet + ZnLys (150 ppm): - 6,73 %
<b>Duff u.a. (2000)</b>	1) 30 ppm ZnAS  2) 30 ppm ZnPoly	Gehalt Herz	ZnAS: 0 % <sup>1</sup>  ZnPoly: - 1,23 % <sup>1</sup>
		3) 30 ppm ZnSO <sub>4</sub>	Gehalt Plasma
<b>Rojas u.a. (1995)</b>	1) Kontrolle  2) 360 mg/ Tag ZnSO <sub>4</sub>	Zinkgehalt Leber	ZnSO <sub>4</sub> : + 6,31 %  ZnMet: + 4,5 %  ZnO: + 2,7 %
		3) 360 mg/ Tag ZnO	Zinkgehalt Nieren
	4) 360 mg/ Tag ZnMet	Zinkgehalt Pankreas	ZnMet: + 1,54 %  ZnSO <sub>4</sub> : + 1,54 %  ZnO: - 4,62 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Spears &amp; Kegley (2002)</b>	1) Kontrolle: 26-33 ppm Zn	Zinkgehalt Plasma 1. – 87. Tag	ZnProt: + 5,62 % ZnO: + 4,49 %
	2) 25 ppm ZnO 3) 25 ppm ZnProt	Zinkgehalt Plasma. 87. – 112. Tag	ZnProt: + 0,94 % ZnO: 0 %
<b>Cortinhas u.a. (2012)</b>	1) 42,8-47 ppm ZnAS 2) 42,8-47 ppm ZnSO <sub>4</sub>	Zinkgehalt Plasma	ZnAS: – 2,9 % <sup>1</sup>
<b>Hackbart u.a. (2010)</b>	1) 72,9-73,4 ppm ZnSO <sub>4</sub> 2) 68,8-85,1 ppm ZnMet	Zinkgehalt Leber	ZnMet: - 2,82 % <sup>1</sup>
<b>Droke u.a. (1998)</b>	1) Kontrolle: 27,6 ppm Zn 2) Kontrolle + 25 ppm ZnO 3) Kontrolle + 25 ppm ZnMet	Zinkgehalt Serum	ZnMet: + 1,16 % ZnO: + 1,16 %
<b>Nemec u. a. (2012)</b>	1) 85 ppm ZnMet	Zinkgehalt Plasma	ZnMet: + 7,92 % <sup>1</sup>
	2) 85 ppm ZnSO <sub>4</sub>	Zinkgehalt Milch	ZnMet: + 2,39 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Sobhanirad u.a. (2012)</b>	1) Kontrolle 2) 500 ppm ZnMet 3) 500 ppm ZnSO <sub>4</sub>	Zinkgehalt Serum	ZnMet: + 113,53 % ZnSO <sub>4</sub> : + 82,71 %
<b>Kessler u.a. (2003)</b>	1) Kontrolle: 35 ppm Zn 2) Kontrolle + 10 ppm ZnProt 3) Kontrolle + 10 ppm ZnPoly 4) Kontrolle + 10 ppm ZnO	Zinkgehalt Leber	ZnProt: + 19,81 % ZnO: + 8,49 % ZnPoly: + 1,89 %
<b>Malcolm-Callis u.a. (2000)</b>	1) 30 ppm ZnAS 2) 30 ppm ZnPoly 3) 30 ppm ZnSO <sub>4</sub>	Zinkgehalt Serum	ZnAS: - 3,39 % <sup>1</sup> ZnPoly: - 5,08 % <sup>1</sup>
<b>Kinal u.a. (2005)</b>	1) 315 mg/d ZnSO <sub>4</sub> 2) 252 mg/d ZnSO <sub>4</sub> + 63 mg/d ZnAS 3) 220,5 mg/d ZnSO <sub>4</sub> + 94,5 mg/d ZnAS	Zinkgehalt Plasma	ZnAS (94,5 mg/d): + 15,82 % <sup>1</sup> ZnAS (63 mg/d): + 5,65 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Engle u.a. (1997)</b>	1) Kontrolle: 40 ppm Zn	Zinkgehalt Plasma	ZnMet: + 12,63 %
	2) 17 ppm ZnSO <sub>4</sub> + 23 ppm ZnLys		ZnSO <sub>4</sub> : - 5,26 % ZnLys: -8,42 %
	3) 17 ppm ZnSO <sub>4</sub> + 23 ppm ZnMet	Zinkgehalt Leber	ZnSO <sub>4</sub> : + 1,83 % ZnLys: + 0,92 %
	4) 40 ppm ZnSO <sub>4</sub>		ZnMet: - 7,34 %
<b>Nocek u.a. (2006)</b>	1) 63 ppm ZnMet 2) 63 ppm ZnSO <sub>4</sub>	Zinkgehalt Leber	ZnMet: + 8,35 % <sup>1</sup>

Rojas u.a. (1995) untersuchten unterschiedliche Zinkformen (360 mg/d Zinkmethionin, Zinksulfat oder Zinkoxid) über 12 Wochen an 32 Färsen. Hierbei konnte gezeigt werden, dass sich die unterschiedlichen Zinkquellen nicht auf den Zinkserumspiegel und den Zinkgehalt in Leber, Nieren und Pankreas auswirkten. In einer Studie von Kincaid u.a. (1997) wurden 40 Kälber über zwölf Wochen entweder mit Zinkmethionin (150 ppm oder 300 ppm), Zinklysin (150 ppm oder 300 ppm) oder 300 ppm Zinkoxid gefüttert. Hierbei konnte beobachtet werden, dass Zinklysin und Zinkmethionin in einer Konzentration von 300 ppm den Zinkgehalt in der Leber signifikant steigerten, während sowohl ZnO als auch die niedrigere Konzentration der organischen Formen keinen Unterschied erkennen ließen. Spears u.a. (2004) verglichen über 42 Tage Zinkglycin mit Zinkmethionin und Zinksulfat (jeweils 20 ppm) bei Mastkälbern. Der Zinkgehalt in der Leber war durch Supplementierung mit Zinkglycin am höchsten, während sowohl Zinkglycin als auch Zinkmethionin vergleichbar höhere Plasma-Zink-Werte hervorriefen als durch Zinksulfat. Spears u.a. sprachen sich in ihrer Studie für eine höhere Bioverfügbarkeit von Zinkglycin verglichen mit Zinkmethionin und Zinksulfat aus. Auch Kinal u.a. (2005) konnten im direkten Vergleich zwischen Zink-Aminosäure-Komplexen zu Zinksulfat bei 90 Rindern höhere Plasma-Zink-Werte durch eine Verfütterung von organischem Zink registrieren. Wright u.a. (2004) konnten im Vergleich von Zinkproteinat mit Zinksulfat im unteren Versorgungsbereich (20 ppm) keine Unterschiede der Bioverfügbarkeit feststellen.

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Die gemessenen Zinkkonzentrationen in Leber, Herz, Niere, Milz und Plasma zeigten keine messbaren Unterschiede. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Spears und Kegley (2002), die bei niedriger Supplementierung (25 ppm Zn) zwischen organischem und anorganischem Zink keine unterschiedliche Anreicherung im Plasma feststellen konnten. Duff u.a. (2000) verglichen in ihrer Studie 30 ppm Zink in Form eines Aminosäure-Komplex, Polysaccharid bzw. als Sulfat. Hierbei zeigte sich, dass bei den 84 untersuchten Tieren kein Unterschied in der Einlagerung von Zink in den Herzmuskel und Anreicherung im Blutplasma zwischen den Zinkquellen bestand. Auch Kessler u.a. (2003) verglichen Zink (10 ppm als Zinkproteinat, Zinkpolysaccharid und Zinkoxid) und stellten fest, dass Zink als Proteinat in höheren Konzentrationen als Zinkoxid in die Leber eingelagert wurde. Nemec u.a. (2012) verglichen in ihrem Fütterungsversuch den Einsatz von einer Mischration aus 17 ppm Kupfer, 53 ppm Mangan und 85 ppm Zink als anorganische Sulfate oder organische Methionine. Hierbei konnte festgestellt werden, dass sich die Spurenelementquelle weder auf die Elementanreicherung im Blutplasma noch in der Milch auswirkte. Droke u.a. (1998) verglichen die Konzentration von Zink im Blutserum bzw. Blutplasma und wiesen keinen Unterschied in der Zinkquelle nach. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Cortinhas u.a. (2012), die 24 Rinder ab Tag 60 ante partum in zwei Gruppen mit unterschiedlichen Spurenelementquellen (Aminosäure-Komplexe oder Sulfate) fütterten. In Abhängigkeit ihres Fortpflanzungsstadiums erhielten die Rinder von Tag 60 bis 29 a.p. 42,8 ppm Zn, 21,4 ppm Cu und 0,4 ppm Se. Von Tag 28 a.p. bis zur Kalbung erhielten sie 47,6 ppm Zn, 24,7 ppm Cu und 0,5 ppm Se sowie bis zum 80 Laktationstag 47 ppm Zn, 24,2 ppm Cu und 0,4 ppm Se. Über den gesamten Studienverlauf konnte kein Unterschied in der Plasmakonzentration der untersuchten Elemente zwischen den Spurenelementquellen festgestellt werden. Auch Malcolm-Callis u.a. (2000) verglichen Zink (30 ppm als Zink-Aminosäure-Komplex, Zinkpolysaccharid und Zinksulfat) und stellten keinen Unterschied im Zinkgehalt des Blutserums fest. Dieses deckt sich mit Erkenntnissen von Sobhanirad u.a. (2012), die Zink in hohen Zulagen (500 ppm) als Zinkmethionin und Zinksulfat verfütterten. Dabei konnte kein unterschiedlicher Zinkgehalt im Blutserum festgestellt werden. Engle u.a. (1997) konnten zeigen, dass 23 ppm Zink als Zinkmethionin, Zinklysin oder Zinksulfat eine Auswirkung auf den Zinkgehalt in Blutplasma oder Leber hatten. In einer Studie von Nocek u.a. (2006) wurde der Einsatz einer Mischration aus Zink, Kupfer und Mangan entweder als Zn-Met, Cu-Lys, Mn-Met oder als Sulfat miteinander verglichen. Hier konnte gezeigt werden, dass bei einer organischen Fütterung der Kupfer- und Zinkgehalt in der Leber höher lag, als durch eine Fütterung mit Sulfaten. Demgegenüber blieb der Mangangehalt der Leber durch die Fütterungsform unbeeinflusst.

## Leistung

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Zinkverbindungen bei Rindern auf die Leistungseigenschaften ist in Tabelle 16 dargestellt.

Eine organische Zinksupplementation bei Rindern führte in 18 Studien zu keiner unterschiedlichen Körpermassenentwicklung im Vergleich zu einer anorganischen Verbindungsform. Hierbei behandelten sechs Studien die organische Zinksupplementation Zinkmethionin, vier Studien Zink-Aminosäure-Komplexe, drei Studien Zinkproteinat, jeweils zwei Studien Zinklysin und Zink-Polysaccharide und eine Studie Zinkpropionat. In lediglich zwei Studien konnte eine bessere Körpermassenentwicklung festgestellt werden. Hierbei wurde Zinkmethionin und Zinkproteinat mit Zinksulfat verglichen.

Die Milchleistung von Rindern wurde in dreizehn Studien untersucht. Hierbei konnte bei sechs Studien durch organisches Zink die Milchleistung gesteigert werden und in sieben Studien kein Unterschied festgestellt werden. Die Steigerung bezog sich in zwei Studien auf Zinkmethionin und in vier Studien auf Zink-Aminosäure-Komplexe. Studien, die keinen Unterschied dokumentierten waren jeweils zwei zu Zinkmethionin und Zinkproteinat und drei Studien zu Zink-Aminosäure-Komplexen.

Eine organische Zink-Supplementation bei Rindern führte in fünf Studien zu erhöhten Trächtigkeitsraten (jeweils zwei Studien zu Zink-Aminosäure-Komplexen und zu Zinkproteinat und eine Studie zu Zinkmethionin) und in einer Studie zu keiner messbaren Unterscheidung (Zinkproteinat). Die Günstzeit konnte in vier Studien verkürzt werden (drei Studien zu Zink-Aminosäure-Komplexen und eine Studie zu Zinkmethionin) und die Rastzeit in einer Studie verkürzt werden (Zinkmethionin). Das Lebendgewicht der Nachkommen wurde in einer Studie erhöht (Zinkpropionat) und in drei Studien eine niedrigere Kälbersterblichkeit festgestellt (zwei Studien mit Zink-Aminosäure-Komplexe und eine Studie mit Zinkproteinat). Eine Studie zu Zuchtbulln konnte durch Zinkpropionat höhere Spermienmobilität und erhöhte Spermienzahlen pro Ejakulat feststellen. In einer Studie zu der Anzahl der Nachkommen konnte kein Unterschied zwischen der Zinkquelle festgestellt werden (Zinkmethionin).

**Tabelle 16: Untersuchung zur Auswirkung verschiedener Zinkverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Rindern**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Mandal u.a. (2007)</b>	1) Kontrolle: 32,5 ppm Zn  2) Kontrolle + 35 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 35 ppm ZnProp	Körpermassenentwicklung	ZnProp: + 5,39 %  ZnSO <sub>4</sub> : - 3,39 %
<b>Duff u.a. (2000)</b>	1) 30 ppm ZnAS  2) 30 ppm ZnPoly  3) 30 ppm ZnSO <sub>4</sub>	Körpermassenentwicklung	ZnAS: - 0,47 % <sup>1</sup>  ZnPoly: - 3,72 % <sup>1</sup>
<b>Spears &amp; Kegley (2002)</b>	1) Kontrolle: 26-33 ppm Zn  2) 25 ppm ZnO  3) 25 ppm ZnProt	Körpermassenentwicklung	ZnProt: + 8,48 %  ZnO: + 0,85 %
<b>Cortinhas u.a. (2012)</b>	1) 42,8-47 ppm ZnAS  2) 42,8-47 ppm ZnSO <sub>4</sub>	Körpermassenentwicklung	ZnAS: - 2,91 % <sup>1</sup>
		Milchleistung	ZnAS: + 2,15 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.



Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Kessler u.a. (2003)</b>	1) Kontrolle: 35 ppm Zn  2) Kontrolle + 10 ppm ZnProt  3) Kontrolle + 10 ppm ZnPoly  4) Kontrolle + 10 ppm ZnO	Körpermassenentwicklung	ZnProt: - 1,16 %  ZnO: - 2,12 %  ZnPoly: - 3,47 %
<b>Malcolm-Callis u.a. (2000)</b>	1) 30 ppm ZnAS  2) 30 ppm ZnPoly  3) 30 ppm ZnSO <sub>4</sub>	Körpermassenentwicklung	ZnAS: - 0,47 %  ZnPoly: - 3,72 %
<b>Spears u.a. (1994)</b>	1) 25 ppm ZnO  2) 25 ppm ZnProt	Körpermassenentwicklung	ZnProt: + 7,6 % <sup>1</sup>
<b>Engle u.a. (1997)</b>	1) Kontrolle: 40 ppm Zn  2) 17 ppm ZnSO <sub>4</sub> + 23 ppm ZnLys  3) 17 ppm ZnSO <sub>4</sub> + 23 ppm ZnMet  4) 40 ppm ZnSO <sub>4</sub>	Körpermassenentwicklung	ZnSO <sub>4</sub> : - 11,11 %  ZnLys: - 22,22 %  ZnMet: - 22,22 %
<b>Droke u.a. (1998)</b>	1) Kontrolle: 27,6 ppm Zn  2) Kontrolle + 25 ppm ZnO  3) Kontrolle + 25 ppm ZnMet	Körpermassenentwicklung	ZnO: 0 %  ZnMet: - 10,53 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Cope u.a. (2009)</b>	1) 60 ppm ZnProt	Körpermassenentwicklung	Zn-Prot: - 0,16 % <sup>1</sup>
	2) 60 ppm ZnO	Milchleistung	ZnProt: + 6,82 % <sup>1</sup>
<b>Hackbart u.a. (2010)</b>	1) 72,9-73,4 ppm ZnSO <sub>4</sub>	Körpermassenentwicklung	ZnMet: - 1,47 % <sup>01</sup>
	2) 68,8-85,1 ppm ZnMet	Milchleistung	ZnMet: + 1,79 % <sup>1</sup>
<b>Shakweer u.a. (2010)</b>	1) Kontrolle	Körpermassenentwicklung	ZnMet: + 2,75 %
	2) Kontrolle + 40 ppm ZnSO <sub>4</sub>		ZnSO <sub>4</sub> : + 2,21 %
	3) Kontrolle + 40 ppm ZnMet	Milchleistung	ZnMet: + 23,53 % ZnSO <sub>4</sub> : + 6,72 %
<b>Kincaid u.a. (2004)</b>	1) 700 mg/d ZnSO <sub>4</sub>	Milchleistung	ZnMet: - 1,18 % <sup>1</sup>
	2) 340 mg/d ZnSO <sub>4</sub> + 360 mg/d ZnMet		
<b>DeFrains u.a. (2009)</b>	1) 360 ppm ZnAS	Milchleistung	ZnAS: - 0,25 % <sup>1</sup>
	2) 360 ppm ZnSO <sub>4</sub>		
<b>Formigoni u. a. (2011)</b>	1) 500 ppm ZnSO <sub>4</sub>	Milchleistung	ZnProt: - 1,64 % <sup>1</sup>
	2) 500 ppm ZnProt	Trächtigkeitsrate	ZnProt: + 6,45 % <sup>1</sup>
		Kälbersterblichkeit	ZnProt: - 40,87 % <sup>1</sup>
<b>Nemec u. a. (2012)</b>	1) 73 ppm ZnSO <sub>4</sub>	Körpermassenentwicklung	ZnMet: - 2,99 % <sup>1</sup>
	2) 94 ppm ZnMet	Milchleistung	ZnMet: - 1,19 % <sup>1</sup>
<b>Griffiths u.a. (2007)</b>	1) 360 ppm ZnAS	Milchleistung	ZnAS: + 5,42 % <sup>1</sup>
	2) 360 ppm ZnSO <sub>4</sub>		
<b>Siciliano-Jones u.a. (2008)</b>	1) 360 ppm ZnAS	Milchleistung	ZnAS: + 3 % <sup>1</sup>
	2) 360 ppm ZnSO <sub>4</sub>		

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Ballantine u.a. (2002)</b>	1) 360 ppm ZnAS	Milchleistung	ZnAS: + 2,96 %
	2) 360 ppm ZnSO <sub>4</sub>	Güstzeit	ZnAS: - 13,02 %
		Trächtigkeitsrate	ZnAS: - 4,89 %
<b>Ashmead u.a. (2004)</b>	1) 727,2 mg/d ZnO	Milchleistung	ZnAS: + 0,31 % <sup>1</sup>
	2) 727,2 mg/d ZnAS		
<b>Kumar u.a. (2006)</b>	1) Kontrolle: 32,54 ppm Zn	Spermienmobilität	ZnProp: + 59,78 %
	2) Kontrolle + 35 ppm ZnSO <sub>4</sub>		ZnSO <sub>4</sub> (70 ppm): + 46,13 %
	3) Kontrolle + 70 ppm ZnSO <sub>4</sub>		ZnSO <sub>4</sub> (35 ppm): + 24,35 %
	4) Kontrolle + 35 ppm ZnProp	Anzahl Spermien pro Ejakulat	ZnProp: + 419,76 % ZnSO <sub>4</sub> (70 ppm): + 356,47 % ZnSO <sub>4</sub> (35 ppm): + 163,25 %
<b>Nocek u.a. (2006)</b>	1) 63 ppm ZnSO <sub>4</sub>	Rastzeit	ZnMet: - 0,76 % <sup>12</sup>
	2) 63 ppm ZnMet	Trächtigkeitsrate	ZnMet: - 3,56 % <sup>1</sup>
<b>Kellogg u.a. (2003)</b>	1) 360 mg/d ZnSO <sub>4</sub>	Güstzeit	ZnMet: -12,21 % <sup>1</sup>
	2) 360 mg/d ZnMet	Milchleistung	ZnMet: + 3,08 % <sup>1</sup>
<b>Olson u.a. (1999)</b>	1) Kontrolle	Anzahl Nachkommen	ZnMet: - 2,5 %
	2) 360 mg/d ZnSO <sub>4</sub>		ZnSO <sub>4</sub> : - 2,5 %
	3) 360 mg/d ZnMet		

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Bosseboeuf u.a. (2006)</b>	1) 1500 mg/d ZnSO <sub>4</sub> 2) 1500 mg/d ZnAS	Trächtigkeitsrate	ZnAS: + 10,13 % <sup>1</sup>
<b>Uchida u.a. (2001)</b>	1) 360 mg/d ZnSO <sub>4</sub>	Milchleistung	ZnAS: - 1,11 % <sup>1</sup>
	2) 360 mg/d ZnAS	Güstzeit	ZnAS: - 35,83 % <sup>1</sup>
<b>O'Donoghue &amp; Boland (2002)</b>	1) 300 ppm ZnSO <sub>4</sub> 2) 300 ppm ZnProt	Trächtigkeitsrate erhöht	ZnProt: + 5,2 %

Duff u.a. (2000) verglichen in ihrer Studie 30 ppm Zink in Form eines Aminosäure-Komplexes bzw. als Sulfat. Hierbei zeigte sich, dass bei den 84 untersuchten Tieren kein Unterschied in der Körpermassenentwicklung zwischen den Zinkquellen bestand. Ebenfalls konnte in einer Studie von Spears und Kegley (2002) gezeigt werden, dass bei einem Fütterungsversuch mit 60 Rindern (jeweils 25 ppm Zinkoxid bzw. Zinkproteinat) die Zinkquelle keinen Einfluss auf die Gewichtszunahme oder andere Leistungsparameter hatte. Des Weiteren konnten sie, wie auch in einer Studie von Nemeč u.a. (2012), keinen Unterschied bei der Körpermassenentwicklung in Abhängigkeit zur Zinkquelle feststellen. Nemeč u.a. verglichen hierbei Zinkmethionin (94 ppm) mit Zinksulfat (73 ppm) bei 26 Rinder und konnten nach sechs Wochen keine Differenzen zwischen dem organischen und anorganischem Zink erkennen. Auch Kessler u.a. (2003) verglichen Zink (45 ppm als Zinkproteinat, Zinkpolysaccharid und Zinkoxid) und stellten keinen Unterschied bei der Körpermasse fest. Droke u.a. (1998) konnten ebenfalls zwischen 25 ppm Zinkmethionin und Zinkoxid keinen Unterschied bei der Körpermassenentwicklung erkennen. Auch Malcolm-Callis u.a. (2000) verglichen Zink (30 ppm als Zink-Aminosäure-Komplex, Zinkpolysaccharid und Zinksulfat) und stellten keinen Unterschied bei der Körpermasse fest. Engle u.a. (1997) zeigten, dass weder 23 ppm Zink als Zinkmethionin, Zinklysin oder Zinksulfat eine Auswirkung auf das Körpergewicht hatten. Mandal u.a. (2007) fanden heraus, dass bei der Zufütterung von Bullen kein Unterschied in der Körpermassenentwicklung festgestellt werden konnte, wenn diese entweder mit 35 ppm Zinkpropionat oder 35 ppm Zinksulfat gefüttert wurden. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Cortinhas u.a. (2012), die 24 Rinder ab Tag 60 ante partum in zwei Gruppen mit unterschiedlichen Spurenelementquellen (Aminosäure-Komplexe oder Sulfate) fütterten. In

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Abhängigkeit ihres Fortpflanzungsstadiums erhielten die Rinder von Tag 60 bis 29 a.p. 42,8 ppm Zn, 21,4 ppm Cu und 0,4 ppm Se. Von Tag 28 a.p. bis zur Kalbung erhielten sie 47,6 ppm Zn, 24,7 ppm Cu und 0,5 ppm Se, sowie bis zum 80. Laktationstag 47 ppm Zn, 24,2 ppm Cu und 0,4 ppm Se. Über den gesamten Studienverlauf konnte kein Unterschied bei der Körpermassenentwicklung zwischen den Spurenelementquellen festgestellt werden. Auch die Milchleistung und –menge blieb unberührt. In einer weiteren Studie von Cope u.a. (2009) wurden 44 Rinder über 14 Wochen mit 60 ppm Zinkoxid oder Zinkproteinat gefüttert. Ebenfalls konnte keine Auswirkung der Spurenelementquelle auf die Körpermasse oder die Milchleistung beobachtet werden. In einer Studie von Ballantine u.a. (2002) wurden 150 Holstein-Kühe entweder mit einer Mischration bestehend aus Aminosäure-Komplexen (360 ppm Zink, 200 ppm Mangan, 125 ppm Kupfer) oder ihren entsprechenden Sulfaten gefüttert. Es konnte hierbei gezeigt werden, dass die Fütterung mit Aminosäure-Komplexen zu einem Anstieg der Milchproduktion ( $p < 0.05$ ) führte. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Ashmead u.a. (2004), die Zink, Kupfer und Mangan als Aminosäure-Komplexe mit anorganischen Futtermischungen verglichen. Auch Griffiths u.a. (2007) und Siciliano-Jones u.a. (2008) fütterten Rinder mit 360 ppm Zn als Aminosäure-Komplex oder Sulfatform. Hierbei wurde durch eine organische Zufütterung eine höhere Milchleistung beobachtet. In einer Studie von Shakweer u.a. (2010), in der 40 ppm Zinkmethionin und Zinksulfat verglichen wurden, zeigte sich, dass sich sowohl die Milchleistung der untersuchten Rinder durch die organische Zinkform besser beeinflussen lässt als auch die Körpermassenentwicklung. DeFrains u.a. (2009) verglichen Aminosäure-Komplexe mit Sulfaten (360 ppm Zn, 200 ppm Mn, 125 ppm Cu), wobei die Autoren hierbei keine Auswirkung der Spurenelementquelle auf die Milchleistung feststellten ( $p > 0.15$ ). Dies deckt sich mit einer älteren Studie von Formigioni u.a. (2011) die ebenfalls zwischen organischen und mineralischen Spurenelementen keine veränderte Milchleistung beobachteten (500 ppm Zn, Cu und Mn als Sulfat bzw. Proteinat). Auch konnten Kincaid u.a. (2004) in ihrem Versuch zwischen Zinkmethionin und Zinksulfat keinen Unterschied in der Milchleistung der Rinder feststellen. Ebenfalls beobachteten Hackbart u.a. (2010) in Abhängigkeit der Spurenelementquelle weder einen Unterschied bei der Futteraufnahme noch bei der Milchmenge.

Wirtschaftliche Verluste durch reduzierte Fruchtbarkeit sind neben der Mastitis einer der bedeutendsten Risikofaktoren in der Milchviehwirtschaft (Manspeaker und Robl, 1993). Es wurden zahlreiche Studien durchgeführt, um die Auswirkungen von Spurenelementquelle und -menge auf die Fruchtbarkeit von Rindern zu untersuchen. In Studien von Toni u.a. (2007) wurden zwar nur geringe Auswirkungen auf die Fertilität gemessen, jedoch waren die Kälberverluste durch die Zufütterung mit organischen Spurenelementen deutlich erniedrigt, was auf eine bessere Tiergesundheit zurückgeführt wurde. Weitere Studien zur Fertilität von Rindern zeigten, dass durch den Ersatz von anorganischen Mineralien bzw. die Ergänzung dieser mit organischen Spurenelementen die Erstbesamungsrate höher war (Uchida u.a., 2001), die Gützeit geringer war (Uchida u.a., 2001; Ballantine u.a., 2002; Kellogg u.a., 2003; Bosseboeuf u.a., 2006) und die Trächtigkeitsrate höher war (Ballantine u.a., 2002; Bosseboeuf u.a., 2006). Auch in einem Vergleich von Formigioni u.a. (2011), in dem in einer Mischration zu jeweils 500 ppm Cu, Zn und Mn Spurenelemente als Proteinat oder Sulfat verfüttert wurden, erzielten die organischen Spurenelemente eine höhere Trächtigkeitsrate und weniger Kälberverluste nach der Geburt. Kumar u.a. (2006) verglichen 35 ppm Zinkpropionat mit 35 bzw. 70 ppm Zinksulfat. Der Einsatz von Zinkpropionat konnte bei Bullen, im Vergleich zu 35 oder 70 ppm Sulfatfütterung, eine höhere Zahl an Spermien pro Ejakulat und eine höhere Spermienmobilität feststellen. Demgegenüber wurde bei Untersuchungen von O`Donoghue und Boland (2002) kein Unterschied in der Fruchtbarkeit in Abhängigkeit von der Spurenelementquelle festgestellt. Olson u.a. (1999) stellten sogar, verglichen mit der Kontrollgruppe, bei einer Supplementierung mit organischen Spurenelementen beginnend 60 Tage vor der Brunst einen Rückgang in der Fruchtbarkeit fest. Auch wurde in einer Studie von Nocek u.a. (2006) gezeigt, dass eine organische Zinkfütterung zu schlechteren Werten bei Trächtigkeit führt als durch eine konventionelle Fütterung.

## Immunität

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Zinkverbindungen bei Rindern auf die Immunität ist in Tabelle 17 dargestellt.

Der Gehalt an Immunglobulinen im Kolostrum konnte durch organisches Zink in einer Studie gesteigert werden (Zinkproteinat). Der Gehalt an Immunglobulinen im Serum wurde durch Zinkmethionin in drei Studien (Zinkmethionin) gesteigert. Eine Reduktion von Klauenerkrankungen konnte in fünf Studien festgestellt werden (jeweils zwei Studien zu Zinkproteinat und Zink-Aminosäure-Komplexen sowie eine Studie zu Zinkmethionin). Der Gehalt an somatischen Zellen in der Milch von Kühen wurde in drei Studien gesenkt (Zinkmethionin, Zinkproteinat und Zink-Aminosäure-Komplex), während in einer Studie kein Unterschied zwischen anorganischem und organischem Zink festgestellt werden konnte (Zinkproteinat). Die Aktivität der alkalischen Phosphatase blieb in allen drei untersuchten Studien durch die organische Zinkquelle (Zinkproteinat, Zinkglycin und Zinkmethionin) unbeeinflusst.

**Tabelle 17: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Zinkverbindungen auf die Immunität bei Rindern**

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Kincaid u.a. (2004)</b>	1) 700 mg/d ZnSO <sub>4</sub> 2) 340 mg/d ZnSO <sub>4</sub> + 360 mg/d ZnMet	IgG-Konzentration Kolostrum	ZnMet: + 10,95 % <sup>1</sup>
		IgM-Konzentration Kolostrum	ZnMet: - 5,72 % <sup>1</sup>
		IgG-Konzentration Serum	ZnMet: - 6,41 % <sup>1</sup>
		IgM-Konzentration Serum	ZnMet: + 25 % <sup>1</sup>
<b>Dresler u.a. (2015)</b>	1) 30 ppm ZnSO <sub>4</sub> 2) 30 ppm ZnMet	Ig-Konzentration Serum	ZnMet: + 133,53 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Droke u.a. (1998)</b>	1) Kontrolle: 27,6 ppm Zn	Ig-Konzentration Serum	ZnMet: - 7,69 % ZnO: - 7,69 %
	2) Kontrolle + 25 ppm ZnO	IgG-Konzentration Serum	ZnO: - 9,09 %
	3) Kontrolle + 25 ppm ZnMet	IgM-Konzentration Serum	ZnMet: + 25 % ZnO: 0 %
<b>Ballantine u.a. (2002)</b>	1) 360 ppm ZnAS 2) 360 ppm ZnSO <sub>4</sub>	Klauenerkrankungen	ZnAS: - 43,5 % <sup>1</sup>
<b>Kellogg u.a. (2003)</b>	1) 360 mg/d ZnSO <sub>4</sub> 2) 360 mg/d ZnMet	somatische Zellen Milch	ZnMet: - 12,22 % <sup>1</sup>
<b>Nocek u.a. (2006)</b>	1) 63 ppm ZnSO <sub>4</sub> 2) 63 ppm ZnMet	Klauenerkrankungen	ZnMet: - 8,59 % <sup>1</sup>
<b>Formigoni u. a. (2011)</b>	1) 500 ppm ZnSO <sub>4</sub> 2) 500 ppm ZnProt	Ig-Konzentration Kolostrum	ZnProt: + 19,12 % <sup>1</sup>
<b>O`Donoghue &amp; Boland (2002)</b>	1) 300 ppm ZnSO <sub>4</sub> 2) 300 ppm ZnProt	somatische Zellen Milch	ZnProt: - 1,69 % <sup>1</sup>
<b>Kessler u.a. (2003)</b>	1) Kontrolle: 35 ppm Zn 2) Kontrolle + 10 ppm ZnProt 3) Kontrolle + 10 ppm ZnPoly 4) Kontrolle + 10 ppm ZnO	Klauenerkrankungen	ZnO: - 1,82 % ZnProt: - 20 % ZnPoly: - 48,18 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.



<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Nemec u. a. (2012)</b>	1) 73 ppm ZnSO <sub>4</sub> 2) 94 ppm ZnMet	Phagozytoseaktivität neutrophile Granulozyten	ZnMet: + 16,13 % <sup>1</sup>
<b>Sobhanirad u.a (2012)</b>	1) Kontrolle 2) 500 ppm ZnMet 3) 500 ppm ZnSO <sub>4</sub>	Gesamtzahl Erythrozyten	ZnMet: + 5,11 % ZnSO <sub>4</sub> : - 3,13 %
		Hämoglobinkonzentration	ZnMet: + 6 % ZnSO <sub>4</sub> : - 0,96 %
<b>Wright u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 28 ppm Zn 2) Kontrolle + 20 ppm ZnSO <sub>4</sub> 3) Kontrolle + 20 ppm ZnProt	Aktivität alkalische Phosphatase	ZnSO <sub>4</sub> : + 7,76 % ZnProt: + 4,31 %
<b>Muirhead (1993)</b>	1) 180 ppm ZnSO <sub>4</sub> 2) 180 ppm ZnProt	Klauenerkrankungen	ZnProt: - 3,62 % <sup>1</sup>
<b>Whitaker u.a. (1997)</b>	1) 390 ppm ZnSO <sub>4</sub> 2) 140 ppm ZnSO <sub>4</sub> + 250 ppm ZnProt	Mastitis	ZnProt: 0 % <sup>1</sup>
		somatische Zellen Milch	ZnProt: - 6,67 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Kinal u.a. (2005)</b>	1) 315 mg/d ZnSO <sub>4</sub> 2) 252 mg/d ZnSO <sub>4</sub> + 63 mg/d ZnAS 3) 220,5 mg/d ZnSO <sub>4</sub> + 94,5 mg/d ZnAS	somatische Zellen Milch	ZnAS (63 mg/d): - 25,18 % <sup>1</sup>  ZnAS (94,5 mg/d): - 33,99 % <sup>1</sup>
<b>Jacometo u. a. (2015)</b>	1) 40 ppm ZnSO <sub>4</sub> 2) 40 ppm ZnAS	Blutglucosegehalt Nachkommen	ZnAS: - 12,68 % <sup>1</sup>
<b>Siciliano-Jones u.a. (2008)</b>	1) 360 ppm ZnAS 2) 360 ppm ZnSO <sub>4</sub>	Klauenerkrankungen	ZnAS: - 5 % <sup>1</sup>

Durch die Verfütterung von organischen Spurenelementen an Kühe konnten einige Autoren erhöhte Immunglobulingehalte im Kolostrum nachweisen (Kincaid und Socha, 2004; Kinal u.a., 2005). Auch der Serum-Immunglobulingehalt bei Kälbern konnte bei Dresler u.a. (2015) und Droke u.a. (1998) durch eine Zinkmethionin-Supplementierung gesteigert werden. Franklin (2004) bemerkte, dass durch eine ausreichende Spurenelementversorgung in der Transitphase die Immunfunktion der Kuh und des Kalbes durch plazentaren Mineralstofftransport und adäquaten Mineraliengehalt im Kolostrum verbessert werden kann. Innerhalb der ersten drei Lebenswochen hängt die Immunabwehr gegen Pathogene primär von den über das Kolostrum zugeführten Antikörpern ab, da keinerlei Immunglobuline über die Plazenta das ungeborene Kalb erreichen können (Smith und Foster, 2007). In einer früheren Untersuchung von Kincaid und Socha (2004) führte die Zufütterung von organischen Spurenelementen ab dem 21. Tag vor der Kalbung zu einem messbaren Anstieg des IgG-Levels, während der Gehalt an IgM und der Mineralstoffgehalt im Kolostrum unverändert blieb. In einer weiteren Studie konnte gezeigt werden, dass eine partielle Substitution von Zink-, Kupfer und Mangansulfaten mit organischen Spurenelementen den Fettgehalt der Milch sowie den Immunglobulinanteil des Kolostrums steigerte, jedoch die Spurenelementkonzentration unbeeinflusst ließ. Auch die Kälbermortalität konnte in der mit organischen Spurenelementen gefütterten Gruppe gegenüber den Kontrolltieren signifikant gesenkt werden (Formigoni u. a.,

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

2011). Des Weiteren wurde erforscht, dass der Ersatz mineralischer Spurenelemente (40 ppm Zn-Sulfat, 20 ppm Cu-Sulfat, 5 ppm Mn-Sulfat) mit organischen Spurenelementen (40 ppm Zn-AS, 20 ppm Cu-AS, 5 ppm Mn-AS) die Immunfunktion von Rindern während stressiger Episoden, wie beispielsweise der Peripartalperiode, verbessern konnte. Dies hat auch einen Einfluss auf die Kälber, welcher durch epigenetische Mechanismen meditiert wird. Organisch gefütterte Kühe gebaren Kälber mit einer gesteigerten Schulterhöhe, während die Kälber aus der anorganisch gefütterten Gruppe beispielsweise gesteigerten Blutzuckerpegel aufwiesen. (Jacometo u. a., 2015). Auch Sobhanirad u.a. (2012) konnten durch organisches Zink (500 ppm Zinkmethionin) Veränderungen des Blutbildes bei Rindern beobachten. Gegenüber 500 ppm Zinksulfat wurde die Gesamtzahl der Erythrozyten und des Hämoglobingehaltes gesteigert. Nemeč u.a. (2012) berichteten, dass bei der Fütterung laktierender Kühe mit organischem Zink ein verbesserter Immunstatus in Bezug auf die Phagozytoseeigenschaft der neutrophilen Granulozyten eintritt.

Mehrere Studien haben die Auswirkungen von verschiedenen Spurenelementquellen auf den Gehalt an somatischen Zellzahlen in der Milch untersucht.

O'Donoghue und Boland (2002) verglichen organische Kupfer-, Zink- und Selenverbindungen mit anorganischen Kontrollgruppen bei laktierenden Kühen und konnten bei der Fütterung mit organischen Verbindungen einen Rückgang der somatischen Zellzahlen dokumentieren ( $p < 0.05$ ). Kellogg u.a. (2003) konnte ebenfalls eine erniedrigte somatische Zellzahl bei Kühen feststellen die mit organischem Zink gefüttert wurden. Whitaker u.a. (1997) untersuchten 40 trächtige Milchkühe ab der dritten Trächtigkeitswoche. Hierbei verfütterten sie bis zur Kalbung in der Versuchsgruppe 200 ppm Zinkproteinat und 60 ppm Zinksulfat und in der Kontrollgruppe 260 ppm Zinksulfat. Nach der Kalbung erhielt die Versuchsgruppe 250 ppm Zinkproteinat und 140 ppm Zinksulfat gegenüber 390 ppm Zinksulfat in der Kontrollgruppe. Der Versuch konnte keine Vorteile der Versuchsgruppe gegenüber der Kontrollgruppe nachweisen. Weder die Anzahl der erkrankten Tiere an Mastitis, noch die Anzahl der somatischen Zellzahlen zeigten signifikante Unterschiede auf. Der partielle Austausch von mineralischen Spurenelementen durch organische Verbindungen wurde von Kinal u.a. (2005) untersucht. Eine Mischration aus Zink, Mangan und Kupfer wurde zu 20 % bzw. 30 % durch organische Aminosäure-Komplexe ersetzt. Hierbei zeigte sich, dass durch beide Substitutionsvarianten eine signifikante Reduktion der somatischen Zellzahlen in der Milch erzielt werden konnte ( $p \leq 0.01$ ). Der Gehalt der somatischen Zellen reduzierte sich bei einem 20 %igem Ersatz durch organische Spurenelemente um 25 % und bei einem 30 %igem Ersatz um 34 %. Ferner fütterten Kinal u.a. (2005) organische Spurenelemente ab dem letzten Drittel der Trächtigkeit zu. Sie beobachteten einen Anstieg des Serum-Zink- und Serum-Kupfer-Gehalts der Kühe, welches

wiederum zu einem erhöhten Immunglobulingehalt im Kolostrum und im Blutserum der Kälber führte. Wright u.a. (2004) verglichen eine Basaldiät mit zusätzlich 20 ppm Zink als Zinksulfat oder Zinkproteinat. In beiden Gruppen konnten keine Unterschiede der alkalischen Phosphatase Aktivität gemessen werden. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Spears u.a. (2004), die jeweils 20 ppm Zinkmethionin, Zinkglycin und Zinksulfat verglichen und ebenfalls keine unterschiedliche Aktivität der alkalischen Phosphatase registrierten.

In einem Vergleich von Kessler u.a. (2003) und Ballentine u.a. (2002) zwischen 10 ppm organischem und anorganischem Zink konnte durch organisches Zink außerdem eine Verbesserung der Klauengesundheit beobachtet werden. Ähnliche Ergebnisse dokumentierten Murihead u.a. (1993) für Zinkproteinat. Siciliano-Jones u.a. (2008) und Nocek u.a. (2006) berichteten, dass durch den Einsatz einer Futtermischung aus organischem Zink, Mangan und Kupfer zwar nur eine kleine, aber doch bessere Klauengesundheit nachgewiesen werden konnte, verglichen mit einer anorganischen Futtermischung.

### Sondereffekte

Eine Übersicht der Sondereffekte von unterschiedlichen Zinkverbindungen bei Rindern ist in Tabelle 18 dargestellt.

In lediglich zwei Studien konnten verwertbare Aussagen zur Auswirkung von organischem Zink auf den Zinkgehalt in Kot und/oder Urin bei Rindern gefunden werden. Während in einer Studie eine erhöhte renale Zinkausscheidung durch sowohl Zinkmethionin, als auch Zinkglycin festgestellt werden konnte, wurde in einer zweiten Studie kein Unterschied im Urin-Zinkgehalt festgestellt (Zinkpropionat). In beiden Studien konnte kein Unterschied im Kot-Zinkgehalt festgestellt werden (Zinkpropionat, Zinkmethionin und Zinkglycin).

**Tabelle 18: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Zinkverbindungen bei Rindern**

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Mandal u. a. (2007)</b>	1) Kontrolle: 32,5 ppm Zn	faecale Zinkausscheidung	ZnProp: + 5,14 % ZnSO <sub>4</sub> : - 7,48 %
	2) Kontrolle + 35 ppm ZnSO <sub>4</sub>	renale Zinkausscheidung	ZnProp: - 19,56 %
	3) Kontrolle + 35 ppm ZnProp		ZnSO <sub>4</sub> : - 13,56 %

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Spears u. a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 18.8 ppm Zn	renale Zinkausscheidung	ZnGly: + 70,59 %
	2) Kontrolle + 20 ppm ZnSO <sub>4</sub>		ZnMet: + 68,24 % ZnSO <sub>4</sub> : + 21,53 %
	3) Kontrolle + 20 ppm ZnMet	faecale Zinkausscheidung	ZnSO <sub>4</sub> : + 131,45 %
	4) Kontrolle + 20 ppm ZnGly		ZnGly: + 121,93 % ZnMet: + 118,59 %

Im Vergleich zwischen Zinksulfat und Zinkpropionat (jeweils zu 35 ppm supplementiert) konnten Mandal u.a. (2007) durch organische Zufütterung eine höhere faecale Ausscheidung (45 g/Tag zu 39,6 g/Tag), aber eine geringere renale Ausscheidung (51 g/Tag zu 54,8 g/Tag) feststellen. Ähnliche Ergebnisse konnten Spears u.a. (2004) beobachten. Durch Supplementation mit jeweils 20 ppm als Zinkglycin bzw. Zinkmethionin wurden im Vergleich zu Zinksulfat höhere faecale und niedrigere renale Ausscheidungen festgestellt.

### 11.1.2 Schweine

#### Resorption

Eine Übersicht der Resorbierbarkeit von unterschiedlichen Zinkverbindungen bei Schweinen ist in Tabelle 19 dargestellt.

Zum Zink-Gehalt in der Leber stellten sechs Autoren keinen Unterschied zwischen Zinkquellen fest (vier Studien zu Zinkmethionin und jeweils eine Studie zu Zinkglycin und Zinklysin). Eine Studie konnte einen höheren Zinkgehalt in der Leber feststellen (Zinkglycin) und vier Studien stellten einen niedrigeren Zinkgehalt in der Leber, verglichen mit einer anorganischen Zufütterung, fest (zwei Studien zu Zink-Aminosäure-Komplexen und jeweils eine Studie zu Zink-Polysacchariden und Zinkmethionin).

Der Zinkgehalt in den Nieren lag in drei der untersuchten Studien durch organische Zinkformen niedriger als in den anorganischen Vergleichsgruppen (jeweils eine Studie zu Zinkmethionin, Zink-Polysacchariden und Zink-Aminosäure-Komplexen). In weiteren zwei Studien (Zinkmethionin und Zinklysin) konnte hingegen kein Unterschied zwischen organischer und anorganischer Zinkquelle festgestellt wurde.

Eine Erhöhung der Zink-Plasma-Konzentrationen wurde in keiner Studie durch organische Zinkformen beobachtet, wohingegen in zehn Fütterungsversuchen zwischen den Zinkformen ein gleicher Zink-Plasma-Gehalt festgestellt wurde (fünf Studien zu Zinkmethionin, drei zu Zinkglycin und zwei zu Zink-Aminosäure-Komplexen). Demgegenüber wurde in einer Studie ein erhöhter Zink-Serum-Gehalt durch Zink-Aminosäure-Komplexe festgestellt, wohingegen in zwei weiteren Studien durch Zinkmethionin und Zinkglycin eine niedrigere Zinkkonzentration, verglichen mit Zinksulfat, im Plasma festgestellt wurde.

**Tabelle 19: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Zinkverbindungen bei Schweinen**

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Revy u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 32 ppm Zn  2) Kontrolle + 20 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 20 ppm ZnMet	Zinkgehalt Plasma	ZnSO <sub>4</sub> : + 144,93 %  ZnMet: + 128,99 %

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
Siebert u.a. (2010)	1) 50 ppm ZnSO <sub>4</sub> 2) 50 ppm ZnGly	Zinkgehalt Plasma	ZnGly: + 10,91 % <sup>1</sup> ZnMet: + 10,91 % <sup>1</sup>
	3) 50 ppm ZnMet	Zinkgehalt Leber	ZnMet: + 8,86 % <sup>1</sup> ZnGly: - 4,29 % <sup>1</sup>
Revy u.a. (2002)	1) Kontrolle: 28 ppm Zn 2) Kontrolle + 10 ppm ZnSO <sub>4</sub> 3) Kontrolle + 20 ppm ZnSO <sub>4</sub> 4) Kontrolle + 30 ppm ZnSO <sub>4</sub> 5) Kontrolle + 10 ppm ZnMet 6) Kontrolle + 20 ppm ZnMet	Zinkgehalt Plasma	ZnMet (30 ppm): + 164,26 % ZnSO <sub>4</sub> (30 ppm): + 164,26 % ZnSO <sub>4</sub> (20 ppm): + 141,06 % ZnMet (20 ppm): + 109,13 % ZnMet (10 ppm): + 57,03 % ZnSO <sub>4</sub> (10 ppm): + 46,01 %
	7) Kontrolle + 30 ppm ZnMet	Zinkgehalt Leber	ZnMet (30 ppm): + 40,18 % ZnSO <sub>4</sub> (30 ppm): + 39,29 % ZnSO <sub>4</sub> (20 ppm): + 16,96 % ZnMet (20 ppm): + 13,39 % ZnSO <sub>4</sub> (10 ppm): + 3,57 % ZnMet (10 ppm): - 6,25 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Rincker u.a. (2005)</b>	1) Kontrolle	Zinkgehalt Plasma	ZnMet: + 163,83 %
	2) Kontrolle + 2000 ppm ZnO		ZnO: + 136,17 %
	3) Kontrolle + 2000 ppm ZnMet	Zinkgehalt Leber	ZnMet: + 610,64 %
			ZnO + 550,82 %
		Zinkgehalt Nieren	ZnO: - 58,3 % ZnMet: - 57,52 %
<b>Paulicks u.a. (2011)</b>	1) Kontrolle: 42 ppm Zn	Zinkgehalt Plasma	ZnGly (50 ppm): + 352,38 %
	2) Kontrolle + 15 ppm ZnSO <sub>4</sub>		ZnAS (50 ppm): + 352,38 %
	3) Kontrolle + 30 ppm ZnSO <sub>4</sub>		ZnSO <sub>4</sub> (50 ppm): + 328,57 %
	4) Kontrolle + 50 ppm ZnSO <sub>4</sub>		ZnGly (30 ppm): + 261,9 %
	5) Kontrolle + 15 ppm ZnGly		ZnSO <sub>4</sub> (30 ppm): + 242,86 %
	6) Kontrolle + 30 ppm ZnGly		ZnAS (30 ppm): + 228,57 %
	7) Kontrolle + 50 ppm ZnGly		ZnAS (15 ppm): + 133,33 %
	8) Kontrolle + 15 ppm ZnAS		ZnGly (15 ppm): + 95,24 %
	9) Kontrolle + 30 ppm ZnAS		ZnSO <sub>4</sub> (15 ppm): + 95,24 %
	10) Kontrolle + 50 ppm ZnAS		



Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Nitrayova u.a. (2012)</b>	1) 10 ppm ZnO 2) 10 ppm ZnMet 3) 10 ppm ZnGly 4) 10 ppm ZnProt	Zinkgehalt Plasma	ZnGly: + 22,5 % <sup>1</sup> ZnMet: - 3,75 % <sup>1</sup> ZnProt: - 48,75 % <sup>1</sup>
<b>Wang u.a. (2009)</b>	1) Kontrolle 2) Kontrolle + 3000 ppm ZnO 3) Kontrolle + 50 ppm ZnGly	Zinkgehalt Leber	ZnO: + 49,64 % ZnGly (100 ppm): + 8,99 % ZnGly (50 ppm): + 5,17 %
	4) Kontrolle + 100 ppm ZnGly	Zinkgehalt Serum	ZnO: + 53,18 % ZnGly (100 ppm): + 12,7 % ZnGly (50 ppm): + 12,45 %
<b>Lee u.a. (2001)</b>	1) 120 ppm ZnSO <sub>4</sub> 2) 60 ppm ZnAS 3) 120 ppm ZnAS	Zinkgehalt Serum	ZnAS (120 ppm): + 4,88 % <sup>1</sup> ZnAS (60 ppm): - 2,44 % <sup>1</sup>
<b>Cheng u.a. (1998)</b>	1) Kontrolle: 32 ppm Zn	Zinkgehalt Leber	ZnSO <sub>4</sub> : + 60 % ZnLys: + 52,63 %
	2) Kontrolle + 100 ppm ZnSO <sub>4</sub> 3) Kontrolle + 100 ppm ZnLys	Zinkgehalt Nieren	ZnSO <sub>4</sub> : + 30,69 % ZnLys: + 28,71 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Payne u.a. (2006)</b>	1) Kontrolle: 100 ppm Zn  2) Kontrolle + 100 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 100 ppm ZnAS	Zinkgehalt Leber	ZnAS: + 26,72 %  ZnSO <sub>4</sub> : + 11,15 %
<b>Buff u.a. (2005)</b>	1) Kontrolle: 100 ppm Zn  2) Kontrolle + 150 ppm ZnPoly  3) Kontrolle + 300 ppm ZnPoly  4) Kontrolle + 450 ppm ZnPoly  5) Kontrolle + 2000 ppm ZnO	Zinkgehalt Plasma	ZnO: + 43,1 %  ZnPoly (300 ppm): + 7,53 %  ZnPoly (150 ppm): + 4,3 %  ZnPoly (450 ppm): - 1,08 %
<b>Schell &amp; Kornegay (1996)</b>	1) Kontrolle: 105 ppm Zn  2) Kontrolle + 1000 ppm ZnO  3) Kontrolle + 1000 ppm ZnSO <sub>4</sub>	Zinkgehalt Leber	ZnSO <sub>4</sub> : + 36,84 %  ZnO: + 35,96 %  ZnMet: + 14,91 %  ZnLys: + 14,04 %
		Zinkgehalt Nieren	ZnMet: + 2,36 %  ZnO: + 0,79 %  ZnSO <sub>4</sub> : - 4,72 %  ZnLys: - 5,51 %
		Zinkgehalt Serum	ZnSO <sub>4</sub> : + 30,77 %  ZnO: + 21,54 %  ZnMet: + 20 %  ZnLys: + 16,92 %

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Carlson u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 165 ppm Zn 2) Kontrolle + 2000 ppm ZnO 3) Kontrolle + 125 ppm ZnPoly 4) Kontrolle + 250 ppm ZnPoly 5) Kontrolle + 375 ppm ZnPoly 6) Kontrolle + 500 ppm ZnPoly	Zinkgehalt Plasma	ZnO: + 70,83 %  ZnPoly (250 ppm): + 20,83 %  ZnPoly (500 ppm): + 16,67 %  ZnPoly (375 ppm): + 14,58 %  ZnPoly (125 ppm): + 12,5 %
<b>Carlson u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 165 ppm Zn 2) Kontrolle + 2000 ppm ZnO 3) Kontrolle + 50 ppm ZnProt 4) Kontrolle + 100 ppm ZnProt 5) Kontrolle + 200 ppm ZnProt 6) Kontrolle + 400 ppm ZnProt 7) Kontrolle + 800 ppm ZnProt	Zinkgehalt Plasma	ZnO: + 15,7 %  ZnProt (800 ppm): + 5,79 %  ZnProt (400 ppm): + 4,96 %  ZnProt (200 ppm): + 4,113 %  ZnProt (100 ppm): + 3,31 %  ZnProt (50 ppm): + 1,65 %

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Case u.a. (2002)</b>	1) 500 ppm ZnO 2) 500 ppm ZnAS 3) 500 ppm ZnPoly	Zinkgehalt Leber	ZnPoly: + 50,72 % <sup>1</sup>  ZnAS: + 34,12 % <sup>1</sup>
		Zinkgehalt Nieren	ZnAS: + 19,08 % <sup>1</sup>  ZnPoly: - 7,07 % <sup>1</sup>
		Zinkgehalt Plasma	ZnAS: + 14,29 % <sup>1</sup>  ZnPoly: + 13,64 % <sup>1</sup>
<b>Creech u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 150 ppm Zn  2) 25 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) 25 ppm ZnProt	Zinkgehalt Plasma	ZnSO <sub>4</sub> : - 33,86 %  ZnProt: - 38,58 %

In Bezug auf die Resorbierbarkeit organischer Spurenelementquellen bei Schweinen, konnten verschiedenste Studienergebnisse gefunden werden. Während in einigen Studien ein Vorteil bei beispielsweise organischem Zink festgestellt werden konnte, beobachteten andere Autoren wiederum keine höhere Anreicherung (hier in Blutplasma bzw. Lebergewebe) (Case & Carlson, 2002; Revy u.a., 2002; Revy u.a., 2004; Siebert u.a., 2010; Paulicks u.a., 2011; Nitrayova u.a., 2012). Case u.a. (2002) verglichen in drei Experimenten Zinkoxid (150 ppm, 500 ppm oder 3000 ppm) mit 500 ppm Zink-Aminosäurekomplex oder Zink-Polysaccharid. Im ersten Experiment lag die Zinkplasmakonzentration bei einer Zinkzufütterung mit 3000 ppm am höchsten, gefolgt von 500 ppm Zn-Polysacchariden. Im zweiten Experiment konnte ebenfalls die Zufütterung mit 3000 ppm Zinkoxid den höchsten Zinkgehalt im Plasma bewirken. Im dritten Experiment lag nach 15 Tagen kein Unterschied zwischen den Zinkformen und -gehalten vor. In allen drei Experimenten konnte durch 3000 ppm Zinkoxid der höchste Zinkgehalt in der Leber und den Nieren nachgewiesen werden. Auch Revy u.a. (2002) verglichen unterschiedliche Zinkquellen (10 ppm, 20 ppm und 30 ppm in Form von Zinkmethionin und Zinksulfat). Während der Zinkgehalt in der Leber und dem Blutplasma

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

linear mit der verabreichten Zinkkonzentration stieg, konnte kein Unterschied zwischen organischen und anorganischen Zinkquellen festgestellt werden. In einer weiteren Studie von Revy konnte zwischen 20 ppm Zinkmethionin und Zinksulfat kein unterschiedlicher Zinkgehalt im Blutplasma beobachtet werden (Revy u.a., 2004). In einer Studie von Cheng u.a. (1998) mit Ferkeln, die die ersten sieben Tage nach dem Absetzen mit einer Kontrolldiät und danach entweder mit einer Zn-Sulfat oder Zn-Lysin-angereicherten Diät (jeweils 100 ppm Zn) gefüttert wurden, zeigte sich kein signifikanter Unterschied im Zinkgehalt von Leber und Niere. Auch Rincker u.a. (2005) untersuchten unter anderem die Resorptionseigenschaften verschiedener Zinkquellen. Sowohl 2000 ppm Zinkmethionin als auch 2000 ppm Zinkoxid führten zu keinem Zinkgehalt in Blutplasma, Leber und Niere der untersuchten Schweinegruppen. Demgegenüber stellten Wang u.a. (2009) fest, dass eine Supplementation mit 100 ppm Zinkglycin gegenüber 3000 ppm Zinkoxid den Leber-Zinkgehalt deutlich steigern konnte ( $p < 0.05$ ), während der Zinkgehalt im Blut-Serum im Vergleich zur Kontrollgruppe durch Zinkglycin unbeeinflusst blieb. Die Serum-Zinkkonzentration konnte hingegen bei Schweinen der Zinkoxid-Gruppe deutlicher gesteigert werden ( $p < 0.05$ ) als in der Zinkglycin-Gruppe. In einer Untersuchung von Lee u.a. (2001) wurden Zink-Aminosäurechelate in einer niedrigen Dosierung (60 ppm) an Absetzer gefüttert. Im Vergleich zur anorganischen Gruppe (120 ppm Zn-Sulfat) konnte ein signifikanter Unterschied ( $p < 0.05$ ) der Zink-Serumkonzentration durch organisches Zink gemessen werden. Dies deckt sich auch mit Untersuchungen von Jongbloed (2010), der in 16 Studien mit insgesamt 29 Experimenten keine verbesserte Bioverfügbarkeit von organischen gegenüber anorganischen Zinkquellen bestimmen konnte. In einer Studie von Wu u.a. (2001) konnten sogar erhöhte Werte für die Futtermittelaufnahme und Körpermassenzunahme bei einer Kontrollgruppe mit Zinkoxid im Vergleich zu Zinkproteinat festgestellt werden. Buff u.a. (2005) untersuchten 50 Ferkel über 35 Tage, wobei diesen zu Beginn für 14 Tage eine Basaldiät gefüttert wurde. Ab dem 14. Tag erfolgte eine Supplementation mit 2000 ppm Zinkoxid bzw. 150 ppm, 300 ppm und 450 ppm Zink-Polysacchariden. Hierbei konnte durch Zinkoxid eine höhere Zinkplasmakonzentration gemessen werden als durch die drei anderen Zink-Polysaccharidrationen. In einer Studie von Carlson u.a. (2004) wurde Zink als Zink-Polysaccharid (125 ppm, 250 ppm, 375 ppm oder 500 ppm) oder Zinkoxid (2000 ppm) an 306 Ferkeln über 42 Tage untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass sich die Plasmazinkkonzentration innerhalb der organischen Zinkgehalte nicht unterschied. Allerdings lag durch Zinkoxid der Plasmagehalt an Zink deutlich höher als durch alle anderen organischen Zinkrationen. In einem zweiten Experiment von Carlson u.a. (2004) wurden 98 Ferkel 28 Tage lang Zinkproteinat (50 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 400 ppm oder 800 ppm) oder Zinkoxid (2000 ppm) zugefüttert. Wie bereits im ersten Versuch war die Zinkplasmakonzentration durch Zinkoxid am stärksten erhöht. Paulicks u.a. (2011) verglichen

die Auswirkungen von Zinkglycin und Zinksulfat (jeweils Gruppen zu 15 ppm, 30 ppm oder 50 ppm) auf 96 Ferkel. Hierbei konnte gezeigt werden, dass sich die Zinkform nicht auf den Zinkgehalt im Plasma auswirkte.

### Leistung

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Zinkverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Schweinen ist in Tabelle 20 dargestellt.

Eine organische Zink-Supplementation bei Schweinen führte in 11 Studien zu keiner besseren Körpermassenentwicklung als durch eine anorganische Verbindungsform. Hierbei entfielen sieben Studien auf Zinkmethionin, jeweils drei auf Zinklysin und Zink-Polysaccharide, zwei Studien auf Zink-Aminosäure-Komplexe und eine Studie auf Zinkproteinate. In acht Studien konnte eine bessere Körpermassenentwicklung festgestellt werden (drei Studien zu Zinkglycin, je zwei Studie zu Zink-Aminosäure-Komplexen und Zinkmethionin und eine Studie zu Zinkproteinat) und in drei weiteren Studien lag sogar eine schlechtere Körpermassenentwicklung bei organischen Zinkformen vor (zwei Studien zu Zinkproteinat und eine zu Zink-Polysacchariden).

Weitere Studien zur Leistung bei Schweinen befassten sich mit der Reproduktion. Während eine Studie eine höhere Anzahl der Nachkommen feststellte (Zink-Aminosäure-Komplex), wurde in einer weiteren Studie kein Unterschied hierzu dokumentiert (Zinkproteinat). Die Anzahl der lebensfähigen Ferkel wurde in einer Studie mit Zinkproteinat nicht durch die Zinkform beeinflusst, während in einer weiteren Studie mit Zink-Aminosäure-Komplexen das Gewicht der Nachkommen durch die organische Zinkform höher lag.

**Tabelle 20: Untersuchung zur Auswirkung verschiedener Zinkverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Schweinen**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Revy u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 32 ppm Zn  2) Kontrolle + 20 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 20 ppm ZnMet	Körpermassenentwicklung	ZnMet: + 9,85 %  ZnSO <sub>4</sub> : + 6,46 %

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Siebert u.a. (2010)</b>	4) 50 ppm ZnSO <sub>4</sub> 5) 50 ppm ZnGly 6) 50 ppm ZnMet	Körpermassenentwicklung	ZnGly: + 31,01 % <sup>1</sup> ZnMet: + 11,65 % <sup>1</sup>
<b>Revy u.a. (2002)</b>	1) Kontrolle: 28 ppm Zn 2) Kontrolle + 10 ppm ZnSO <sub>4</sub> 3) Kontrolle + 20 ppm ZnSO <sub>4</sub> 4) Kontrolle + 30 ppm ZnSO <sub>4</sub> 5) Kontrolle + 10 ppm ZnMet 6) Kontrolle + 20 ppm ZnMet 7) Kontrolle + 30 ppm ZnMet	Körpermassenentwicklung	ZnSO <sub>4</sub> (10 ppm): + 2,38 % ZnMet (30 ppm): - 0,65 % ZnSO <sub>4</sub> (20 ppm): - 1,73 % ZnSO <sub>4</sub> (30 ppm): - 3,02 % ZnMet (10 ppm): - 4,1 % ZnMet (30 ppm): - 7,78 %
<b>Rincker u.a. (2005)</b>	1) Kontrolle 2) Kontrolle + 2000 ppm ZnO 3) Kontrolle + 2000 ppm ZnMet	Körpermassenentwicklung	ZnO: - 4,31 % ZnMet: - 36,39 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Paulicks u.a. (2011)</b>	1) Kontrolle: 42 ppm Zn  2) Kontrolle + 15 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 30 ppm ZnSO <sub>4</sub>  4) Kontrolle + 50 ppm ZnSO <sub>4</sub>  5) Kontrolle + 15 ppm ZnGly  6) Kontrolle + 30 ppm ZnGly  7) Kontrolle + 50 ppm ZnGly  8) Kontrolle + 15 ppm ZnAS  9) Kontrolle + 30 ppm ZnAS  10) Kontrolle + 50 ppm ZnAS	Körpermassenentwicklung	ZnGly (15 ppm): + 21,14 %  ZnAS (15 ppm): + 20,73 %  ZnSO <sub>4</sub> (50 ppm): + 18,5 %  ZnAS (50 ppm): + 18,5 %  ZnGly (50 ppm): + 18,09 %  ZnSO <sub>4</sub> (15 ppm): + 16,06 %  ZnSO <sub>4</sub> (30 ppm): + 15,04 %  ZnAS (30 ppm): + 13,62 %  ZnGly (30 ppm): + 13,21 %
<b>Wang u.a. (2009)</b>	1) Kontrolle  2) Kontrolle + 3000 ppm ZnO  3) Kontrolle + 50 ppm ZnGly  4) Kontrolle + 100 ppm ZnGly	Körpermassenentwicklung	ZnO: + 33,6 %  ZnGly (100 ppm): + 28,27 %  ZnGly (50 ppm): + 17,07 %



Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Ward u.a. (1996)</b>	1) Kontrolle: 160 ppm Zn  2) Kontrolle + 2000 ppm ZnO  3) Kontrolle + 250 ppm ZnMet	Körpermassenentwicklung	ZnMet: + 4,67 %  ZnO: + 4,12 %
<b>Lee u.a. (2001)</b>	1) 120 ppm ZnSO <sub>4</sub>  2) 60 ppm ZnAS  3) 120 ppm ZnAS	Körpermassenentwicklung	ZnAS (120 ppm): + 4,89 % <sup>1</sup>  ZnAS (60 ppm): - 0,35 % <sup>1</sup>
<b>Wu u.a. (2001)</b>	1) Kontrolle: 165 ppm Zn  2) Kontrolle + 2000 ppm ZnO  3) Kontrolle + 200 ppm ZnProt  4) Kontrolle + 400 ppm ZnProt	Körpermassenentwicklung	ZnO: + 4,97 %  ZnProt (400 ppm): - 4,44 %  ZnProt (200 ppm): - 7,99 %
<b>Rupić u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 38,17 ppm Zn  2) Kontrolle + 84,32 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 43,31 ppm ZnMet	Körpermassenentwicklung	ZnMet: + 16,65 %  ZnSO <sub>4</sub> : + 14,82 %
<b>Hollis u.a. (2005)</b>	1) Kontrolle: 123,5 ppm Zn  2) 2500 ppm ZnO  3) 125 ppm ZnMet  4) 250 ppm ZnMet  5) 500 ppm ZnMet	Körpermassenentwicklung	ZnO: + 11,86 %  ZnMet (500 ppm): + 6,74 %  ZnMet (125 ppm): + 5,39 %  ZnMet (250 ppm): + 4,85 %

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Cheng u.a. (1998)</b>	1) Kontrolle: 32 ppm Zn  2) Kontrolle + 100 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 100 ppm ZnLys	Körpermassenentwicklung	ZnLys: + 4,78 %  ZnSO <sub>4</sub> : + 2,79 %
<b>Case &amp; Carlson (2002)</b>	1) 500 ppm ZnO 2) 500 ppm ZnAS 3) 500 ppm ZnPoly	Körpermassenentwicklung	ZnPoly: + 15,79 % <sup>1</sup>  ZnAS: - 2,63 % <sup>1</sup>
<b>Buff u.a. (2005)</b>	1) Kontrolle: 100 ppm Zn  2) Kontrolle + 150 ppm ZnPoly  3) Kontrolle + 300 ppm ZnPoly  4) Kontrolle + 450 ppm ZnPoly  5) Kontrolle + 2000 ppm ZnO	Körpermassenentwicklung	ZnO: + 9,31 %  ZnPoly (450 ppm): + 3,88 %  ZnPoly (300 ppm): + 3,65 %  ZnPoly (150 ppm): - 1,37 %
<b>Hahn &amp; Baker (1993)</b>	1) Kontrolle: 125 ppm Zn  2) 3000 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) 3000 ppm ZnMet	Körpermassenentwicklung	ZnMet: - 1,8 %  ZnSO <sub>4</sub> : - 6,97 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Carlson u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 165 ppm Zn 2) Kontrolle + 2000 ppm ZnO 3) Kontrolle + 50 ppm ZnProt 4) Kontrolle + 100 ppm ZnProt 5) Kontrolle + 200 ppm ZnProt 6) Kontrolle + 400 ppm ZnProt 7) Kontrolle + 800 ppm ZnProt	Körpermassenentwicklung	ZnO: + 8,62 %  ZnProt (100 ppm): + 6,03 %  ZnProt (50 ppm): + 1,72 %  ZnProt (400 ppm): 0 %  ZnProt (800 ppm): - 6 %  ZnProt (200 ppm): - 8,33 %
<b>Payne u.a. (2006)</b>	1) Kontrolle: 100 ppm Zn	Anzahl Nachkommen	ZnAS: + 31,11 % ZnSO <sub>4</sub> : + 10 %
	2) Kontrolle + 100 ppm ZnSO <sub>4</sub> 3) Kontrolle + 100 ppm ZnAS	Durchschnittsgewicht Nachkommen	ZnSO <sub>4</sub> : - 11,25 % ZnAS: - 11,89 %
<b>Acda u.a. (2002)</b>	1) 90 ppm ZnSO <sub>4</sub> 2) 45 ppm ZnProt 3) 90 ppm ZnProt	Anzahl Nachkommen	ZnProt (90 ppm): + 9,37 % <sup>1</sup>  ZnProt (45 ppm): - 6,28 % <sup>1</sup>
	Anzahl lebender Nachkommen	ZnProt (90 ppm): + 16,3 % <sup>1</sup>  ZnProt (45 ppm): - 3,3 % <sup>1</sup>	

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Crech u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 150 ppm Zn  2) Kontrolle + 25 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 25 ppm ZnProt	Körpermassenentwicklung	ZnProt: - 1,79 %  ZnSO <sub>4</sub> : - 2,02 %

Wang u.a. (2009) konnten zeigen, dass die tägliche Gewichtszunahme durch Fütterung mit 100 ppm Zink in Form von Zinkglycinat erhöht werden konnte ( $p < 0.05$ ). In einer weiteren Studie konnte durch Supplementation von Ferkeln mit einer Zinkquelle (jeweils 20 ppm organisch als Methioninverbindung bzw. anorganisch als Sulfat) die durchschnittliche tägliche Nahrungsaufnahme sowie das finale Körpergewicht bei der Schlachtung nach 26 Tagen Tierversuch gesteigert werden. Die Fütterung mit Zink konnte neben der absoluten Nahrungsaufnahme und Gewichtszunahme auch das Verhältnis von Futteraufnahme zu Gewichtszunahme verbessern. Demzufolge leistet Zink einen wichtigen Beitrag dazu, aufgenommene Nahrung effizient in Körpermasse umzuwandeln, wobei kein Unterschied zwischen der mineralischen und organischen Zinkquelle festgestellt werden konnte (Revy u. a., 2004). Auch Studien von Hahn und Baker (1993) konnten belegen, dass gleichwertige Wachstumssteigerungen durch hohe Zinkoxid-Gehalte, ebenso durch wesentlich niedrigere Gehalte an organischem Zink erzielt werden konnten. Es wurde außerdem gezeigt, dass statt den in der Schweinemast üblicherweise hohen eingesetzten Mengen Zinkoxid (3.000 ppm Zn) auch geringere Mengen organisch gebundenen Zinks im Vergleich zu einer Basisdiät den gleichen Effekt auf die Steigerung des Ferkelgewichts hatten. Nach einer Studiendauer von 28 Tagen hatten jene Ferkel, die mit Zink-Polysacchariden (500 ppm Zn) beziehungsweise Zinkoxid (3.000 ppm) gefüttert worden waren, im Durchschnitt um 2,7 kg mehr zugenommen als jene Vergleichstiere, denen Basisdiät (150 ppm Zn) oder 500 ppm Zink als Zinkoxid verabreicht worden waren. Es ist daher deutlich ersichtlich, dass eine Verabreichung von 500 ppm Zink als Zink-Polysaccharide wesentlich effizienter verstoffwechselt wird als eine vergleichbare Dosis ZnO, von dem üblicherweise etwa die sechsfache Menge zur Ferkelmast eingesetzt wird (Case & Carlson, 2002). Ebenso wurde bei Ferkeln nach einer Gabe von 250 ppm Zink-Methionin Wachstumssteigerungen erzielt, wie nach dem Einsatz von 2000 ppm Zn-Oxid (Ward u.a., 1996). Auch Rupić u.a. (2004) beobachteten eine deutlichere

Körpermassenzunahme bei Schweinen, die mit durchschnittlich 43 ppm Zinkmethionin gefüttert wurden, als Schweine, die mit durchschnittlich 84 ppm Zinksulfat gefüttert wurden. Diese Beispiele sollen zeigen, dass die betrachteten Studien keinesfalls eindeutige Rückschlüsse zur Bioverfügbarkeit von organischen Spurenelementen zulassen. In einer Studie mit Ferkeln, die die ersten sieben Tage nach dem Absetzen mit einer Kontrolldiät und danach entweder mit einer Zn-Sulfat oder Zn-Lysin angereicherten Diät (jeweils 100ppm Zn) gefüttert wurden, zeigte sich kein signifikanter Unterschied in der Nahrungsaufnahme oder Gewichtszunahme der beiden Gruppen (Cheng u.a., 1998). Das Futter beider Gruppen hatte denselben Lysingehalt und die Zinkaufnahme aus der Nahrung war in beiden Gruppen gleich. Paulicks u.a. (2011) verglichen die Auswirkungen von Zinkglycin und Zinksulfat (jeweils Gruppen zu 15 ppm, 30 ppm oder 50 ppm) auf 96 Ferkel. Hierbei konnte gezeigt werden, dass sich die Zinkform nicht auf die Gewichtsentwicklung auswirkte. Auch Rincker u.a. (2005) untersuchten unter anderem die Körpermassenentwicklung verschiedener Zinkquellen. Sowohl 2000 ppm Zinkmethionin als auch 2000 ppm Zinkoxid führten zu keinem Unterschied der Gewichtszunahme der untersuchten Schweine. Ähnliche Ergebnisse erzielten Revy u.a. (2002) die unterschiedliche Zinkquellen verglichen (10 ppm, 20 ppm und 30 ppm in Form von Zinkmethionin und Zinksulfat) und keine unterschiedliche Körpermassenentwicklung feststellen konnten. In einer Untersuchung von Lee u.a. (2001) wurden Zink-Aminosäurechelate in einer niedrigen Dosierung (60 ppm) an Absetzer gefüttert. Im Vergleich zur anorganischen Gruppe konnten keine signifikanten Unterschiede bei der Gewichtszunahme gemessen werden. In einer Studie von Wu u.a. (2001) konnten sogar erhöhte Werte für die Futterraufnahme und Körpermassenzunahme bei einer Kontrollgruppe mit Zinkoxid im Vergleich zu Zinkproteinat festgestellt werden. In Untersuchungen von Hollis u.a. (2005) wurden hohe Konzentrationen von Zinkoxid mit niedrigeren Gehalten an Zinkmethionin verglichen. Schweine, die mit 2500 ppm Zinkoxid gefüttert wurden, wuchsen schneller und hatten eine bessere Futtermittelverwertung als Schweine mit 125 ppm, 250 ppm oder 500 ppm Zinkmethionin. In einer Studie von Carlson u.a. (2004) wurde Zink als Zink-Polysaccharid (125 ppm, 250 ppm, 375 ppm oder 500 ppm) oder Zinkoxid (2000 ppm) an 306 Ferkeln über 42 Tage untersucht. Hierbei konnte gezeigt werden, dass die Gewichtszunahme durch den hohen Zinkoxidgehalt stärker gesteigert werden konnte als durch alle organischen Zinkkonzentrationen. In einem zweiten Experiment von Carlson u.a. (2004) wurden 98 Ferkel 28 Tage lang Zinkproteinat (50 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 400 ppm oder 800 ppm) oder Zinkoxid (2000 ppm) zugefüttert. Wie bereits im ersten Versuch lagen die stärksten Gewichtszunahmen bei einer Fütterung mit hohen Zulagen von Zinkoxid. Buff u.a. (2005) untersuchten 50 Ferkel über 35 Tage, wobei hier zu Beginn für 14 Tage eine Basaldiät gefüttert wurde. Ab dem 14. Tag erfolgte eine mit 2000 ppm Zinkoxid bzw. 150 ppm, 300 ppm

und 450 ppm Zink-Polysacchariden. Die Gewichtszunahme der Ferkel mit 300 ppm bzw. 450 ppm Zink-PS entsprach hierbei der Gewichtsentwicklung der Ferkel mit 2000 ppm ZinkO.

Payne u.a. (2006) konnten bei trächtigen Sauen durch Zufütterung mit 100 ppm Zink als Aminosäurechelate die Ferkelgeburtenszahlen deutlich erhöhen. In einer Studie zum Einfluss verschiedener Spurenelementsupplemente auf die Fortpflanzung fanden Acda und Chae heraus, dass weder das durchschnittliche Geburtsgewicht noch die Gesamtgeburtenszahl oder die Anzahl der Lebendgeburten und Absetzer von Darbietungsform (Metalloproteinate oder anorganisch) oder Dosis (niedrig oder hoch) signifikant beeinflusst wurden (Acda u.a., 2002). Die Tiere wurden in dieser Studie in vier Gruppen eingeteilt, die entweder niedrig dosiertes Fe (50ppm), Cu (17,5ppm), Zn (45ppm) und Mn (20ppm) in anorganischer oder Metalloproteinatform erhielten oder dieselben Spurenelemente jeweils anorganisch oder als Metalloproteinate in hoher Dosierung (100 ppm Fe, 35 ppm Cu, 90 ppm Zn und 40 ppm Mn). Die Wachstumsrate der Ferkel in der niedrig-dosierten organischen Gruppe war dieselbe wie in der anorganisch hochdosierten Gruppe und insgesamt verwerteten Ferkel in den organischen Gruppen ihr Futter besser.

## Immunität

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Zinkverbindungen bei Schweinen auf die Immunität ist in Tabelle 21 dargestellt.

Durch organisches Zink wurde die Aktivität der alkalischen Phosphatase in fünf Studien nicht beeinflusst (zwei Studien zu Zinkglycin und jeweils eine Studie zu Zinkmethionin, Zinkpolysacchariden und Zink-Aminosäure-Komplexe), während sie in einer Studie zu Zinkmethionin geringer beeinflusst wurde als durch Zinksulfat. Weiter konnte in einer Studie durch Zinkmethionin der Gehalt an Immunglobulinen im Serum im Vergleich zu Zinksulfat gesteigert werden.

**Tabelle 21: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Zinkverbindungen auf die Immunität bei Schweinen**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Revy u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 32 ppm Zn  2) Kontrolle + 20 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 20 ppm ZnMet	Aktivität alkalische Phosphatase	ZnSO <sub>4</sub> : + 117,46 %  ZnMet: + 104,28 %
<b>Revy u.a. (2002)</b>	1) Kontrolle: 28 ppm Zn  2) Kontrolle + 10 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 20 ppm ZnSO <sub>4</sub>  4) Kontrolle + 30 ppm ZnSO <sub>4</sub>  5) Kontrolle + 10 ppm ZnMet  6) Kontrolle + 20 ppm ZnMet  7) Kontrolle + 30 ppm ZnMet	Aktivität alkalische Phosphatase	ZnMet (30 ppm): + 354,05 %  ZnSO <sub>4</sub> (20 ppm): + 343,24 %  ZnSO <sub>4</sub> (30 ppm): + 324,32 %  ZnMet (20 ppm): + 256,76 %  ZnMet (10 ppm): + 156,76 %  ZnSO <sub>4</sub> (10 ppm): + 148,65 %

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Paulicks u.a. (2011)</b>	1) Kontrolle: 42 ppm Zn  2) Kontrolle + 15 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 30 ppm ZnSO <sub>4</sub>  4) Kontrolle + 50 ppm ZnSO <sub>4</sub>  5) Kontrolle + 15 ppm ZnGly  6) Kontrolle + 30 ppm ZnGly  7) Kontrolle + 50 ppm ZnGly  8) Kontrolle + 15 ppm ZnAS  9) Kontrolle + 30 ppm ZnAS  10) Kontrolle + 50 ppm ZnAS	Aktivität alkalische Phosphatase	ZnAS (50 ppm): + 164,74 %  ZnGly (50 ppm): + 163,01 %  ZnSO <sub>4</sub> (30 ppm): + 156,07 %  ZnSO <sub>4</sub> (50 ppm): + 154,91 %  ZnGly (30 ppm): + 152,02 %  ZnAS (30 ppm): + 149,71 %  ZnAS (15 ppm): + 82,24 %  ZnGly (15 ppm): + 77,46 %  ZnSO <sub>4</sub> (15 ppm): + 50,87 %
<b>Wang u.a. (2011)</b>	1) Kontrolle  2) Kontrolle + 1200 ppm ZnMet	IgG-Konzentration Serum	ZnMet: + 15,12 %
<b>Creech u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 150 ppm Zn  2) 25 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) 25 ppm ZnProt	Aktivität alkalische Phosphatase	ZnSO <sub>4</sub> : - 27,23 %  ZnProt: - 28,32 %



In einer Studie von Wang u.a. (2011) konnte bei Absetzferkeln durch Zinkmethioninzugabe von 1200 ppm über vier Wochen die Immunfunktion und die Aktivität von Antioxidationsenzymen deutlich gesteigert werden. Der p-Wert war  $p < 0,05$  für beide Vergleiche. Paulicks u.a. (2011) verglichen die Auswirkungen von Zinkglycin und Zinksulfat (jeweils Gruppen zu 15 ppm, 30 ppm oder 50 ppm) auf 96 Ferkel. Hierbei konnte gezeigt werden, dass sich die Zinkform nicht auf die Aktivität der alkalischen Phosphatase auswirkte, wobei die Aktivität dosisabhängig zwischen der Konzentration 15 ppm zu 30 ppm anstieg, jedoch auf dem Plateauwert durch 50 ppm Zn nicht weiter gesteigert werden konnte. Ähnliche Ergebnisse erzielten Revy u.a. (2002), die unterschiedliche Zinkquellen verglichen (10 ppm, 20 ppm und 30 ppm in Form von Zinkmethionin und Zinksulfat). Hierbei konnte die Aktivität der alkalischen Phosphatase linear mit der zugesetzten Zinkkonzentration gesteigert werden, jedoch kein Unterschied zwischen den unterschiedlichen Zinkformen festgestellt werden. In einer späteren Studie von Revy u.a. (2004) verglichen die Autoren ebenfalls Zinkmethionin mit Zinksulfat (jeweils 20 ppm). Die Zugabe von Zinksulfat konnte hierbei die Aktivität der alkalischen Phosphatase geringfügig stärker steigern als Zinkmethionin. Wang u.a. (2009) verglichen Zinkglycin (50 ppm oder 100 ppm) mit 3000 ppm Zinkoxid. Hierfür wurden 120 Schweine über 35 Tage untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass alkalische Phosphatase hierbei nicht durch die Zinkform beeinflusst wurde.

### **Sonderleistungen**

Eine Übersicht der Sonderleistungen von unterschiedlichen Zinkverbindungen bei Schweinen ist in Tabelle 22 dargestellt.

In acht Studien zum Zink-Gehalt im Kot konnte eine Reduktion durch organische Zinkverbindungen festgestellt werden (drei Studien zu Zink-Proteinat, jeweils zwei Studien zu Zink-Polysacchariden und Zinkglycin und eine Studie zu Zink-Aminosäure-Komplexen). In zwei Studien zu Zinkmethionin lag hingegen kein Unterschied in der faecalen Zinkkonzentration vor (Zink-Polysacchariden und Zinkmethionin) und eine Studie konnte sogar eine Steigerung des Zinkgehalts im Kot durch organisches Zink feststellen (Zinkmethionin). In Bezug auf die renale Zinkausscheidung wurde in zwei Studien, verglichen mit einer anorganischen Supplementierung, ein geringerer Zinkgehalt festgestellt (Zink-Polysaccharide und Zinkmethionin). In einer weiteren Studie konnte durch Zinkmethionin eine höhere Zinkexkretion über den Harn festgestellt werden und in zwei Studien zu Methionin und Polysacchariden lag kein Unterschied zur mineralischen Zinkform vor.

**Tabelle 22: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Zinkverbindungen auf Schweine**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Carlson u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 165 ppm Zn 2) Kontrolle + 2000 ppm ZnO 3) Kontrolle + 125 ppm ZnPoly 4) Kontrolle + 250 ppm ZnPoly 5) Kontrolle + 375 ppm ZnProt 6) Kontrolle + 500 ppm ZnProt	faecale Zinkausscheidung	ZnPoly (375 ppm): + 2,48 %  ZnPoly (250 ppm): + 2,35 %  ZnPoly (500 ppm): + 1,31 %  ZnPoly (125 ppm): - 0,26 %  ZnO: - 2,87 %
<b>Carlson u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 165 ppm Zn 2) Kontrolle + 2000 ppm ZnO 3) Kontrolle + 200 ppm ZnProt 4) Kontrolle + 400 ppm ZnProt	faecale Zinkausscheidung	ZnO: + 981,54 %  ZnProt (400 ppm): + 123,59 %  ZnProt (200 ppm): + 50,77 %
<b>Case &amp; Carlson (2002)</b>	1) 500 ppm ZnO 2) 500 ppm ZnAS 3) 500 ppm ZnPoly	faecale Zinkausscheidung	ZnPoly: - 5,4 % <sup>1</sup>  ZnAS: - 16,39 % <sup>1</sup>
		renale Zinkausscheidung	ZnAS: + 14,52 % <sup>1</sup>  ZnPoly: + 9,68 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Buff u.a. (2005)</b>	1) Kontrolle: 100 ppm Zn 2) Kontrolle + 150 ppm ZnPoly 3) Kontrolle + 300 ppm ZnPoly 4) Kontrolle + 450 ppm ZnPoly	faecale Zinkausscheidung	ZnO: + 1046,75 %  ZnPoly (450 ppm): + 265,95 %  ZnPoly (300 ppm): + 171,48 %  ZnPoly (150 ppm): + 72,86 %
	5) Kontrolle + 2000 ppm ZnO	renale Zinkausscheidung	ZnO: + 1020,83 %  ZnPoly (450 ppm): + 400 %  ZnPoly (300 ppm): + 177,08 %  ZnPoly (150 ppm): + 100 %
<b>Wang u.a. (2009)</b>	1) Kontrolle 2) Kontrolle + 3000 ppm ZnO  3) Kontrolle + 50 ppm ZnGly  4) Kontrolle + 100 ppm ZnGly	faecale Zinkausscheidung	ZnO: + 3830,38 %  ZnGly (100 ppm): + 13,08 %  ZnGly (50 ppm): + 8,91 %
<b>Lee u.a. (2001)</b>	1) 120 ppm ZnSO <sub>4</sub> 2) 60 ppm ZnAS 3) 120 ppm ZnAS	faecale Zinkausscheidung	ZnAS (120 ppm): - 20,26 % <sup>1</sup>  ZnAS (60 ppm): - 48,87 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Rincker u.a. (2005)</b>	1) Kontrolle	faecale Zinkausscheidung	ZnO: + 5,89 %
	2) Kontrolle + 2000 ppm ZnO		ZnMet: - 25,95 %
	3) Kontrolle + 2000 ppm ZnMet	renale Zinkausscheidung	ZnO: + 12,5 % ZnMet: - 4,89 %
<b>Revy u.a. (2002)</b>	1) Kontrolle: 28 ppm Zn	faecale Zinkausscheidung	ZnMet (30 ppm): + 80,24 %
	2) Kontrolle + 10 ppm ZnSO <sub>4</sub>		ZnSO <sub>4</sub> (30 ppm): + 79,04 %
	3) Kontrolle + 20 ppm ZnSO <sub>4</sub>		ZnSO <sub>4</sub> (20 ppm): + 56,89 %
	4) Kontrolle + 30 ppm ZnSO <sub>4</sub>		ZnMet (20 ppm): + 47,9 %
	5) Kontrolle + 10 ppm ZnMet		ZnSO <sub>4</sub> (10 ppm): + 29,94 %
	6) Kontrolle + 20 ppm ZnMet		ZnMet (10 ppm): + 22,16 %
	7) Kontrolle + 30 ppm ZnMet		renale Zinkausscheidung

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Wang u.a. (2010)</b>	1) Kontrolle: 29,84 ppm Zn  2) Kontrolle + 3000 ppm ZnO  3) Kontrolle + 50 ppm ZnGly  4) Kontrolle + 100 ppm ZnGly	faecale Zinkausscheidung	ZnO: + 3830,38 %  ZnGly (100 ppm): + 13,08 %  ZnGly (50 ppm): + 8,91 %
<b>Zacharias u.a. (2007)</b>	1) 125 ppm ZnSO <sub>4</sub>  2) 125 ppm ZnProt	faecale Zinkausscheidung	ZnProt: - 9,84 % <sup>1</sup>
<b>Creech u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 150 ppm Zn  2) 25 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) 25 ppm ZnProt	faecale Zinkausscheidung	ZnSO <sub>4</sub> : - 5,16 %  ZnProt: - 62,13 %

Die Zink-Verdauung bei einer Zufütterung mit Zink-Proteinat war im Vergleich zu Zinksulfat mit 0,26 g/g höher (Zinksulfat: 0,16 g/g) und der Zinkgehalt im Faeces mit 193,4 mg/Tag niedriger (Zinksulfat: 214,5 mg/Tag) (Zacharias u.a., 2007). Der positive Effekt von Zink-Proteinat konnte jedoch lediglich bei einer Supplementierung mit 70 ppm beobachtet werden. Bei einer Zufütterung mit 30 ppm konnte kein Unterschied zwischen organischer und anorganischer Zinkquelle festgestellt werden. In einer Untersuchung von Creech u.a. (2004) wurden 216 Ferkel entweder mit einem reduzierten Sulfatfutter gefüttert (8 ppm Cu, 91 ppm Zn, 257 ppm Fe) oder mit einem reduzierten Proteinatfutter (12 ppm Cu, 91 ppm Zn, 351 ppm Fe), wobei 50 % der Spurenelemente im Proteinatfutter in Sulfatform vorlagen. Die faecale Konzentration von Kupfer und Zink aus der Proteinatgruppe war im Vergleich zur Sulfatgruppe niedriger ( $p < 0.05$ ). Carlson u.a. (2004) verglichen in einem ersten Experiment Zinkpolysaccharide (125 ppm, 250 ppm, 375 ppm oder 500 ppm) mit Zinkoxid (2000 ppm), in einem zweiten Experiment Zinkproteinate (50 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 400 ppm oder 800 ppm) mit Zinkoxid (2000 ppm) und im dritten Experiment Zinkproteinat (200 ppm oder 400 ppm) mit Zinkoxid (2000 ppm).

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Hierbei konnten im ersten und dritten Experiment höhere Zinkgehalte im Faeces der anorganischen Zinkverbindung gemessen wurden. Case u.a. berichteten, dass die Wahl und Dosis der Zinksupplementation die Fäkalienexkretion unbeeinflusst ließ, das ausgeschiedene Urinvolumen jedoch beim Einsatz hoher Konzentrationen anorganischen Zinks (3000 ppm als ZnO) stark anstieg. Die Zinkkonzentration, die mit Urin und Fäkalien ausgeschieden wird, war ebenso bei dieser Fütterungsgruppe am höchsten (etwa vierfach erhöht), die anderen Fütterungsgruppen (500 ppm als ZnO bzw. Zink-Polysaccharide oder Basisdiät) zeigten ähnliche Zinkkonzentrationen in ihren Ausscheidungen (Case & Carlson, 2002). Buff u.a. (2005) berichteten sogar von einem Rückgang der Zinkausscheidung um 76 % bei Fütterung von Zinkpolysaccharidkomplexen (300 ppm) verglichen mit Zinkoxid (2000 ppm). Wang u.a. (2010) konnten bei Absetzern den Zinkgehalt im Kot durch eine Zulage von 50 ppm oder 100 ppm Zinkglycin im Vergleich zu einer hochdosierten (3000 ppm) anorganischen Gruppe deutlich senken. In einer weiteren Studie konnte durch den Einsatz von Zink-Aminosäurechelaten in niedriger Konzentration (60 ppm) die Zinkkonzentration im Faeces reduziert werden (Lee u.a., 2001). Wang u.a. (2009) verglichen Zinkglycin (50 ppm oder 100 ppm) mit 3000 ppm Zinkoxid. Hierfür wurden 120 Schweine über 35 Tage untersucht und der Zinkgehalt im Faeces analysiert. Es konnte gezeigt werden, dass 3000 ppm ZnO den Zinkgehalt im Kot im Vergleich zu 100 ppm Zn-Gly wesentlich erhöhte. Revy u.a. (2002) verglichen 10 ppm, 20 ppm und 30 ppm Zink in Form von Zinkmethionin und Zinksulfat. Hierbei zeigte sich, dass die faecale und renale Exkretion linear mit der supplementierten Menge an Zink anstieg, wobei der Gehalt des ausgeschiedenen Zinks (faecal oder renal) nicht durch die zugefütterte Zinkquelle beeinflusst wurde. Auch Rincker u.a. (2005) untersuchten unter anderem die Zinkausscheidung bei Zufütterung mit verschiedenen Zinkquellen (je 2000 ppm ZnO und Zn-Met.). Hierbei konnte gezeigt werden, dass bei einer Supplementierung mit 2000 ppm Zinkmethionin eine höhere renale und faecale Zinkexkretion erreicht wurde als durch dieselbe Menge an Zinkoxid.

### 11.1.3 Geflügel

#### Resorption

Eine Übersicht der Resorbierbarkeit von unterschiedlichen Zinkverbindungen bei Geflügel ist in Tabelle 23 dargestellt.

Der Zink-Gehalt in der Leber konnte in drei Studien durch organische Zinkverbindungen (zwei Studien zu Zink-Aminosäure-Komplex und eine Studie zu Zinkmethionin) gesteigert werden, während in zwei weiteren Studien (Zinkmethionin) keine höhere Einlagerung im Vergleich zur anorganischen Zinkform gemessen werden konnte.

Der Zinkgehalt in Milz und Pankreas wurde jeweils in einer Studie untersucht. Für jedes Organ lag die Zinkeinlagerung durch organische Supplementierung höher als durch eine anorganische Zufütterung (Milz: Zn-AS; Pankreas: Zn-Met).

Der Gehalt von Zink in der Tibia konnte in fünf Studien durch eine organische Zinkverbindung gesteigert werden (zwei Studien zu Zinkproteinat und jeweils eine zu Zinkmethionin, Zinklysin und Zink-Aminosäure-Komplexen), wohingegen in drei weiteren Studien der Zinkgehalt in der Tibia unbeeinflusst blieb (zwei Studien zu Zinkmethionin und eine Studie zu Zinkproteinat).

Die Anreicherung von Zink in Blutserum und –plasma konnte in jeweils einer Studie durch organische Quellen stärker erhöht werden als durch anorganische (Serum: Zink-Aminosäure-Komplex, Plasma: Zinkmethionin).

**Tabelle 23: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Zinkverbindungen bei Geflügel**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Cao u.a. (2000)</b>	1) Kontrolle	Zinkgehalt Tibia	ZnSO <sub>4</sub> (600 ppm): + 32,18 %  ZnAS (400 ppm): + 19,06 %  ZnSO <sub>4</sub> (400 ppm): + 18,81 %  ZnSO <sub>4</sub> (200 ppm): + 12,62 %  ZnAS (200 ppm): + 11,88 %
	2) 200 ppm ZnSO <sub>4</sub>		
	3) 400 ppm ZnSO <sub>4</sub>		
	4) 600 ppm ZnSO <sub>4</sub>		
	5) 200 ppm ZnAS		
	6) 400 ppm ZnAS		
<b>Cheng u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 29-35 ppm Zn	Zinkgehalt Milz	ZnAS: + 14,14 % ZnSO <sub>4</sub> : + 7,13 %
	2) Kontrolle + 60 ppm ZnSO <sub>4</sub>	Zinkgehalt Leber	ZnAS: + 11,26 % ZnSO <sub>4</sub> : + 7,98 %
	3) Kontrolle + 60 ppm ZnAS	Zinkgehalt Serum	ZnAS: - 13,45 % ZnSO <sub>4</sub> : - 14,29 %
<b>Mohanna u.a. (1999)</b>	1) Kontrolle: 20 ppm Zn	Zinkgehalt Tibia	ZnSO <sub>4</sub> (40 ppm): + 220 %  ZnMet (40 ppm): + 217,78 %  ZnSO <sub>4</sub> (25 ppm): + 184,44 %  ZnMet (25 ppm): + 151,11 %  ZnSO <sub>4</sub> (10 ppm): + 37,78 %  ZnMet (10 ppm): + 35,56 %
	2) Kontrolle + 10 ppm ZnSO <sub>4</sub>		
	3) Kontrolle + 25 ppm ZnSO <sub>4</sub>		
	4) Kontrolle + 40 ppm ZnSO <sub>4</sub>		
	5) Kontrolle + 10 ppm ZnMet		
	6) Kontrolle + 25 ppm ZnMet		



Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
	7) Kontrolle + 40 ppm ZnMet	Zinkgehalt Plasma	ZnSO <sub>4</sub> (40 ppm): + 192,65 % ZnMet (40 ppm): + 182,35 % ZnSO <sub>4</sub> (25 ppm): + 180,88 % ZnMet (25 ppm): + 152,94 % ZnSO <sub>4</sub> (10 ppm): + 63,24 % ZnMet (10 ppm): + 26,47 %
<b>Bao u.a. (2010)</b>	1) Kontrolle: 19,1-20,6 ppm Zn 2) Kontrolle + 30 ppm ZnSO <sub>4</sub> 3) Kontrolle + 30 ppm ZnProt	Zinkgehalt Tibia	ZnSO <sub>4</sub> : + 35,78 % ZnProt: + 34,87 %
<b>El-Husseiny u. a. (2012)</b>	1) 100 ppm ZnO	Zinkgehalt Tibia	ZnProt: + 7,19 % <sup>1</sup>
	2) 100 ppm ZnProt	Zinkgehalt Leber	ZnProt: - 26,73 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Pimentel u.a. (1991)</b>	1) 8 ppm ZnO 2) 18 ppm ZnO 3) 28 ppm ZnO 4) 38 ppm ZnO 5) 48 ppm ZnO 6) 58 ppm ZnO 7) 8 ppm ZnMet 8) 18 ppm ZnMet 9) 28 ppm ZnMet	Zinkgehalt Tibia	ZnMet (8 ppm): 0 % <sup>1</sup>  ZnMet (18 ppm): + 9,24 % <sup>1</sup>  ZnMet (28 ppm): + 9,09 % <sup>1</sup>  ZnMet (38 ppm): + 2,56 % <sup>1</sup>  ZnMet (48 ppm): 0 % <sup>1</sup>  ZnMet (58 ppm): - 14,18 % <sup>1</sup>
	10) 38 ppm ZnMet 11) 48 ppm ZnMet 12) 58 ppm ZnMet	Zinkgehalt Leber	ZnMet (8 ppm): 0 % <sup>1</sup>  ZnMet (18 ppm): - 8,02 % <sup>1</sup>  ZnMet (28 ppm): - 18,45 % <sup>1</sup>  ZnMet (38 ppm): - 2,21 % <sup>1</sup>  ZnMet (48 ppm): + 1,22 % <sup>1</sup>  ZnMet (58 ppm): + 14,31 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
		Zinkgehalt Pankreas	ZnMet (8 ppm): + 4,23 % <sup>1</sup>  ZnMet (18 ppm): + 20,13 % <sup>1</sup>  ZnMet (28 ppm): + 77,32 % <sup>1</sup>  ZnMet (38 ppm): + 16,67 % <sup>1</sup>  ZnMet (48 ppm): + 32,29 % <sup>1</sup>  ZnMet (58 ppm): + 37,99 % <sup>1</sup>
<b>Cao u.a. (2002)</b>	1) Kontrolle: 24 ppm Zn  2) Kontrolle + 30 ppm ZnMet  3) Kontrolle + 60 ppm ZnMet  4) Kontrolle + 30 ppm ZnProt  5) Kontrolle + 60 ppm ZnProt	Zinkgehalt Tibia	ZnProt (60 ppm): + 43,76 %  ZnMet (60 ppm): + 33,61 %  ZnProt (30 ppm): + 30,69 %  ZnMet (30 ppm): + 23,22 %
<b>Wedekind u.a. (1992)</b>	1) Kontrolle: 45 ppm Zn  2) Kontrolle + 7,5 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 15 ppm ZnSO <sub>4</sub>  4) Kontrolle + 7,5 ppm ZnMet	Zinkgehalt Tibia	ZnMet (15 ppm): + 145,54 %  ZnMet (7,5 ppm): + 105,95 %  ZnSO <sub>4</sub> (15 ppm): + 97,62 %  ZnSO <sub>4</sub> (7,5 ppm): + 35,71 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
	5) Kontrolle + 15 ppm ZnMet	Zinkgehalt Plasma	ZnMet (7,5 ppm): + 91,67 %  ZnMet (15 ppm): + 52,78 %  ZnSO <sub>4</sub> (15 ppm): + 41,67 %  ZnSO <sub>4</sub> (7,5 ppm): + 36,11 %
<b>Aoyagi u.a. (1992)</b>	1) Kontrolle: 13 ppm Zn 2) Kontrolle + 4 ppm ZnSO <sub>4</sub> 3) Kontrolle + 8 ppm ZnSO <sub>4</sub> 4) Kontrolle + 2,9 ppm ZnLys 5) Kontrolle + 5,8 ppm ZnLys	Zinkgehalt Tibia	ZnSO <sub>4</sub> (8 ppm): + 60,89 % ZnLys (5,8 ppm): + 48,71 % ZnSO <sub>4</sub> (4 ppm): + 30,63 % ZnLys ( 2,9 ppm): + 21,4 %
<b>Lee u.a. (2001)</b>	1) 80 ppm ZnSO <sub>4</sub> 2) 40 ppm ZnAS	Zinkgehalt Serum	ZnAS: + 48,73 % <sup>1</sup>
<b>Lim u.a. (2003)</b>	1) 100 ppm ZnSO <sub>4</sub> 2) 100 ppm ZnMet	Zinkgehalt Leber	ZnMet: + 5,06 % <sup>1</sup>

In einer Studie von Aoyagi u.a. (1992) wurden weibliche Eintagsküken über sieben Tage mit einer Protein-Maissojabasaldiät (120 ppm Zn) gefüttert. 80 Küken wurden im Anschluss in Fütterungsgruppen (0 ppm; 4 ppm; 8 ppm Zinksulfat bzw. 2,9 ppm oder 5,8 ppm Zinklysin) eingeteilt und nach vierzehn Tagen untersucht. Die Zinkanreicherung in der Tibia nahm linear mit der Konzentration der gefütterten Zinkquelle zu, wobei die Effizienz der organischen

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Zinkquelle in Bezug auf den Zinkgehalt in der Tibia bei 111 % im Vergleich zu Zn-Sulfat lag. Cao u.a. (2000) verglichen Zinksulfat mit Zinkaminosäurechelat in den Konzentrationen 200 ppm und 400 ppm. Hierbei konnte die Zink-Tibiakonzentration durch die organischen Verbindungen gesteigert werden. In einer späteren Untersuchung von Cao u.a. wurden Zinkproteinat mit Zinkmethionin verglichen. Es konnte gezeigt werden, dass die Zinkkonzentration in der Tibia durch eine Supplementation mit Zinkmethionin höher lag als durch eine Zufütterung mit Zinkproteinat in der jeweils selben Konzentration (Cao u. a., 2002). Cheng u.a. (2004) untersuchten bei Legehennen über 55 Wochen die Auswirkungen von Zink-Aminosäurechelaten und Zinksulfat in einer Konzentration von jeweils 60 ppm. Beide Zinkquellen konnten hierbei im Vergleich zur Kontrollgruppe die Zinkkonzentrationen in der Milz und Leber erhöhen, wobei die Erhöhungen durch Zink-Aminosäurechelate deutlicher ausfielen. Demgegenüber konnten Mohanna u.a. (1999) keinen Unterschied zwischen jeweils 10 ppm, 25 ppm oder 40 ppm Zink als Zinksulfat oder Zinkmethionin in der Zinkkonzentration in der Tibia und im Plasma beobachten. In einer Studie von Lim u.a. (2003) wurde festgestellt, dass bei Legehennen der Einsatz von 100 ppm Zinkmethionin zu einer höheren Zinkanreicherung in der Leber führte als 100 ppm Zinksulfat. Bao u.a. (2010) untersuchten über 35 Tage den Einfluss verschiedener Spurenelementquellen an 800 Broilern. Hierbei wurden Kupfer (4 ppm), Zink (30 ppm), Mangan (40 ppm) und Eisen (20 ppm) als Mischung entweder als Sulfate oder Proteinat verfüttert. Nach Ende der Versuchsreihe konnte weder ein Unterschied der Ca-, P-, Cu-, Fe-, noch Zn-Konzentration in der Tibia zwischen den Spurenelementformen festgestellt werden. In einer Studie von Pimentel u.a. (1991) wurden die Auswirkungen von Zinkoxid und Zinkmethionin auf Broiler untersucht. In ihrem Experiment wurden 280 Broiler mit 8 ppm, 18 ppm, 28 ppm, 38 ppm, 48 ppm, oder 58 ppm Zink beider Quellen zugefüttert. Hierbei konnte gezeigt werden, dass durch Zinkmethionin eine höhere Zinkeinlagerung in das Pankreas erzielt werden konnte, als durch Zinkoxid, wohingegen die Zinkquelle keinen Einfluss auf die Zinkkonzentration im Tibiotarsus und auf die Leber-Zinkkonzentration hatte. Wedekind u.a. (1992) untersuchten in unterschiedlichen Experimenten verschiedene Konzentrationen von Zinkmethionin und Zinksulfat. Im ersten Experiment wurden 7,5 ppm und 15 ppm beider Zinkquellen miteinander verglichen. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Anreicherung sowohl im Plasma als auch in der Tibia durch Zinkmethionin höher lag als durch Zinksulfat. Im zweiten Durchlauf wurde Zink in den Konzentrationen 3 ppm, 6 ppm und 9 ppm verglichen und auch hierbei lag die Tibia-Zink-Konzentration höher bei einer Zufütterung mit Zinkmethionin. El-Husseiny u. a. (2012) verglichen den Einsatz einer Mischung aus organischen und anorganischen Spurenelementen an Eintagsküken. Hierfür wurden 100 ppm Zink, 120 ppm Mangan und 16 ppm Kupfer entweder als Zinkoxid, Manganoxid, Kupfersulfat oder Zinkproteinat, Manganmethionin und Kupfermethionin

zugefüttert. Nach der Versuchsdauer von neun Wochen, lag der Tibiagehalt an Zink und Mangan durch organische Zufütterung höher als durch anorganische, während der Kupfergehalt niedriger war. Die Zinkanreicherung in der Leber lag bei allen drei Elementen durch anorganische Fütterung geringgradig höher als durch organische. Lee u.a. (2001) untersuchten den unterschiedlichen Einfluss einer Fütterung mit Kupfer- und Zinksulfaten, Kupfer- und Zink-Aminosäure-Komplexen bzw. Kupferlysin und Zinkmethionin an 144 Eintagsküken. In Bezug auf die Zink-Konzentration im Serum konnten Küken, die mit 60 ppm Kupfer und 40 ppm Zink als Aminosäure-Komplex gefüttert wurden, einen höheren Gehalt erzielen als durch 120 ppm Kupfersulfat und 80 ppm Zinksulfat.

### **Leistung**

Eine Übersicht der Leistungsparameter von unterschiedlichen Zinkverbindungen bei Geflügel ist in Tabelle 24 dargestellt.

Die Körpermassenentwicklung wurde in elf Studien besser durch organische Spurenelemente beeinflusst (vier Studien zu Zink-Aminosäure-Komplexen, drei Studien zu Zinkproteinat, zwei Studien zu Zinkmethionin, jeweils eine Studie zu Zinklysin und Zinkglycin). In vier Studien konnte kein Unterschied zwischen der Zinkquelle festgestellt werden (zwei Studien zu Zinkmethionin und je eine Studie zu Zink-Aminosäure-Komplex und Zinkproteinat).

Die Legeleistung lag in einer Studie durch Zinkmethionin höher und das Eigewicht wurde in einer Studie mit Zink-Aminosäure-Komplexen im Vergleich zur anorganischen Zinkform nicht beeinflusst.

**Tabelle 24: Untersuchung zur Auswirkung verschiedener Zinkverbindungen auf Leistungseigenschaften bei Geflügel**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Saenmahayak u. a. (2010)</b>	1) 80 ppm ZnSO <sub>4</sub> 2) 40 ppm ZnSO <sub>4</sub> + 40 ppm ZnAS	Körpermassenentwicklung	ZnAS: + 3,22 % <sup>1</sup>
<b>Cao u.a. (2000)</b>	1) Kontrolle 2) 200 ppm ZnSO <sub>4</sub> 3) 400 ppm ZnSO <sub>4</sub> 4) 600 ppm ZnSO <sub>4</sub> 5) 200 ppm ZnAS 6) 400 ppm ZnAS	Körpermassenentwicklung	ZnAS (200 ppm): + 15,96 % ZnAS (400 ppm): + 5,32 % ZnSO <sub>4</sub> (200 ppm): - 0,35 % ZnSO <sub>4</sub> (400 ppm): - 8,16 % ZnSO <sub>4</sub> (600 ppm): - 10,99 %
<b>Jahanian u.a. (2008)</b>	1) Kontrolle: 24,2-25,9 ppm Zn 2) Kontrolle + 40 ppm ZnSO <sub>4</sub> 3) Kontrolle + 80 ppm ZnSO <sub>4</sub> 4) Kontrolle + 120 ppm ZnSO <sub>4</sub> 5) Kontrolle + 40 ppm ZnMet 6) Kontrolle + 80 ppm ZnMet 7) Kontrolle + 120 ppm ZnMet	Körpermassenentwicklung	ZnMet (80 ppm): + 5,69 % ZnMet (40 ppm): + 5,43 % ZnMet (120 ppm): + 2,76 % ZnSO <sub>4</sub> (80 ppm): + 0,69 % ZnSO <sub>4</sub> (40 ppm): + 0,48 % ZnSO <sub>4</sub> (120 ppm): - 1,17 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Mohanna u.a. (1999)</b>	8) Kontrolle: 20 ppm Zn  9) Kontrolle + 10 ppm ZnSO <sub>4</sub>  10) Kontrolle + 25 ppm ZnSO <sub>4</sub>  11) Kontrolle + 40 ppm ZnSO <sub>4</sub>  12) Kontrolle + 10 ppm ZnMet  13) Kontrolle + 25 ppm ZnMet  14) Kontrolle + 40 ppm ZnMet	Körpermassenentwicklung	ZnMet (25 ppm): + 40 %  ZnSO <sub>4</sub> (25 ppm): +39,11 %  ZnMet (40 ppm): + 39,11 %  ZnSO <sub>4</sub> (40 ppm): + 36,67 %  ZnMet (10 ppm): + 20 %  ZnSO <sub>4</sub> (10 ppm): + 18 %
<b>Hudson u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 33 ppm Zn  2) Kontrolle + 160 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 160 ppm ZnAS	Körpermassenentwicklung	ZnAS: + 0,75 %  ZnSO <sub>4</sub> : 0 %
<b>Lee u.a. (2001)</b>	1) 80 ppm ZnSO <sub>4</sub>  2) 40 ppm ZnAS	Körpermassenentwicklung	ZnAS: + 9,92 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.



Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Feng u.a. (2009)</b>	1) Kontrolle: 27,8-29,3 ppm Zn  3) Kontrolle + 120 ppm ZnSO <sub>4</sub>  2) Kontrolle + 30 ppm ZnGly  3) Kontrolle + 60 ppm ZnGly  4) Kontrolle + 90 ppm ZnGly  5) Kontrolle + 120 ppm ZnGly	Körpermassenentwicklung	ZnGly (90 ppm): + 18 %  ZnGly (120 ppm): + 14,48 %  ZnGly (60 ppm): + 14,05 %  ZnSO <sub>4</sub> : + 11,96 %  ZnGly (30 ppm): +7,34 %
<b>Nollet u.a. (2007)</b>	1) 37 ppm ZnSO <sub>4</sub>  2) 10 ppm ZnProt	Körpermassenentwicklung	ZnProt: + 0,99 % <sup>1</sup>
<b>Bao u.a. (2010)</b>	1) Kontrolle: 19,1-20,6 ppm Zn  2) Kontrolle + 30 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 30 ppm ZnProt	Körpermassenentwicklung	ZnSO <sub>4</sub> : + 99,8 %  ZnProt: 97,36 %
<b>El-Husseiny u. a. (2012)</b>	1) 100 ppm ZnO  2) 100 ppm ZnProt	Körpermassenentwicklung	ZnProt: + 7,12 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Mabe u.a. (2003)</b>	1) Kontrolle: 32,6 ppm Zn  2) Kontrolle + 30 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 60 ppm ZnSO <sub>4</sub>  4) Kontrolle + 30 ppm ZnAS  5) Kontrolle + 60 ppm ZnAS	Eigewicht	ZnSO <sub>4</sub> (30 ppm): - 4,14 %  ZnSO <sub>4</sub> (60 ppm): - 5 %  ZnAS (60 ppm): - 5,29 %  ZnAS (30 ppm): - 6 %
<b>Aoyagi u.a. (1993)</b>	1) Kontrolle: 13 ppm Zn  2) Kontrolle + 4 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 8 ppm ZnSO <sub>4</sub>  4) Kontrolle + 2,9 ppm ZnLys  5) Kontrolle + 5,8 ppm ZnLys	Körpermassenentwicklung	ZnSO <sub>4</sub> (8 ppm): + 50 %  ZnLys (5,8 ppm): + 44,55 %  ZnSO <sub>4</sub> (4 ppm): + 29,09 %  ZnLys (2,9 ppm): + 21,82 %
<b>Wedekind u.a. (1992)</b>	1) Kontrolle: 45 ppm Zn  2) Kontrolle + 7,5 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 15 ppm ZnSO <sub>4</sub>  4) Kontrolle + 7,5 ppm ZnMet  5) Kontrolle + 15 ppm ZnMet	Körpermassenentwicklung	ZnMet (15 ppm): + 68,43 %  ZnSO <sub>4</sub> (15 ppm): + 61,34 %  ZnMet (7,5 ppm): + 50,39 %  ZnSO <sub>4</sub> (7,5 ppm): + 29,45 %

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Rossi u.a. (2007)</b>	1) Kontrolle: 60 ppm Zn  2) Kontrolle + 15 ppm ZnAS  3) Kontrolle + 30 ppm ZnAS  4) Kontrolle + 45 ppm ZnAS  5) Kontrolle + 60 ppm ZnAS	Körpermassenentwicklung	ZnAS (30 ppm): + 0,71 %  ZnAS (45 ppm): - 1,23 %  ZnAS (15 ppm): - 1,61 %  ZnAS (60 ppm): - 3,74 %
<b>Ao u.a. (2011)</b>	1) Kontrolle: 25 ppm Zn  2) Kontrolle + 40 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 80 ppm ZnSO <sub>4</sub>  4) Kontrolle + 12 ppm ZnProt  5) Kontrolle + 24 ppm ZnProt	Körpermassenentwicklung	ZnProt (12 ppm): - 0,5 %  ZnProt (24 ppm): - 1,55 %  ZnSO <sub>4</sub> (80 ppm): - 2,06 %  ZnSO <sub>4</sub> (40 ppm): - 2,6 %
<b>Lim u.a. (2003)</b>	1) 100 ppm ZnSO <sub>4</sub>  2) 100 ppm ZnMet	Legeleistung	ZnMet: - 4,06 % <sup>1</sup>

In einer Studie von Aoyagi u.a. (1992) wurden weibliche Eintagsküken über sieben Tage mit einer Protein-Maissojabasaldiät (120 ppm Zn) gefüttert. 80 Küken wurde im Anschluss in Fütterungsgruppen (0 ppm; 4 ppm; 8 ppm Zinksulfat bzw. 2,9 ppm oder 5,8 ppm Zinklysin) eingeteilt und nach vierzehn Tagen untersucht. Die Körpermassenentwicklung und Futteraufnahme nahmen linear mit der Konzentration der gefütterten Zinkquelle zu. Hiernach lag die Effizienz der organischen Zinkquelle in Bezug auf die Gewichtszunahme bei 123 % im Vergleich zu Zn-Sulfat (100 %). Cao u.a. (2000) verglichen Zinksulfat mit einem Zinkaminoäurechelate und Zinkproteinat in den Konzentrationen 200 ppm und 400 ppm.

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Hierbei konnte die Körpermassenzunahme durch die organischen Verbindungen gesteigert werden. Im Gegensatz zu Rossi u.a. (2007), die durch organisches Zink (0, 15, 30, 45 oder 60 ppm) keine verbesserte Futterverwertung feststellen konnten, wurde bei Untersuchungen von Jahanian u.a. (2008) durch den Einsatz von Zinkmethionin in einer Konzentration von 40, 80 oder 120 ppm die Körpermassenzunahme gegenüber Zinksulfat in der gleichen Konzentration gesteigert. Saenmahayak u.a. (2010) konnten bei Untersuchungen von 40 ppm Zink-Aminosäure-Komplexen und 40 ppm Zinksulfat eine erhöhte Futterverwertung durch die organische Zinkquelle feststellen. Bao u.a. (2010) untersuchten über 35 Tage den Einfluss verschiedener Spurenelementquellen an 800 Broilern. Hierbei wurden Kupfer (4 ppm), Zink (30 ppm), Mangan (40 ppm) und Eisen (20 ppm) als Mischung entweder als Sulfate oder als Proteinate verfüttert. Während des Versuchs konnte kein Unterschied in der Körpermassenentwicklung zwischen den eingesetzten Spurenelementquellen festgestellt werden. In einer Studie von Pimentel u.a. (1991) wurden die Auswirkungen von Zinkoxid und Zinkmethionin auf Broiler untersucht. In ihrem Experiment wurden 280 Broiler mit 8 ppm, 18 ppm, 28 ppm, 38 ppm, 48 ppm, oder 58 ppm Zink beider Quellen zugefüttert. Hierbei konnte gezeigt werden, dass die Zinkquelle keinen Einfluss auf die Körpermassenentwicklung hatte. Wedekind u.a. (1992) untersuchten in unterschiedlichen Experimenten verschiedene Konzentrationen von Zinkmethionin und Zinksulfat. Im ersten Experiment wurden 7,5 ppm und 15 ppm beider Zinkquellen miteinander verglichen. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Körpermassenzunahme durch Zinkmethionin höher lag als durch Zinksulfat. Im zweiten Durchlauf wurde Zink in den Konzentrationen 3 ppm, 6 ppm und 9 ppm verglichen. Hierbei konnte kein Unterschied zwischen den Zinkquellen festgestellt werden. El-Husseiny u. a. (2012) verglichen den Einsatz einer Mischung aus organischen und anorganischen Spurenelementen an Eintagsküken. Hierfür wurden 100 ppm Zink, 120 ppm Mangan und 16 ppm Kupfer entweder als Zinkoxid, Manganoxid, Kupfersulfat oder Zinkproteinat, Manganmethionin und Kupfermethionin zugefüttert. Über die Versuchsdauer von neun Wochen, konnte die Körpermassenzunahme durch die organischen Spurenelemente merklich gesteigert werden. Lee u.a. (2001) untersuchten den unterschiedlichen Einfluss einer Fütterung mit Kupfer- und Zinksulfaten, Kupfer- und Zink-Aminosäure-Komplexen bzw. Kupferlysin und Zinkmethionin an 144 Eintagsküken. In Bezug auf die Gewichtszunahme konnten Küken, die mit 60 ppm Kupfer und 40 ppm Zink als Aminosäure-Komplex gefüttert wurden, ein höheres Endgewicht erzielen als durch 120 ppm Kupfersulfat und 80 ppm Zinksulfat. Auch Nollet u.a. (2007) konnten durch organische Spurenelemente eine signifikante Steigerung der Futterverwertung bei Mastgeflügel beobachten. In einer weiteren Studie von Feng u.a. (2009) wurden Broiler mit 90 bzw. 120 ppm Zn-Gly oder 120 ppm Zn-Sulfat zur Basisdiät zugefüttert. Hühner, die mit 90 ppm Zn-Gly gefüttert wurden, zeigten

hierbei die höchste Futterraufnahme und Hühner mit 120 ppm Zn-Gly hatten die stärksten Gewichtszunahmen zu verzeichnen. Demgegenüber konnten Mohanna u.a. (1999) keinen Unterschied zwischen jeweils 10, 25 oder 40 ppm Zink als Zinksulfat oder Zinkmethionin in der Futtermittelverwertung beobachten. In diesem Zusammenhang stellen Ao u.a. (2011) fest, dass Geflügel, das im unteren Versorgungsbereich mit organischem Zink (Proteinat) zugefüttert wurde (12 ppm bzw. 24 ppm), besser ein optimales Körperwachstum erzielen kann als durch Zufütterung von hohen, bedarfsüberschreitenden anorganischen Zinkformen. Auch Hudson u.a. (2004) konnten zeigen, dass durch Zink-Aminosäurechelate die Futtermittelverwertung von Mastgeflügel leicht gesteigert werden konnte. In einer weiteren Studie wurde festgestellt, dass hohe Gehalte an Zinklysine (zwischen 137 ppm und 655 ppm) bei Legehennen unter Umständen zu einer negativen Beeinflussung der Eizqualität und Legeleistung führten. Mit steigendem Zinklysinegehalt verschlechterten sich das Eizgewicht und die Legeleistung (Neto u.a., 2011a). In einer 48-wöchigen Studie konnten die besten Ergebnisse in Bezug auf Eizqualität und Eizproduktion mit einer Zinklysine-Zufütterung von 137 ppm beobachtet werden (Neto u.a., 2011b). In einer Studie von Lim u.a. (2003) wurde festgestellt, dass bei Legehennen der Einsatz von 100 ppm Zinkmethionin zu einer niedrigeren Legeleistung führte als beim Einsatz von 100 ppm Zinksulfat. In einer Studie von Mabe u.a. (2003) wurden Legehennen zu einer Basaldiät über fünf Wochen entweder mit 30 ppm Zink, 30 ppm Mangan und 5 ppm Kupfer oder 60 ppm Zink, 60 ppm und 10 ppm Kupfer in Form von Zinksulfat, Manganoxid, Kupfersulfat bzw. deren Aminosäure-Komplexen gefüttert. Der Gehalt an Zink und Mangan im Eizgelb blieb hierbei von der Spurenelementform unbeeinflusst. Legehennen, die mit Aminosäuren-Komplexen gefüttert wurden, hatten jedoch einen (statistisch nicht signifikanten) Anstieg des Kupfergehalts im Eizgelb von 10 %. Das Eizgewicht blieb ebenfalls von der Elementform unbeeinflusst.

## Immunität

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Zinkverbindungen bei Geflügel auf die Immunität ist in Tabelle 25 dargestellt.

Der Einsatz von organischen Zinkquellen konnte in zwei Studien die Sterblichkeit von Geflügel reduzieren (Zinkproteinat), während die Sterblichkeit in einer Studie zu Zink-Aminosäure-Komplexen nicht beeinflusst wurde.

In einer anderen Studie konnten, verglichen mit einer Zinksulfat-Gruppe, im Zuge einer Schutzimpfung gegen ND und IB höhere Antikörpertiter in einer Versuchsgruppe mit Zinkmethionin-Supplementierung gemessen werden. Ähnliche Ergebnisse lieferte eine Studie zu Zinkglycin zum Antikörpertiter gegen Kokzidiose nach einer Schutzimpfung. Auch konnte durch Zinkglycin der Immunglobulingehalt im Serum gesteigert werden.

**Tabelle 25: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Zinkverbindungen auf die Immunität bei Geflügel**

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Moghaddam &amp; Jahanian (2009)</b>	1) Kontrolle: 40 ppm Zn	Gewicht Thymus	ZnMet (30 ppm): + 3,69 %
	2) 30 ppm ZnSO <sub>4</sub> + 10 ppm ZnMet		ZnMet (10 ppm): - 2,76 %
	3) 20 ppm ZnSO <sub>4</sub> + 20 ppm ZnMet		ZnMet (20 ppm): - 5,99 %
	4) 10 ppm ZnSO <sub>4</sub> + 30 ppm ZnMet	Antikörper ND	ZnMet (20 ppm): + 9,07 %  ZnMet (30 ppm): + 6,74 %  ZnMet (10 ppm): + 2,07 %

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
		Antikörper IB	ZnMet (30 ppm): + 10,8 %  ZnMet (20 ppm): + 5,08 %  ZnMet (10 ppm): + 2,54 %
<b>Feng u.a. (2009)</b>	1) Kontrolle: 27,8-29,3 ppm Zn  2) Kontrolle + 120 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 30 ppm ZnGly  4) Kontrolle + 60 ppm ZnGly  5) Kontrolle + 90 ppm ZnGly	Gehalt IgA Serum	ZnGly (120 ppm): + 20,97 %  ZnGly (90 ppm): + 16,13 %  ZnGly (60 ppm): + 14,52 %  ZnSO <sub>4</sub> : + 11,29 %  ZnGly (30 ppm): + 3,23 %
		Gehalt IgG Serum	ZnGly (90 ppm): + 35,71 %  ZnGly (60 ppm): + 33,93 %  ZnGly (120 ppm): + 26,79 %  ZnSO <sub>4</sub> : + 25 %  ZnGly (30 ppm): + 19,64 %

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
		Gehalt IgM Serum	ZnGly (60 ppm): + 46,3 %  ZnGly (90 ppm): + 42,59 %  ZnGly (120 ppm): + 42,59 %  ZnSO <sub>4</sub> : + 40,74 %  ZnGly (30 ppm): + 14,81 %
		Gewicht Thymus	ZnGly (90 ppm): + 27,6 %  ZnGly (120 ppm): + 22,92 %  ZnGly (60 ppm): + 21,87 %  ZnSO <sub>4</sub> : + 20,83 %  ZnGly (30 ppm): + 17,19 %
<b>Hudson u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 33 ppm Zn  2) Kontrolle + 160 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 160 ppm ZnAS	Sterblichkeit	ZnAS: - 50 %  ZnSO <sub>4</sub> : - 100 %
<b>Bao u.a. (2010)</b>	1) Kontrolle: 19,1-20,6 ppm Zn  2) Kontrolle + 30 ppm ZnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 30 ppm ZnProt	Sterblichkeit	ZnProt: - 36 %  ZnSO <sub>4</sub> : - 40 %



Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>EI-Husseiny u. a. (2012)</b>	1) 100 ppm ZnO 2) 100 ppm ZnProt	Sterblichkeit	ZnProt: - 80 % <sup>1</sup>
<b>Ma u.a. (2011)</b>	1) Kontrolle: 27,8-29,3 ppm Zn 2) Kontrolle + 120 ppm ZnSO <sub>4</sub> 3) Kontrolle + 30 ppm ZnGly 4) Kontrolle + 60 ppm ZnGly 5) Kontrolle + 90 ppm ZnGly 6) Kontrolle + 120 ppm ZnGly	Aktivität GSH-Px Serum	ZnGly (120 ppm): + 16,96 %  ZnSO <sub>4</sub> : + 14,57 %  ZnGly (90 ppm): + 11,24 %  ZnGly (60 ppm): + 9,97 %  ZnGly (30 ppm): + 3,87 %
<b>Lim u.a. (2003)</b>	1) 100 ppm ZnSO <sub>4</sub> 2) 100 ppm ZnMet	Gehalt IgG Serum	ZnMet: + 4,94 % <sup>1</sup>

In einer Studie von Barlett und Smith (2003) wird in Bezug auf organische Zinkquellen von einer verbesserten humoralen und zellulären Immunität berichtet. Moghaddam und Jahanian (2009) konnten hierbei in einer 20-tägigen Untersuchung mit Mastgeflügel durch den Ersatz von 75 % des zugesetzten Zinks (40 ppm Zn als Zinkoxid oder Zinksulfat) durch Zinkmethionin eine optimierte Immunantwort beobachten. In einer Studie von Feng u.a. (2009) zeigten Vögel, die mit einem hohen Gehalt an Zinkglycin (120 ppm) gefüttert wurden, eine höhere Konzentration an Immunglobulinen als in den anorganischen Vergleichsgruppen gleicher Zinkkonzentration. Hudson u.a. (2004) wiesen darauf hin, dass organisches Zink die Thymusaktivität besser stimulieren kann, was wiederum zu einer verbesserten T-Lymphozytenreifung und B-Lymphozytenaktivierung durch T-Helferzellen führen kann. Richards u.a. (2006) untersuchten die Antikörperreaktion auf eine Kokzidioseimpfung. Sie

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

berichteten, dass Vögel, die mit einer organischen Kupfer- bzw. Zinkquelle gefüttert wurden, eine stärkere Immunantwort und bessere Eubiose aufwiesen als in den anorganischen Kontrollgruppen. Auch Khajarem u.a. (2002) konnten im Zuge einer Impfung gegen Newcastle disease und Infektiöse bronchitis bei Hühnern, die mit organischem Zink zugefüttert wurden, höhere Antikörpertiter registrieren als bei der anorganischen Kontrollgruppe. Hierbei wurden 580 Eintagsküken mit einem Kontrollfutter (75 ppm ZnO) und einer Futterration bestehend aus 40 ppm Zink-Aminosäure-Komplex und 60 ppm ZnO miteinander verglichen. In einer weiteren Studie konnte durch die Zulage von 90 ppm bzw. 120 ppm Zinkglycin bei Mastgeflügel die Aktivität der GSH-Px im Vergleich zur anorganischen Gruppe deutlich gesteigert werden. Bei einer Supplementation mit 90 ppm Zn-Gly konnte im Vergleich der Zink-Serumspiegel nach 21 Tagen um 17,55 % und nach 42 Tagen um 10,77 % gesteigert werden (Ma u.a., 2011). In einer Studie von Lim u.a. (2003) wurde festgestellt, dass bei Legehennen der Einsatz von 100 ppm Zinkmethionin im Vergleich zu 100 ppm Zinksulfat den IgG-Gehalt im Serum nicht beeinflusste. El-Husseiny u. a. (2012) verglichen den Einsatz einer Mischration aus organischen und anorganischen Spurenelementen an Eintagsküken. Hierfür wurden 100 ppm Zink, 120 ppm Mangan und 16 ppm Kupfer entweder als Zinkoxid, Manganoxid, Kupfersulfat oder Zinkproteinat, Manganmethionin und Kupfermethionin zugefüttert. Über die Versuchsdauer von neun Wochen wurde durch organische Supplementierung die Sterblichkeitsrate um 80% verringert. Bao u.a. (2010) untersuchten über 35 Tage den Einfluss verschiedener Spurenelementquellen an 800 Broilern. Hierbei wurden Kupfer (4 ppm), Zink (30 ppm), Mangan (40 ppm) und Eisen (20 ppm) als Mischration entweder als Sulfate oder Proteinat verfüttert. Während des Versuchs konnte kein Unterschied in der Sterblichkeitsrate zwischen den eingesetzten Spurenelementquellen festgestellt werden.

## Sonderleistungen

Eine Übersicht der Sonderleistungen von unterschiedlichen Zinkverbindungen bei Geflügel ist in Tabelle 26 dargestellt.

Die faecale Zinkausscheidung konnte in zwei Studien durch organische Zinkquellen, verglichen mit anorganischem Zink, reduziert werden (Zinkproteinat und Zink-Aminosäure-Komplexe), wohingegen in einer weiteren Studie durch Zinkproteinat ein erhöhter Zinkgehalt im Kot gemessen wurde.

**Tabelle 26: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Zinkverbindungen bei Geflügel**

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Lee u.a. (2001)</b>	1) 40 ppm ZnSO <sub>4</sub> 2) 40 ppm ZnAS	faecale Zinkausscheidung	ZnAS: - 16,48 % <sup>1</sup>
<b>Nollet u.a. (2007)</b>	1) 37 ppm ZnSO <sub>4</sub> 2) 10 ppm ZnProt	faecale Zinkausscheidung	ZnProt: - 36,46 % <sup>1</sup>
<b>El-Husseiny u. a. (2012)</b>	1) 100 ppm ZnO 2) 100 ppm ZnProt	faecale Zinkausscheidung	ZnProt: + 29,43 % <sup>1</sup>

Lee u.a. (2001) verglichen die faecale Zinkausscheidung von Zinkaminosäurechelaten (Zn: 60 ppm) mit Zinksulfat (40 ppm). Die Metallaminosäurechelate führten hierbei zu einem geringeren ( $p < 0.05$ ) Kupfer- und Zinkgehalt im Faeces als die entsprechenden Sulfatformen. Nollet u.a. (2007) verglichen Mangan, Zink, Eisen (je 10 ppm) und Kupfer (2,5 ppm) als Proteinat mit 70 ppm Mangan, 37 ppm Zink, 45 ppm Eisen und 12 ppm Kupfer als Sulfate. Die faecale Ausscheidung der Elemente war im Falle der Proteinat im Vergleich zu den Sulfaten signifikant erniedrigt (Mn 46 %, Zn 63%, Fe 73 %, Cu 55 %). El-Husseiny u. a. (2012) stellten den Einsatz einer Mischration aus organischen und anorganischen Spurenelementen an Eintagsküken gegenüber. Hierfür wurden 100 ppm Zink, 120 ppm Mangan und 16 ppm Kupfer entweder als Zinkoxid, Manganoxid, Kupfersulfat oder Zinkproteinat, Manganmethionin

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

und Kupfermethionin zugefüttert. Nach der Versuchsdauer von neun Wochen, lag der Gehalt an Zink, Kupfer und Mangan im Kot bei organischer Fütterung höher als bei anorganischer Zufütterung.

## 11.2 Kupfer

In Bezug auf Kupfer wurden bei allen untersuchten Nutztierarten hauptsächlich der Gehalt von Kupfer in der Leber als Indikator der Bioverfügbarkeit genutzt. Daneben wurden Blutserum, Blutplasma, die Kupfereinlagerung in die Nieren und Leistungsparameter, wie Körpermassenentwicklung, Milchleistung beim Rind oder Legeleistung bei Geflügel zur Beurteilung der Bioverfügbarkeit genutzt.

Insgesamt wurden 47 Studien zu Kupfer näher untersucht. Hierbei entfielen 20 auf Rinder, 15 auf Geflügel und 12 auf Schweine. Die verwendeten organischen Kupferformen waren hierbei:

**Tabelle 27: Übersicht zum Einsatz von organischem Kupfer**

<b>Verbindung</b>	<b>Anzahl der Versuchsgruppen</b>
Kupferlysin	49
Kupferproteinat	37
Kupfermethionin	34
Kupfer-Aminosäure-Komplex	32
Kupfercitrat	9

### 11.2.1 Rinder

#### Resorption

Eine Übersicht der Resorbierbarkeit von unterschiedlichen Kupferverbindungen bei Rindern ist in Tabelle 28 dargestellt.

Die Anreicherung von Kupfer in der Leber wurde in sieben Studien untersucht. Hierbei konnte in zwei Studien kein Unterschied zwischen organischer und anorganischer Kupferquelle gefunden werden (jeweils eine Studie zu Kupferproteinat und eine Studie zu Kupferlysin), während in fünf Studien (jeweils zwei zu Kupfer-Aminosäure-Komplexen und Kupferproteinat und eine Studie zu Kupferlysin) in der Leber höhere Cu-Gehalte durch die organische Kupferquelle festgestellt wurden.

Der Kupfer-Gehalt im Plasma war bei fünf untersuchten Studien durch organische Kupferzufütterung (drei Studien mit Kupferproteinat und jeweils eine mit Kupfer-Aminosäure-Komplex und Kupferlysin) im Vergleich zur anorganischen Zufütterung höher, wohingegen in drei Studien kein Unterschied zwischen der Kupferquelle festgestellt werden konnte (zwei Studien zu Kupfermethionin und eine zu Kupfer-Aminosäure-Komplex).

Die Milchleistung wurde in einer untersuchten Studie (Kupfermethionin) nicht durch die Kupferform beeinflusst, während in einer weiteren Studie die Blutserumkonzentration von Kupfer durch Kupferlysin stärker anstieg als durch eine anorganische Kupferverbindung.

**Tabelle 28: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Kupferverbindungen bei Rindern**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Muehlenbein u.a. (2001)</b>	1) Kontrolle 2) 200 ppm CuSO <sub>4</sub> 3) 100 ppm CuAS	Kupfergehalt Leber	CuAS: + 24,14 % CuSO <sub>4</sub> : + 11,49 %
<b>Ward u.a. (1996)</b>	1) Kontrolle: 7,3 ppm Cu 2) 50 mg/d CuSO <sub>4</sub> 3) 50 mg/d CuProt	Kupfergehalt Leber	CuProt: + 248,23 % CuSO <sub>4</sub> : + 236,88 %
<b>Nemec u. a. (2012)</b>	1) 17 ppm CuSO <sub>4</sub>	Kupfergehalt Plasma	CuMet: + 7,92 % <sup>1</sup>
	2) 17 ppm CuMet	Kupfergehalt Milch	CuMet: + 35,71 % <sup>1</sup>
<b>Chase u. a. (2000)</b>	1) Kontrolle 2) 15 ppm CuSO <sub>4</sub> 3) 30 ppm CuSO <sub>4</sub> 4) 15 ppm CuLys 5) 30 ppm CuLys	Kupfergehalt Plasma	CuLys (30 ppm): + 73,83 % CuSO <sub>4</sub> (30 ppm): + 67,11 % CuLys (15 ppm): + 57,05 % CuSO <sub>4</sub> (15 ppm): + 0,67 %
		Kupfergehalt Leber	CuLys (15 ppm): - 2,42 % CuSO <sub>4</sub> (30 ppm): - 6,97 % CuSO <sub>4</sub> (15 ppm): - 11,97 % CuLys (30 ppm): - 14,24 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Wang u. a. (2012)</b>	1) 12 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 12 ppm CuMet	Kupfergehalt Plasma	CuMet: + 14,29 % <sup>1</sup>
<b>Engle u.a. (2000)</b>	1) Kontrolle: 10,2 ppm Cu 2) 20 ppm CuSO <sub>4</sub> 3) 40 ppm CuSO <sub>4</sub> 4) 20 ppm CuProt	Kupfergehalt Leber	CuProt: + 15,2 %  CuSO <sub>4</sub> (20 ppm): + 6,67 %  CuSO <sub>4</sub> (40 ppm): - 3,73 %
<b>Du u.a. (1996)</b>	1) 5 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 80 ppm CuSO <sub>4</sub> 3) 5 ppm CuProt	Kupfergehalt Plasma	CuProt (5 ppm): - 5,21 % <sup>1</sup>  CuProt (80 ppm): + 6,32 % <sup>1</sup>
	4) 80 ppm Cu Prot	Kupfergehalt Leber	CuProt (5 ppm): - 24,1 % <sup>1</sup>  CuProt (80 ppm): + 12,68 % <sup>1</sup>
<b>Dorton u.a. (2003)</b>	1) Kontrolle: 10 ppm Cu 2) 10 ppm CuSO <sub>4</sub> 3) 20 ppm CuSO <sub>4</sub> 4) 10 ppm CuAS 5) 20 ppm CuAS	Kupfergehalt Plasma	CuAS (20 ppm): + 10,39 %  CuAS (10 ppm): + 3,9 %  CuSO <sub>4</sub> (20 ppm): + 1,3 %  CuSO <sub>4</sub> (10 ppm): 0 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
		Kupfergehalt Leber	CuAS (20 ppm): + 420,32 %  CuSO <sub>4</sub> (20 ppm): + 212,57 %  CuSO <sub>4</sub> (10 ppm): + 204,55 %  CuAS (10 ppm): + 153,48 %
<b>Nocek u.a. (2006)</b>	1) 13 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 13 ppm CuLys	Kupfergehalt Leber	CuLys: + 6,47 % <sup>1</sup>
<b>Kinal u.a. (2005)</b>	1) 315 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 252 ppm CuSO <sub>4</sub> + 63 ppm CuLys 3) 220,5 ppm CuSO <sub>4</sub> + 94,5 ppm CuLys	Kupfergehalt Serum	CuLys (94,5 ppm): + 20,16 % <sup>1</sup>  CuLys (63 pp): + 0,78 % <sup>1</sup>
<b>Cortinhas u.a. (2012)</b>	1) 21,4-24,7 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 21,4-24,7 ppm CuAS	Kupfergehalt Plasma	CuAS: + 2,67 % <sup>1</sup>

Muehlenbein u.a. (2001) untersuchten die Auswirkungen von organischem Kupfer bei trächtigen Kühen vor und nach der Kalbung. 200 ppm Kupfersulfat wurden mit 100 ppm Kupfer-Aminosäure-Komplexen verglichen. Der Kupfergehalt im Kolostrum wurde hierbei von der Kupferquelle beeinflusst. Demgegenüber beobachteten Muehlenbein u.a. eine stärkere Konzentration von Kupfer in der Leber bei mit organischem Kupfer zugefütterten Kühen. Auch Ward u.a. (1996) verglichen unterschiedliche Kupferformen. 50 mg/Tag Kupfer in Form von Kupferproteinat und Kupfersulfat wurden an insgesamt 30 depletierte Färsen verfüttert. Während die Kupferkonzentration im Blutplasma durch organisches Kupfer signifikant erhöht wurde ( $p < 0.10$ ), konnten keine Unterschiede im Kupfergehalt der Leber festgestellt werden.

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.



Neben den bereits beschriebenen Studien zeigten Chase u.a. (2000), dass durch 15 ppm bzw. 30 ppm organisches und mineralisches Kupfer, abgesehen von einer Erhöhung der Kupferkonzentration im Blutplasma durch organisches Kupfer, keine weitere Unterscheidung der untersuchten Parameter bei Kühen gemessen werden konnte. Wang u.a. (2012) konnten keine Auswirkungen zwischen 12 ppm Kupfermethionin und Kupfersulfat feststellen. Die Kupferanreicherung im Blut zeigte hierbei keine signifikanten Unterschiede der untersuchten Kühe. Auch Du u.a. (1996) verglichen unterschiedliche Kupferformen. 5 ppm bzw. 80 ppm Kupfer wurden als Kupferproteinat oder Kupfersulfat an Kühe verfüttert. Die Autoren beobachteten, dass im direkten Vergleich der Kupferkonzentrationen kein Unterschied zwischen den Kupferformen festgestellt wurde. Dies deckt sich mit Ergebnissen von Engle u.a. (2000), die ebenfalls keine unterschiedlichen Auswirkungen von 20 ppm Kupferproteinat zu 20 ppm und 40 ppm Kupfersulfat feststellten. Im Umkehrschluss bemerkten Engle u.a. jedoch, dass 20 ppm Kupferproteinat den gleichen Effekt erzielte wie 40 ppm Kupfersulfat und somit eine höhere Bioverfügbarkeit aufwies. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Cortinhas u.a. (2012), die 24 Rinder ab Tag 60 ante partum in zwei Gruppen mit unterschiedlichen Spurenelementquellen (Aminosäure-Komplex oder Sulfate) fütterten. In Abhängigkeit ihres Fortpflanzungsstadiums erhielten die Rinder von Tag 60 bis 29 a.p. 42,8 ppm Zn, 21,4 ppm Cu und 0,4 ppm Se. Von Tag 28 a.p. bis zur Kalbung erhielten sie 47,6 ppm Zn, 24,7 ppm Cu und 0,5 ppm Se sowie bis zum 80. Laktationstag 47 ppm Zn, 24,2 ppm Cu und 0,4 ppm Se. Über den gesamten Studienverlauf konnte kein Unterschied in der Plasmakonzentration der untersuchten Elemente zwischen den Spurenelementquellen festgestellt werden. Nemeč u.a. (2012) verglichen in ihrem Fütterungsversuch den Einsatz von einer Mischration aus 17 ppm Kupfer, 53 ppm Mangan und 85 ppm Zink als anorganische Sulfate oder organische Methionine. Hierbei konnte festgestellt werden, dass sich die Spurenelementquelle nicht auf die Elementanreicherung im Blutplasma auswirkte, jedoch Kupfermethionin zu einer höheren Kupferanreicherung in der Milch führte. In einer Studie von Noček u.a. (2006) wurde der Einsatz einer Mischration aus Zink, Kupfer und Mangan entweder als Zn-Met, Cu-Lys, Mn-Met oder Sulfat miteinander verglichen. Es konnte gezeigt werden, dass bei einer organischen Fütterung der Kupfer- und Zinkgehalt in der Leber höher lag als durch eine Fütterung mit Sulfaten. Demgegenüber blieb der Mangangehalt der Leber durch die Fütterungsform unbeeinflusst. Dorton u.a. (2003) verfütterten an 48 Rinder 10 ppm bzw. 20 ppm als Kupfersulfat oder Kupfer-Aminosäure-Komplexe. Hierbei konnte gezeigt werden, dass die Kupferkonzentration im Lebergewebe linear mit der zugesetzten Kupfermenge der Ration zunahm. Nach einer Versuchsdauer von 112 Tagen lag der Kupfergehalt der Lebern bei einer Fütterung mit 20 ppm Cu-AS höher als durch eine Fütterung mit 20 ppm Cu-Sulfat. Ähnliche Ergebnisse konnten in Bezug auf die Kupferanreicherung im Blutplasma beobachtet werden.

Während unabhängig der zugefütterten Kupferform der Kupfergehalt im Plasma durch 20 ppm Kupfer höher lag als durch 10 ppm, zeigten Rinder, die mit 20 ppm Kupfer-Aminosäure-Komplexen gefüttert wurden höhere Plasma-Kupferkonzentrationen ( $p < 0.03$ ) als Rinder mit 20 ppm Kupfersulfat. Kinal u.a. (2005) fütterten organische Spurenelemente ab dem letzten Drittel der Trächtigkeit zu. Sie beobachteten einen Anstieg des Serum-Zink- und Serum-Kupfer-Gehalts der Kühe, welches wiederum zu einem erhöhten Immunglobulingehalt im Kolostrum und im Blutserum der Kälber führte.

### **Leistung**

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Kupferverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Rindern ist in Tabelle 29 dargestellt.

Durch den Einsatz von organischen Kupferverbindungen wurde die Körpermassenentwicklung bei Rindern in vier Studien nicht beeinflusst (jeweils zwei Studien zu Kupferlysin und Kupfer-Aminosäure-Komplexen), während in einer Studie durch Kupferproteinat eine Gewichtszunahme durch die organische Kupferquelle erzielt werden konnte.

Die Milchleistung konnte in vier Studien (drei Studien mit Kupfer-Aminosäure-Komplexen und eine Studie mit Kupferlysin) durch organisches Kupfer stärker gesteigert werden, während in sechs weiteren Studien die Milchleistung unbeeinflusst blieb (jeweils zwei Studien zu Kupfer-Aminosäure-Komplexen und Kupfermethionin und jeweils eine Studie zu Kupferproteinat und Kupferlysin).

Die Trächtigkeitsrate wurde in zwei Studien durch organische Kupferzufütterung gesteigert (zwei Studien zu Kupfer-Aminosäure-Komplexen) und blieb in einer Studie zu Kupferlysin durch die Kupferverbindung unbeeinflusst. Das Lebendgewicht der Nachkommen wurde in zwei Studien durch Kupfer-Aminosäure-Komplexe nicht beeinflusst.

**Tabelle 29: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Kupferverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Rindern**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Muehlenbein u.a. (2001)</b>	1) Kontrolle	Gewicht Nachkommen	CuSO <sub>4</sub> : + 7,39 %
	2) 200 ppm CuSO <sub>4</sub>		CuAS: + 2,84 %
	3) 100 ppm CuAS	Trächtigkeitsrate	CuAS: + 6,9 % CuSO <sub>4</sub> : 0 %
<b>Nocek u.a. (2006)</b>	1) 13 ppm CuSO <sub>4</sub>	Milchleistung	CuLys: + 5,54 % <sup>1</sup>
	2) 13 ppm CuLys	Trächtigkeitsrate	CuLys: - 3,56 % <sup>1</sup>
<b>Nemec u. a. (2012)</b>	1) 17 ppm CuSO <sub>4</sub>	Milchleistung	CuMet: + 3,66 % <sup>1</sup>
	2) 17 ppm CuMet	Körpermassenentwicklung	CuMet: - 1,09 % <sup>1</sup>
<b>Chase u. a. (2000)</b>	1) Kontrolle	Milchleistung	CuLys (15 ppm): + 8,81 %
	2) 15 ppm CuSO <sub>4</sub>		CuSO <sub>4</sub> (15 ppm): - 11,01 %
	3) 30 ppm CuSO <sub>4</sub>		
	4) 15 ppm CuLys		CuLys (30 ppm): - 12,33 %
	5) 30 ppm CuLys		CuSO <sub>4</sub> (30 ppm): - 29,07 %
<b>Wang u. a. (2012)</b>	1) 12 ppm CuSO <sub>4</sub>	Körpermassenentwicklung	CuMet: + 3,13 % <sup>1</sup>
	2) 12 ppm CuMet	Milchleistung	CuMet: + 8,68 % <sup>1</sup>
<b>Ballantine u.a. (2002)</b>	1) 125 ppm CuSO <sub>4</sub>	Milchleistung	CuAS: + 5,1 % <sup>1</sup>
	2) 125 ppm CuAS	Trächtigkeitsrate	CuAS: + 48,91 % <sup>1</sup>
<b>Ashmead u.a. (2004)</b>	1) 181,8 mg/d CuO	Milchleistung	CuAS: 0,31 % <sup>1</sup>
	2) 181,8 mg/d CuAS		

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Cortinhas u.a. (2012)</b>	1) 21,4-24,7 ppm CuSO <sub>4</sub>	Körpermassenentwicklung	CuAS: - 2,91 % <sup>1</sup>
	2) 21,4-24,7 ppm CuAS	Milchleistung	CuAS: + 2,15 % <sup>1</sup>
<b>Formigoni u. a. (2011)</b>	1) 500 ppm CuSO <sub>4</sub>	Milchleistung	CuProt: -4,84 % <sup>1</sup>
	2) 500 ppm CuProt		
<b>DeFrains u.a. (2009)</b>	1) 125 ppm CuSO <sub>4</sub>	Milchleistung	CuAS: - 0,25 % <sup>1</sup>
	2) 125 ppm CuAS		

In einer Studie von Muehlenbein u.a. (2001) wurde die Auswirkung von organischem Kupfer bei trächtigen Kühen und Kälbern vor und nach der Kalbung untersucht. 200 ppm Kupfersulfat wurden mit 100 ppm Kupfer-Aminosäure-Komplexen verglichen. Während die Trächtigkeitrate von Kühen, die mit organischem Kupfer zugefüttert wurden, messbar gesteigert werden konnte, konnte kein Unterschied zwischen den Kupferquellen in Bezug auf die Kupferkonzentration im Blutserum der Kälber und das Lebendgewicht der Kälber sowie der Mutterkühe gemessen werden. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Cortinhas u.a. (2012), die 24 Rinder ab Tag 60 ante partum in zwei Gruppen mit unterschiedlichen Spurenelementquellen (Aminosäure-Komplexe oder Sulfate) fütterten. In Abhängigkeit ihres Fortpflanzungsstadiums erhielten die Rinder von Tag 60 bis 29 a.p. 42,8 ppm Zn, 21,4 ppm Cu und 0,4 ppm Se. Von Tag 28 a.p. bis zur Kalbung erhielten sie 47,6 ppm Zn, 24,7 ppm Cu und 0,5 ppm Se, sowie bis zum 80. Laktationstag 47 ppm Zn, 24,2 ppm Cu und 0,4 ppm Se. Über den gesamten Studienverlauf konnte kein Unterschied der Körpermassenentwicklung zwischen den Spurenelementquellen festgestellt werden. Auch die Milchleistung und -menge blieb unberührt. Ferner zeigten Chase u.a. (2000), dass durch 15 ppm bzw. 30 ppm organisches und mineralisches Kupfer keine Auswirkungen auf die Milchleistung der untersuchten Kühe gemessen werden konnte. Wang u.a. (2012) beobachteten zwischen 12 ppm Kupfermethionin und Kupfersulfat weder in der Futtermittelverwertung, noch in der Milchleistung signifikante Unterschiede der untersuchten Kühe. Nemeč u.a. (2012) verglichen

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

in ihrem Fütterungsversuch den Einsatz von einer Mischration aus 17 ppm Kupfer, 53 ppm Mangan und 85 ppm Zink als anorganische Sulfate oder organische Methionine. Hierbei konnte festgestellt werden, dass sich die Spurenelementquelle weder auf die Milchleistung, noch die Körpermassenentwicklung auswirkte. In einer Studie von Nocek u.a. (2006) wurde der Einsatz einer Mischration aus Zink, Kupfer und Mangan entweder als Zn-Met, Cu-Lys, Mn-Met oder Sulfat miteinander verglichen. Es konnte gezeigt werden, dass bei einer organischen Fütterung die Milchleistung um 4,2 % höher lag als bei der Vergleichsgruppe. Allerdings wirkte sich die unterschiedliche Fütterung nicht auf die Trächtigkeitsrate der Rinder aus. In einer Studie von Ballantine u.a. (2002) wurden 150 Holstein-Kühe entweder mit einer Mischration bestehend aus Aminosäure-Komplexen (360 ppm Zink, 200 ppm Mangan, 125 ppm Kupfer) oder ihren entsprechenden Sulfaten gefüttert. Es wurde hierbei gezeigt, dass durch organische Fütterung die Gützeit geringer und die Trächtigkeitsrate höher war sowie die Fütterung mit Aminosäure-Komplexen zu einem Anstieg der Milchproduktion ( $p < 0.05$ ) führte. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Ashmead u.a. (2004), die Zink, Kupfer und Mangan als Aminosäure-Komplexe mit anorganischen Futtermischungen verglichen. DeFrains u.a. (2009) verglichen Aminosäure-Komplexe mit Sulfaten (360 ppm Zn, 200 ppm Mn, 125 ppm Cu), wobei die Autoren hierbei ebenfalls keine Auswirkung der Spurenelementquelle auf die Milchleistung feststellten ( $p > 0.15$ ). Dies deckt sich mit einer älteren Studie von Formigioni u.a. (2011), die ebenfalls zwischen organischen und mineralischen Spurenelementen keine veränderte Milchleistung beobachteten (500 ppm Zn, Cu und Mn als Sulfat bzw. Proteinat).

## Immunität

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Kupferverbindungen bei Rindern auf die Immunität ist in Tabelle 30 dargestellt.

Während in vier Studien die Inzidenz von Klauenerkrankungen durch Kupfer-Aminosäure-Komplexe (zwei Studien), Kupferlysin (eine Studie) und Kupferproteinat (eine Studie) im Vergleich zu einer anorganischen Zufütterung, reduziert werden konnte, konnte in drei weiteren Studie der Gehalt an somatischen Zellen in der Milch durch Kupferlysin, Kupferproteinat und Kupfer-Aminosäure-Komplexe im Vergleich gesenkt werden. Sowohl die Aktivität von neutrophilen Granulozyten als auch der Immunglobulingehalt im Serum konnte in jeweils einer Studie durch eine organische Kupferquelle (Immunglobuline: Kupfer-Aminosäure-Komplex; Granulozyten: Kupfermethionin) gegenüber der anorganischen Versuchsgruppe mehr gesteigert werden.

**Tabelle 30: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Kupferverbindungen auf die Immunität bei Rindern**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Nemec u. a. (2012)</b>	1) 17 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 17 ppm CuMet	Phagozytoseeigenschaft neutrophile Granulozyten	CuMet: + 16,13 % <sup>1</sup>
<b>Ballantine u.a. (2002)</b>	1) 125 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 125 ppm CuAS	Klauenerkrankungen	CuAS: - 15,93 % <sup>1</sup>
<b>Dorton u.a. (2003)</b>	1) Kontrolle: 10 ppm Cu 2) 10 ppm CuSO <sub>4</sub> 3) 20 ppm CuSO <sub>4</sub> 4) 10 ppm CuAS 5) 20 ppm CuAS	IgG-Konzentration Serum	CuSO <sub>4</sub> (20 ppm): - 11,11%  CuAS (20 ppm): - 22,22 %  CuAS (10 ppm): - 27,78 %  CuSO <sub>4</sub> (10 ppm): - 33,33 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
		IgM-Konzentration Serum	CuSO <sub>4</sub> (10 ppm): + 58,33 %  CuAS (20 ppm): + 58,33 %  CuAS (10 ppm): + 33,33 %  CuSO <sub>4</sub> (20 ppm): + 8,33 %
<b>Kincaid &amp; Socha (2004)</b>	1) 300 mg/d CuSO <sub>4</sub> 2) 125 mg/d CuLys	IgG-Konzentration Kolostrum	CuLys: + 47,69 % <sup>1</sup>
		IgM-Konzentration Kolostrum	CuLys: - 5,71 % <sup>1</sup>
		IgG-Konzentration Serum	CuLys: -6,41 % <sup>1</sup>
		IgM-Konzentration Serum	CuLys: + 25 % <sup>1</sup>
<b>Kinal u.a. (2005)</b>	1) 315 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 252 ppm CuSO <sub>4</sub> + 63 ppm CuLys 3) 220,5 ppm CuSO <sub>4</sub> + 94,5 ppm CuLys	somatische Zellen Milch	CuLys (63 ppm): - 25,18 % <sup>1</sup>  CuLys (94,5 ppm): - 33,99 % <sup>1</sup>
<b>O`Donoghue &amp; Boland (2002)</b>	1) 100 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 100 ppm CuProt	somatische Zellen Milch	CuProt: - 1,69 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Murihead u.a. (1993)</b>	1) 50 mg/ Tag CuSO <sub>4</sub>  2) 50 mg/ Tag CuProt	Klauenerkrankungen	CuProt: + 3,62 % <sup>1</sup>
<b>Siciliano-Jones u.a. (2008)</b>	1) 125 ppm CuSO <sub>4</sub>  2) 125 ppm CuAS	Klauenerkrankungen	CuAS: - 5 % <sup>1</sup>
<b>Nocek u.a. (2006)</b>	1) 13 ppm CuSO <sub>4</sub>  2) 13 ppm CuLys	Klauenerkrankungen	CuLys: - 8,59 % <sup>1</sup>
<b>Formigoni u. a. (2011)</b>	1) 500 ppm CuSO <sub>4</sub>  2) 500 ppm CuProt	Ig-Konzentration Kolostrum	CuProt: + 19,12 % <sup>1</sup>
<b>Jacometo u. a., 2015</b>	1) 20 ppm CuSO <sub>4</sub>  2) 20 ppm CuAS	Blutglucose Nachkommen	CuAS: - 13,77 % <sup>1</sup>

Kinal u.a. (2005) fütterten organische Spurenelemente ab dem letzten Drittel der Trächtigkeit zu. Sie beobachteten einen Anstieg des Serum-Zink- und Serum-Kupfer-Gehalts der Kühe, welches wiederum zu einem erhöhten Immunglobulingehalt im Kolostrum und im Blutserum der Kälber führte. Weiterhin beobachteten Kinal u.a. ein erhöhtes Körpermassenwachstum innerhalb der ersten drei Lebensmonate der Kälber. In einer früheren Untersuchung von Kincaid und Socha (2004) führte die Zufütterung von organischen Spurenelementen ab dem 21. Tag vor der Kalbung zu einem messbaren Anstieg des IgG Levels, während der Gehalt an IgM und des Mineralstoffgehalts im Kolostrum unverändert blieb. In einer weiteren Studie konnte gezeigt werden, dass eine partielle Substitution von Zink-, Kupfer- und Mangansulfaten mit organischen Spurenelementen den Fettgehalt der Milch sowie den Immunglobulinanteil des Kolostrums steigerte, jedoch die Spurenelementkonzentration unbeeinflusst ließ. Dorton u.a. (2003) verfütterten an 48 Rinder 10 ppm bzw. 20 ppm als Kupfersulfat oder Kupfer-Aminosäure-Komplexe. Hierbei konnte gezeigt werden, dass weder der Immunglobulin G-, noch der Immunglobulin M-Gehalt durch die Kupferquelle oder -konzentration beeinflusst wurde. O'Donoghue und Boland (2002) verglichen organische Kupfer-, Zink- und Selenverbindungen mit anorganischen Kontrollgruppen bei laktierenden Kühen und konnten

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.



bei der Fütterung mit organischen Verbindungen einen Rückgang der somatischen Zellzahlen dokumentieren ( $p < 0.05$ ). Der partielle Austausch von mineralischen Spurenelementen durch organische Verbindungen wurde von Kinal u.a. (2005) untersucht. Eine Mischration aus Zink, Mangan und Kupfer wurde zu 20 % bzw. 30 % durch organische Verbindungen ersetzt. Hierbei zeigte sich, dass durch beide Substitutionsvarianten eine signifikante Reduktion der somatischen Zellzahlen in der Milch erzielt werden konnte ( $p \leq 0.01$ ). Der Gehalt der somatischen Zellen reduzierte sich bei einem 20 %igem Ersatz durch organische Spurenelemente um 25 % und durch 30 %igem Ersatz um 34 %. In einem Vergleich von Murihead u.a. (1993) mit 50 mg Kupfer pro Kuh und Tag aus einer organischen oder anorganischen Quelle konnte durch die organische Kupferquelle außerdem eine Verbesserung der Klauengesundheit beobachtet werden. Siciliano-Jones u.a. (2008) und Nocek u.a. (2006) berichteten, dass, verglichen mit einer anorganischen Futtermischung, durch den Einsatz einer Futtermischung aus organischem Zink, Mangan und Kupfer zwar nur eine kleine, aber doch bessere Klauengesundheit nachgewiesen werden konnte. Nemeč u.a. (2012) berichteten, dass bei der Fütterung laktierender Kühe mit organischem Kupfer ein verbesserter Immunstatus in Bezug auf die Phagozytoseeigenschaft der neutrophilen Granulozyten eintritt. In einer Studie von Nocek u.a. (2006) wurde der Einsatz einer Mischration aus Zink, Kupfer und Mangan entweder als Zn-Met, Cu-Lys, Mn-Met oder Sulfat miteinander verglichen. Es konnte gezeigt werden, dass die Klauengesundheit durch die Fütterungsform unbeeinflusst blieb. In einer Studie von Ballantine u.a. (2002) wurden 150 Holstein-Kühe entweder mit einer Mischration bestehend aus Aminosäure-Komplexen (360 ppm Zink, 200 ppm Mangan, 125 ppm Kupfer) oder ihren entsprechenden Sulfaten gefüttert. Es wurde herausgefunden, dass die Fütterung mit Aminosäure-Komplexen zu einer tendenziell besseren Klauengesundheit führte. In einer weiteren Studie wurde gezeigt, dass eine partielle Substitution von Zink-, Kupfer- und Mangansulfaten mit organischen Spurenelementen den Fettgehalt der Milch sowie den Immunglobulinanteil des Kolostrums steigerte, jedoch die Spurenelementkonzentration unbeeinflusst ließ. Auch die Kälbermortalität konnte in der mit organischen Spurenelementen gefütterten Gruppe gegenüber den Kontrolltieren signifikant gesenkt werden (Formigoni u. a., 2011). Des Weiteren wurde erforscht, dass der Ersatz mineralischer Spurenelemente (40 ppm Zn-Sulfat, 20 ppm Cu-Sulfat, 5 ppm Mn-Sulfat) durch organische Spurenelemente (40 ppm Zn-AS, 20 ppm Cu-AS, 5 ppm Mn-AS) bei Kälbern zu einem gesteigerten Blutzuckerpegel führte. (Jacometo u. a., 2015).

## 11.2.2 Schweine

### Resorption

Eine Übersicht der Resorbierbarkeit von unterschiedlichen Kupferverbindungen bei Schweinen ist in Tabelle 31 dargestellt

Der Kupfergehalt in der Leber lag in einer Studie durch Kupferlysin höher als in der anorganischen Vergleichsgruppe, während in einer weiteren Studie ein vergleichbarer Kupfergehalt in der Leber beobachtet wurde (Kupferlysin).

Der Kupfergehalt in Gehirn und Niere wurde jeweils in einer Studie bestimmt. Sowohl im Gehirn als auch bei den Nieren wurde durch Kupferlysin ein vergleichbarer Kupfergehalt festgestellt als durch anorganische Kupferzufütterung.

Untersuchungen zum Kupfer-Serum-Gehalt zeigten in zwei Studien (Kupferlysin) höhere Kupfergehalte durch organische Zufütterung im Vergleich zu einer anorganischen Zufütterung.

**Tabelle 31: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Kupferverbindungen bei Schweinen**

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Lee u.a. (2001)</b>	1) 170 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 85 ppm CuAS 3) 170 ppm CuAS	Kupfergehalt Serum	CuLys (170 ppm): + 14,09 % <sup>1</sup>  CuLys (85 ppm): - 7,38 % <sup>1</sup>
<b>Coffey u.a. (1994)</b>	1) Kontrolle 2) 100 ppm CuSO <sub>4</sub> 3) 200 ppm CuSO <sub>4</sub> 4) 100 ppm CuLys 5) 200 ppm CuLys	Kupfergehalt Leber	CuLys (200 ppm): + 1365,22 %  CuSO <sub>4</sub> (200 ppm): + 1082,61 %  CuSO <sub>4</sub> (100 ppm): + 47,83 %  CuLys (100 ppm): + 43,48 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
Apgar u.a. (1995)	1) Kontrolle: 15 ppm Cu  2) Kontrolle + 100 ppm CuSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 150 ppm CuSO <sub>4</sub>  4) Kontrolle + 200 ppm CuSO <sub>4</sub>  5) Kontrolle + 100 ppm CuLys  6) Kontrolle + 150 ppm CuLys  7) Kontrolle + 200 ppm CuLys	Kupfergehalt Serum	CuLys (200 ppm): + 9,72 %  CuSO <sub>4</sub> (200 ppm): + 9,72 %  CuLys (150 ppm): + 8,33 %  CuSO <sub>4</sub> (150 ppm): + 6,94 %  CuSO <sub>4</sub> (100 ppm): + 3,47 %  CuLys (100 ppm): + 2,64 %
		Kupfergehalt Nieren	CuSO <sub>4</sub> (200 ppm): + 56,67 %  CuLys (200 ppm): + 43,33 %  CuSO <sub>4</sub> (150 ppm): + 23,33 %  CuLys (100 ppm): + 3,33 %  CuLys (150 ppm): - 3,33 %  CuSO <sub>4</sub> (100 ppm): - 16,67 %
		Kupfergehalt Gehirn	CuSO <sub>4</sub> (200 ppm): + 31,58 %  CuLys (200 ppm): + 10,53 %  CuLys (150 ppm): + 5,26 %

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
			CuLys (100 ppm): + 5,26 %  CuSO <sub>4</sub> (150 ppm): + 5,26 %  CuSO <sub>4</sub> (100 ppm): 0 %
		Kupfergehalt Leber	CuLys (200 ppm): + 896,43 %  CuSO <sub>4</sub> (200 ppm): + 392,86 %  CuSO <sub>4</sub> (150 ppm): + 185,71 %  CuLys (150 ppm): + 146,43 %  CuSO <sub>4</sub> (100 ppm): + 28,57 %  CuLys (100 ppm): 0 %

In einer Studie von Coffey u.a. (1994) wurde im Vergleich zwischen Basisdiät (18 ppm Cu) und Supplementation (Cu-Lysin bzw. Cu-Sulfat: 100 ppm Cu oder 200 ppm Cu) die Einlagerung von Kupfer in die Leber von Ferkeln untersucht. Diese stieg mit ansteigender Verabreichung und war gegenüber der Basisdiät statistisch signifikant ( $p < 0.001$ ) erhöht. Die Darbietungsform als anorganisches und organisches Kupfer hatte keinen Einfluss auf die Einlagerung in der Leber (Coffey u. a., 1994). Apgar u.a. (1995) untersuchten die Auswirkungen unterschiedlicher Kupferquellen auf 176 Absetzferkel. Zu einer Mais-Sojabasaldiät wurden für fünf Wochen 100 ppm, 150 ppm oder 200 ppm Kupfersulfat bzw. Kupferlysin zugefüttert. Hierbei zeigte sich, dass die Kupferanreicherung in der Leber sowohl von der Kupferquelle als auch von dem Kupfergehalt der Ration beeinflusst wurde. Der Kupfergehalt der Leber stieg linear mit dem Kupfergehalt der Futtermittelration an, wobei eine Fütterung mit 200 ppm Kupferlysin zu einer höheren Einlagerung führte als 200 ppm Kupfersulfat. Sowohl die Kupferkonzentration in den Nieren als auch der Serumkupfergehalt stiegen linear mit dem zugefütterten Kupfer an, jedoch war kein Unterschied innerhalb der Kupferquellen feststellbar. In einer Untersuchung von Lee u.a. (2001) wurden Kupfer-

Aminosäurechelate in einer niedrigen Dosierung (60 ppm) an Absetzer gefüttert. Im Vergleich zur anorganischen Gruppe (120 ppm Cu-Sulfat) konnte kein Unterschied der Kupfer-Serumkonzentration durch die zugefütterte Kupferform gemessen werden.

### **Leistung**

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Kupferverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Schweinen ist in Tabelle 32 dargestellt.

Die Körpermassenentwicklung wurde in zehn Studien untersucht. Hierbei konnte in drei Studien durch organische Kupferquellen, im Vergleich zu einer anorganischen Kupferzufütterung, eine höhere Gewichtszunahme beobachtet werden (zwei Studien zu Kupferlysin und eine Studie zu Kupfercitrat). Demgegenüber konnte in sieben Studien kein Unterschied zwischen organischer und anorganischer Kupfersupplementierung festgestellt werden (vier Studien zu Kupferlysin und jeweils eine Studie zu Kupfermethionin, Kupfer-Aminosäure-Komplexen und Kupferproteinat).

Die eingesetzte Kupferverbindung wirkte sich in einer untersuchten Studie nicht auf die Anzahl und Vitalität der Nachkommen aus (Kupferproteinat).

**Tabelle 32: Untersuchung zur Bioverfügbarkeit verschiedener Kupferverbindungen bei Schweinen**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Lee u.a. (2001)</b>	1) 170 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 85 ppm CuAS 3) 170 ppm CuAS	Körpermassenentwicklung	CuAS (170 ppm): +4,89 % <sup>1</sup>  CuAS (85 ppm): -0,35 % <sup>1</sup>
<b>Coffey u.a. (1994)</b>	1) Kontrolle 2) 100 ppm CuSO <sub>4</sub> 3) 200 ppm CuSO <sub>4</sub> 4) 100 ppm CuLys 5) 200 ppm CuLys	Körpermassenentwicklung	CuLys (100 ppm): + 11,54 %  CuSO <sub>4</sub> (200 ppm): + 8,24 %  CuLys (200 ppm): + 7,69 %  CuSO <sub>4</sub> (100 ppm): + 7,42 %
<b>Zhou u.a. (1994)</b>	1) 200 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 200 ppm CuLys	Körpermassenentwicklung	CuLys: + 8,77 % <sup>1</sup>
<b>Apgar &amp; Kornegay (1996)</b>	1) Kontrolle: 36 ppm Cu 2) Kontrolle + 200 ppm CuSO <sub>4</sub> 3) Kontrolle + 200 ppm CuLys	Körpermassenentwicklung	Cu-Lys: + 17,57 %  CuSO <sub>4</sub> : + 16,55 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Apgar u.a. (1995)</b>	1) Kontrolle: 15 ppm Cu  2) Kontrolle + 100 ppm CuSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 150 ppm CuSO <sub>4</sub>  4) Kontrolle + 200 ppm CuSO <sub>4</sub>  5) Kontrolle + 100 ppm CuLys  6) Kontrolle + 150 ppm CuLys  7) Kontrolle + 200 ppm CuLys	Körpermassenentwicklung	Cu-Lys (200 ppm): + 17,57 %  CuSO <sub>4</sub> (200 ppm): + 16,55 %  Cu-Lys (150 ppm): + 11,49 %  CuSO <sub>4</sub> (100 ppm): + 9,46 %  CuSO <sub>4</sub> (150 ppm): + 8,45 %  Cu-Lys (100 ppm): + 5,41 %
<b>Huang u.a. (2010)</b>	1) 134 ppm CuSO <sub>4</sub>  2) 134 ppm CuMet	Körpermassenentwicklung	CuMet: + 5,57 % <sup>1</sup>
<b>Van Heughten &amp; Coffey (1992)</b>	1) Kontrolle  2) Kontrolle + 50 ppm CuSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 100 ppm CuSO <sub>4</sub>  4) Kontrolle + 200 ppm CuSO <sub>4</sub>  5) Kontrolle + 50 ppm CuLys  6) Kontrolle + 100 ppm CuLys	Körpermassenentwicklung	CuSO <sub>4</sub> (50 ppm): + 13,89 %  CuSO <sub>4</sub> (100 ppm): + 11,11 %  CuLys (100 ppm): + 8,33 %  CuLys (200 ppm): + 5,56 %  CuLys (50 ppm): + 2,78 %  CuSO <sub>4</sub> (200 ppm): + 2,78 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Veum u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle 2) 250 ppm CuSO <sub>4</sub> 3) 50 ppm CuProt 4) 100 ppm CuProt 5) 200 ppm CuProt	Körpermassenentwicklung	CuProt (50 ppm): + 11,26 %  CuProt (100 ppm): + 9,69 %  CuProt (200 ppm): + 2,36 %  CuSO <sub>4</sub> : 0 %
<b>Creech u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 25 ppm Cu 2) Kontrolle + 5 ppm CuSO <sub>4</sub> 3) Kontrolle + 5 ppm CuProt	Körpermassenentwicklung	CuProt: - 1,79 %  CuSO <sub>4</sub> : - 2,02 %
<b>Acda u.a. (2002)</b>	1) 35 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 17,5 ppm CuProt 3) 35 ppm CuProt	Anzahl Nachkommen	CuProt (90 ppm): + 9,37 % <sup>1</sup>  CuProt (45 ppm): - 6,28 % <sup>1</sup>
		Anzahl lebender Nachkommen	CuProt (90 ppm): + 16,3 % <sup>1</sup>  CuProt (45 ppm): - 3,3 % <sup>1</sup>

Coffey u.a. (1994) zeigten einen signifikanten Anstieg der täglichen Nahrungsaufnahme und des Körpergewichtszuwachses im Vergleich zwischen Basisdiät (18 ppm Cu) und Supplementation (100 ppm Cu oder 200 ppm Cu). Die Wachstumsrate von Ferkeln, die Cu-Lysin erhielten, war gegenüber jenen, die CuSO<sub>4</sub> erhielten, erhöht, ebenso die Nahrungsaufnahme und deren effiziente Verstoffwechslung (Zufuhr/Zunahme) (Coffey u. a.,

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.



1994). Zhou u.a. (1994) verglichen ebenfalls Kupferlysin mit Kupfersulfat (jeweils 200 ppm) und berichteten bei Kupferlysin von einer um 29 % verbesserten Futtermittelverwertung und von 9 % mehr Körpermassenwachstum. Demgegenüber konnte in einer Studie von Apgar und Kornegay (1996) in Bezug auf Absorption und Retention kein Unterschied zwischen Kupferlysin und Kupfersulfat (jeweils 200 ppm) gemessen werden. Ähnlich wie Apgar und Kornegay konnten auch van Heugten und Coffey (1992) eine annähernd gleiche Futtermittelverwertung zwischen organischem und anorganischem Kupfer beobachten. Ebenso Pierce u.a. (2001) berichteten von einer verbesserten Futtermittelverwertung durch Fütterung organischer Kupferquellen an Schweine. Apgar u.a. (1995) untersuchten die Auswirkungen unterschiedlicher Kupferquellen auf 176 Absetzferkel. Zu einer Mais-Sojabasaldiät wurden für fünf Wochen 100 ppm, 150 ppm oder 200 ppm Kupfersulfat bzw. Kupferlysin zugefüttert. Während die durchschnittliche Gewichtszunahme linear mit dem Gehalt der zugesetzten Zinkquellen anstieg, konnten die Autoren keinen Unterschied zwischen den Kupferquellen erkennen. Creech u.a. fanden in einer Studie mit Jungsauen, dass die tägliche Gewichtszunahme bei Supplementierung der Nahrung mit chelatgebundenen Cu, Zn, Fe und Mn bei geringerer täglicher Nahrungsaufnahme genauso hoch ist wie bei einer Supplementierung dieser Mineralien in Sulfatform (Creech u.a. 2004). Das Verhältnis zwischen Gewichtszunahme und Futteraufnahme war also bei anorganischer Supplementierung geringer als bei Supplementierung mit chelatgebundenen Mineralien. Dieser Unterschied war statistisch signifikant ( $p < 0.05$ ). In einer Untersuchung von Lee u.a. (2001) wurden Kupfer-Aminosäurechelate an Absetzer gefüttert. Im Vergleich zur anorganischen Gruppe konnten keine signifikanten Unterschiede bei der Gewichtszunahme gemessen werden. Huang u.a. (2010) untersuchten die Auswirkungen unterschiedlicher Kupferquellen auf 96 Ferkel. 134 ppm Kupfer wurden über 35 Tage als Kupfersulfat oder Kupfermethionin gefüttert. Hierbei konnte kein Unterschied zwischen den Kupferquellen festgestellt werden. Dies deckt sich mit Ergebnissen von Veum u.a. (2004), bei denen ebenfalls zwischen organischen und anorganischen Kupferquellen (200 ppm Kupferproteinat oder 250 ppm Kupfersulfat) kein signifikanter Effekt auf die Gewichtsentwicklung festgestellt werden konnte. In einer Studie zum Einfluss verschiedener Spurenelementsupplemente auf die Fortpflanzung fanden Acda und Chae, dass weder das durchschnittliche Geburtsgewicht noch die Gesamtgeburtenszahl oder die Anzahl der Lebendgeburten und Absetzer von der Darbietungsform (Metalloproteinat oder anorganisch) oder der Dosis (niedrig oder hoch) signifikant beeinflusst wurden (Acda u.a., 2002). Die Tiere wurden in dieser Studie in vier Gruppen eingeteilt, die entweder niedrig dosiertes Fe (50ppm), Cu (17,5ppm), Zn (45ppm) und Mn (20ppm) in anorganischer oder Metalloproteinatform erhielten oder dieselben Spurenelemente jeweils anorganisch oder als Metalloproteinat in hoher Dosierung (100 ppm

Fe, 35 ppm Cu, 90 ppm Zn und 40 ppm Mn). Die Wachstumsrate der Ferkel in der niedrigdosierten organischen Gruppe war dieselbe wie in der anorganisch hochdosierten Gruppe und insgesamt verwerteten Ferkel in den organischen Gruppen ihr Futter besser.

### Sonderleistungen

Eine Übersicht der Sonderleistungen von unterschiedlichen Kupferverbindungen bei Schweinen ist in Tabelle 33 dargestellt

Die faecale Kupferausscheidung konnte in allen untersuchten Studien durch organisches Kupfer (drei Studien zu Kupferproteinat und jeweils eine Studie zu Kupferlysin, Kupfermethionin und Kupfercitrat) reduziert werden. Auch in einer Studie zur renalen Kupferausscheidung konnte durch Kupferproteinat der Kupfergehalt gesenkt werden.

**Tabelle 33: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Kupferverbindungen auf Schweine**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Lee u.a. (2001)</b>	1) 170 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 85 ppm CuAS 3) 170 ppm CuAS	faecale Kupferausscheidung	Cu-AS (170 ppm): - 47,21 % <sup>1</sup>  Cu-AS (85 ppm): - 67,11 % <sup>1</sup>
<b>Veum u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle 2) 250 ppm CuSO <sub>4</sub> 3) 50 ppm CuProt 4) 100 ppm CuProt	faecale Kupferausscheidung	CuSO <sub>4</sub> : + 1091,94 %  Cu-Prot (100 ppm): + 352,75 %  Cu-Prot (50 ppm): + 167,40 %
		renale Kupferausscheidung	CuSO <sub>4</sub> : + 388,89 %  CuProt (100 ppm): + 344,44 %  CuProt (50 ppm): + 166,67 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Huang u.a. (2010)</b>	1) 134 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 134 ppm CuMet	faecale Kupferausscheidung	CuMet: - 11,20 % <sup>1</sup>
<b>Wu u.a. (2001)</b>	1) Kontrolle: 16,5 ppm Cu 2) Kontrolle + 250 ppm CuSO <sub>4</sub> 3) Kontrolle + 50 ppm CuProt	faecale Kupferausscheidung	CuSO <sub>4</sub> : + 1093,44 % CuProt (100 ppm): + 353,21 % CuProt (50 ppm): + 195,49 %
	4) Kontrolle + 100 ppm CuProt	renale Kupferausscheidung	CuSO <sub>4</sub> : + 400 % CuProt (100 ppm): +352,27 % CuProt (50 ppm): + 176,14 %
<b>Armstrong u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 10 ppm Cu 2) Kontrolle + 62 ppm CuSO <sub>4</sub> 3) Kontrolle + 250 ppm CuSO <sub>4</sub> 4) Kontrolle + 15 ppm CuCit 5) Kontrolle + 31 ppm CuCit 6) Kontrolle + 62 ppm CuCit 7) Kontrolle + 125 ppm CuCit	faecale Kupferausscheidung	CuSO <sub>4</sub> (125 ppm): + 1120,87 % CuCit (125 ppm): + 493,96 % CuSO <sub>4</sub> (62 ppm): + 243,60 % CuCit (62 ppm): + 202,16 % CuCit (15 ppm): + 72,75 % CuCit (31 ppm): + 70,33 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Crech u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 25 ppm Cu  2) Kontrolle + 5 ppm CuSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 5 ppm CuProt	faecale Kupferausscheidung	CuSO <sub>4</sub> : - 28,95 %  Cu-Prot: - 53,29 %

Huang u.a. (2010) verglichen die Kupferkonzentration im Kot von Schweinen, die mit jeweils 134 ppm organischem oder mineralischem Kupfer gefüttert wurden. Bei organischem Kupfer war die Kupferkonzentration im Faeces signifikant niedriger als in der anorganischen Vergleichsgruppe. Wu u.a. (2001) untersuchten die Spurenelementausscheidung in Bezug auf die zugeführte Kupferquelle. Sie verglichen hierbei Kupferproteinate (50 ppm oder 100 ppm) mit 250 ppm Kupfersulfat und stellten fest, dass die faecale und renale Exkretion bei Kupfersulfat höher lag ( $p < 0.01$ ) als bei den anderen beiden Kupferproteinatgruppen. In einer ähnlichen Studie von Veum u.a. (2004) führten 50 ppm oder 100 ppm Kupferproteinat zu einer Reduzierung der faecalen Kupferausscheidung von 77 % bzw. 61 % im Vergleich zu Schweinen, die mit 250 ppm Kupfersulfat gefüttert wurden. Auch Armstrong u.a. (2004) wiesen erhöhte Kupferwerte im Faeces bei mit 250 ppm anorganischem Kupfersulfat zugefütterten Tieren nach im Vergleich zu 125 ppm Kupfercitrat. In einer Untersuchung von Crech u.a. (2004) wurden 216 Ferkel entweder mit einem reduzierten Sulfatfutter gefüttert (8 ppm Cu, 91 ppm Zn, 257 ppm Fe) oder mit einem reduzierten Proteinatfutter (12 ppm Cu, 91 ppm Zn, 351 ppm Fe), wobei 50 % der Spurenelemente im Proteinatfutter in Sulfatform vorlagen. Die faecale Konzentration von Kupfer und Zink aus der Proteinatgruppe waren im Vergleich zur Sulfatgruppe niedriger ( $p < 0.05$ ). In einer weiteren Studie konnte durch den Einsatz von Kupfer-Aminosäurechelaten in niedriger Konzentration (60 ppm) die Kupferkonzentration im Faeces reduziert werden (Lee u.a., 2001).

### 11.2.3 Geflügel

#### Resorption

Eine Übersicht der Resorbierbarkeit von unterschiedlichen Kupferverbindungen bei Geflügel ist in Tabelle 34 dargestellt.

Der Kupfergehalt in der Leber wurde in acht Studien untersucht. In sechs Studien wurde der Cu-Gehalt in der Leber während einer Zufütterung mit organischem Kupfer gesteigert (vier Studien zu Kupfermethionin und zwei Studien zu Kupferproteinat). In einer Studie lag kein Unterschied zwischen der Kupferquelle vor (Kupfercitrat) und in einer weiteren Studie wurde, verglichen mit Kupfersulfat, ein geringerer Kupfer-Leber-Gehalt durch Kupfermethionin gemessen.

Kupfergehalte in Herz und Lunge wurden in jeweils einer Studie untersucht. Sowohl im Herz als auch in der Lunge wurde durch eine Supplementierung mit Kupferproteinat eine höhere Kupfereinlagerung festgestellt als durch eine anorganische Zufütterung. Bezogen auf die Kupfereinlagerung in der Tibia wurden in einer weiteren Studie geringere Kupferkonzentrationen durch Kupfermethioninzufütterung als durch Kupfersulfat gemessen und in einer anderen Studie keine Unterschiede zwischen Kupferproteinat und anorganischer Kupferquelle festgestellt.

Der Kupfergehalt im Plasma wurde in einer einzigen Studie betrachtet. Es konnte keine Beeinflussung zwischen den Kupferquellen beobachtet werden (Kupferproteinat). Demgegenüber konnte durch eine weitere Studie mit Kupfer-Aminosäure-Komplexen ein höherer Kupfer-Serumgehalt gemessen werden, als bei einer anorganischen Vergleichsgruppe.

**Tabelle 34: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Kupferverbindungen bei Geflügel**

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
Jegede u.a. (2011)	1) 50 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 100 ppm CuSO <sub>4</sub> 3) 150 ppm CuSO <sub>4</sub> 4) 50 ppm CuProt 5) 100 ppm CuProt 6) 150 ppm CuProt	Kupfergehalt Leber	CuProt (50 ppm): + 19,68 % <sup>1</sup>  CuProt (100 ppm): + 4,24 % <sup>1</sup>  CuProt (150 ppm): + 34,75 % <sup>1</sup>
		Kupfergehalt Herz	CuProt (50 ppm): + 25,68 % <sup>1</sup>  CuProt (100 ppm): + 5,32 % <sup>1</sup>  CuProt (150 ppm): + 12,64 % <sup>1</sup>
		Kupfergehalt Lunge	CuProt (50 ppm): + 8,11 % <sup>1</sup>  CuProt (100 ppm): + 91,58 % <sup>1</sup>  CuProt (150 ppm): + 13,4 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Guo u.a. (2001)</b>	1) 150 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 300 ppm CuSO <sub>4</sub> 3) 150 ppm CuLys 4) 300 ppm CuLys 5) 150 ppm CuAS 6) 300 ppm CuAS 7) 150 ppm CuProt 8) 300 ppm CuProt	Kupfergehalt Leber	CuLys (150 ppm): + 33,5 % <sup>1</sup>  CuAS (150 ppm): + 12,32 % <sup>1</sup>  CuProt (150 ppm): + 6,9 % <sup>1</sup>  CuAS (300 ppm): + 38,62 % <sup>1</sup>  CuLys (300 ppm): + 35,49 % <sup>1</sup>  CuProt (300 ppm): + 0,48 % <sup>1</sup>
<b>Paik u.a. (1999)</b>	1) Kontrolle: 10 ppm Cu  2) Kontrolle + 250 ppm CuSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 125 ppm CuMet  4) Kontrolle + 250 ppm CuMet	Kupfergehalt Leber	CuSO <sub>4</sub> (250 ppm): + 88,08 %  CuMet (250 ppm): + 15,54 %  CuMet (125 ppm): - 21,24 %
		Kupfergehalt Muskulatur	CuMet (250 ppm): + 32,00 %  CuSO <sub>4</sub> (250 ppm): + 1,78 %  CuMet (125 ppm): + 0,89 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Chowdhury u. a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 7,5 ppm Cu  2) Kontrolle + 50 ppm CuMet  3) Kontrolle + 100 ppm CuMet  4) Kontrolle + 150 ppm CuMet  5) Kontrolle + 200 ppm CuMet	Kupfergehalt Leber	Cu-Met (200 ppm): + 50,26 %  Cu-Met (150 ppm): + 33,68 %  Cu-Met (100 ppm): + 19,69 %  Cu-Met (50 ppm): + 3,11 %
<b>Bao u.a. (2010)</b>	1) Kontrolle: 7,4- 8,8 ppm Cu  2) 4 ppm CuSO <sub>4</sub>  3) 40 ppm CuSO <sub>4</sub>  4) 4 ppm CuProt	Kupfergehalt Tibia	CuSO <sub>4</sub> (40 ppm): - 6,25 %  CuProt: - 12,5 %  CuSO <sub>4</sub> (4 ppm): - 12,5 %
<b>Ewing u. a. (1998)</b>	1) Kontrolle: 9,34 ppm Cu  2) Kontrolle + 125 ppm CuSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 125 ppm CuCit	Kupfergehalt Leber	CuSO <sub>4</sub> : + 26,89 %  CuCit: + 25,21 %
		Kupfergehalt Plasma	CuCit: + 36,75 %  CuSO <sub>4</sub> : + 33,33 %
<b>El-Husseiny u. a. (2012)</b>	1) 16 ppm CuSO <sub>4</sub>  2) 16 ppm CuMet	Kupfergehalt Leber	CuMet: + 0,45% <sup>1</sup>
		Kupfergehalt Tibia	CuMet: - 34,58 % <sup>1</sup>
<b>Paik (2001)</b>	Kupfermethionin  Kupfersulfat	Gehalt in Leber	Cu-Met > Cu-Sulfat

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.



<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Lim u.a. (2003)</b>	1) 100 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 100 ppm CuMet	Kupfergehalt Leber	CuMet: + 18,22 % <sup>1</sup>
<b>Aoyagi u.a. (1992)</b>	1) Kontrolle: 0,56 ppm Cu 2) Kontrolle + 0,5 ppm CuSO <sub>4</sub> 3) Kontrolle + 1 ppm CuSO <sub>4</sub> 4) Kontrolle + 0,5 ppm CuLys 5) Kontrolle + 1 ppm CuLys	Kupfergehalt Gallenblase	Cu-Lys (1 ppm): + 1610,00 %  CuSO <sub>4</sub> (1 ppm): + 1285,00 %  CuSO <sub>4</sub> (0,5 ppm): + 525,00 %  Cu-Lys (0,5 ppm): +375,00 %
<b>Lee u.a. (2001)</b>	1) 120 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 60 ppm CuAS 3) 120 ppm CuAS	Kupfergehalt Serum	CuAS (170 ppm): + 14,09 % <sup>1</sup>  CuAS (85 ppm): - 7,38 % <sup>1</sup>
<b>Mabe u.a. (2003)</b>	1) Kontrolle: 4,95 ppm Cu 2) Kontrolle + 5 ppm CuSO <sub>4</sub> 3) Kontrolle + 10 ppm CuSO <sub>4</sub> 4) Kontrolle + 5 ppm CuAS 5) Kontrolle + 10 ppm CuAS	Kupfergehalt Eigelb	CuAS (5 ppm): +10,14 %  CuAS (10 ppm): + 7,09 %  CuSO <sub>4</sub> (10 ppm): +6,63 %  CuSO <sub>4</sub> (5 ppm): + 5,15 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

In einer Studie von Aoyagi u.a. (1992) wurden weibliche Eintagsküken über sieben Tage mit einer kupferreduzierten Casein-Soja-Basaldiät gefüttert. 80 Küken wurden im Anschluss in Fütterungsgruppen (0 ppm; 0,5 ppm; 1 ppm Kupfersulfat bzw. Kupferlysin) eingeteilt und nach vierzehn Tagen untersucht. Anhand der Kupferanreicherung in der Gallenblase schlussfolgerten Aoyagi u.a., dass Cu-Lys eine relative Bioverfügbarkeit von 120 % gegenüber Cu-Sulfat (100 %) aufwies. In einer Untersuchung von Jegede u.a. (2011) wurden 480 Broilern über 56 Tage Kupfer in Form von Kupfersulfat oder Kupferproteinat zugefüttert. Hierbei erhöhte das Kupferproteinat im Vergleich zu Kupfersulfat die Akkumulation von Kupfer im Blut, Herzen, Lunge, Leber und Knochen der Broiler. In einer Studie von Guo u.a. (2001) wurde die Bioverfügbarkeit (Kupfergehalt in der Leber) unterschiedlicher Kupferformen untersucht. In der Untersuchung mit 150 bzw. 300 ppm Kupfer wurden folgende Werte gemessen: Kupferlysin 124 %, Kupferaminosäurechelat 122 %, Kupferproteinat 111 % und Kupfersulfat 100 %. Somit war die gemessene Bioverfügbarkeit von Kupferlysin und Kupferaminosäurechelat signifikant höher ( $p < 0.05$ ) als bei Kupfersulfat. Eine weitere Studie von Ewing u.a. (1998) verglich 125 ppm und 63 ppm Kupfer in Form von Kupfercitrat und Kupfersulfat. In beiden Versuchen zeigte sich, dass die Konzentration von Kupfer in der Leber durch die Kupferquelle unberührt blieb. In einer Studie von Lim u.a. (2003) wurde festgestellt, dass bei Legehennen der Einsatz von 100 ppm Kupfermethionin zu einer höheren Kupferanreicherung in der Leber führte als 100 ppm Kupfersulfat. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Paik u.a. (2001) und Chowdhury u.a. (2007). Diese konnten belegen, dass auch Kupfermethionin zu erhöhten Kupferkonzentrationen in der Leber führte. Paik u.a. (1999) untersuchten die Auswirkungen von Kupfer an 200 Broilern, hierfür wurden in drei Gruppen jeweils 250 ppm Kupfersulfat, 250 ppm Kupfermethionin oder 125 ppm Kupfermethionin supplementiert. Nach einer Versuchsdauer von fünf Wochen wurde festgestellt, dass die Kupferanreicherung in der Leber und der Brustmuskulatur durch die Kupferform beeinflusst wurde. Während der Kupfergehalt in der Muskulatur bei einer Fütterung mit 250 ppm Kupfermethionin am höchsten lag (gefolgt von 250 ppm Kupfersulfat und 125 ppm Kupfermethionin), war die höchste Kupferanreicherung in der Leber bei einer anorganischen Kupferfütterung festzustellen. Bao u.a. (2010) untersuchten über 35 Tage den Einfluss verschiedener Spurenelementquellen an 800 Broilern. Hierbei wurden Kupfer (4 ppm), Zink (30 ppm), Mangan (40 ppm) und Eisen (20 ppm) als Mischration entweder als Sulfate oder Proteinat verfüttert. Nach Ende der Versuchsreihe konnte weder ein Unterschied der Ca-, P-, Cu-, Fe-, noch Zn-Konzentration in der Tibia zwischen den Spurenelementformen festgestellt werden. El-Husseiny u. a. (2012) verglichen den Einsatz einer Mischration aus organischen und anorganischen Spurenelementen an Eintagsküken. Hierfür wurden 100 ppm Zink, 120 ppm Mangan und 16 ppm Kupfer entweder als Zinkoxid, Manganoxid, Kupfersulfat oder Zinkproteinat,

Manganmethionin und Kupfermethionin zugefüttert. Nach der Versuchsdauer von neun Wochen, lag der Tibiagehalt an Zink und Mangan durch organische Zufütterung höher als durch anorganische Zufütterung, während der Kupfergehalt niedriger war. Die Zinkanreicherung in der Leber lag bei allen drei Elementen durch anorganische Fütterung geringgradig höher als durch organische. Lee u.a. (2001) untersuchten den unterschiedlichen Einfluss einer Fütterung mit Kupfer- und Zinksulfaten, Kupfer- und Zink-Aminosäure-Komplexen bzw. Kupferlysin und Zinkmethionin an 144 Eintagsküken. In Bezug auf die Zinkkonzentration im Serum konnten Küken, die mit 60 ppm Kupfer und 40 ppm Zink als Aminosäure-Komplex gefüttert wurden, einen höheren Gehalt erzielen als durch 120 ppm Kupfersulfat und 80 ppm Zinksulfat. In einer Studie von Mabe u.a. (2003) wurden Legehennen zu einer Basaldiät über fünf Wochen entweder mit 30 ppm Zink, 30 ppm Mangan und 5 ppm Kupfer oder 60 ppm Zink, 60 ppm und 10 ppm Kupfer in Form von Zinksulfat, Manganoxid, Kupfersulfat bzw. deren Aminosäure-Komplexen gefüttert. Der Gehalt an Zink und Mangan im Eigelb blieb hierbei von der Spurenelementform unbeeinflusst. Legehennen, die mit Aminosäuren-Komplexen gefüttert wurden hatten jedoch einen (statistisch nicht signifikanten) Anstieg des Kupfergehalts im Eigelb von 10 %. Das Eigewicht blieb ebenfalls von der Elementform unbeeinflusst.

## **Leistung**

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Kupferverbindungen bei Geflügel auf die Leistungseigenschaften ist in Tabelle 35 dargestellt

Die Körpermassenentwicklung wurde in insgesamt fünfzehn Studien untersucht, wovon in elf Studien ein Vorteil in der Zufütterung durch organisches Kupfer gesehen wurde (fünf Studien zu Kupfermethionin, drei Studien zu Kupferproteinat, zwei Studien zu Kupfercitrat und eine Studie zu Kupfer-Aminosäure-Komplexen). In vier weiteren Studien konnte kein Unterschied zwischen organischer und anorganischer Kupferverbindung gesehen werden (zwei Studien zu Kupferlysin und eine Studie zu Kupfer-Aminosäure-Komplexen und Kupferproteinat).

Die Legeleistung von Geflügel wurde in zwei Studien in Bezug auf die Kupferquelle untersucht. In beiden Studien konnte durch die organische Kupferverbindung die Legeleistung gesteigert werden.

**Tabelle 35: Untersuchung zu den Auswirkungen verschiedener Kupferverbindungen bei Geflügel auf die Leistungseigenschaften**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Jegede u.a. (2011)</b>	1) 30,8 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 30,8 ppm CuProt	Körpermassenentwicklung	CuProt: + 1,9 % <sup>1</sup>
<b>Guo u.a. (2001)</b>	1) 150 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 300 ppm CuSO <sub>4</sub> 3) 150 ppm CuLys 4) 300 ppm CuLys 5) 150 ppm CuAS 6) 300 ppm CuAS 7) 150 ppm CuProt 8) 300 ppm CuProt	Körpermassenentwicklung	CuLys (150 ppm): +4,31 % <sup>1</sup> CuProt (150 ppm): -0,13 % <sup>1</sup> CuAS (150 ppm): - 3,77 % <sup>1</sup> CuLys (300 ppm): - 0,83 % <sup>1</sup> CuProt (300 ppm): - 1,11 % <sup>1</sup> CuAS (300 ppm): - 1,67 % <sup>1</sup>
<b>Paik u.a. (1999)</b>	1) Kontrolle: 10 ppm Cu 2) Kontrolle + 250 ppm CuSO <sub>4</sub> 3) Kontrolle + 125 ppm CuMet 4) Kontrolle + 250 ppm CuMet	Körpermassenentwicklung	CuMet (125 ppm): + 4,58 % CuMet (250 ppm): + 3,99 % CuSO <sub>4</sub> (250 ppm): - 1,52 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Chowdhury u. a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 7,5 ppm Cu  2) Kontrolle + 50 ppm CuMet  3) Kontrolle + 100 ppm CuMet  4) Kontrolle + 150 ppm CuMet  5) Kontrolle + 200 ppm CuMet	Körpermassenentwicklung	CuMet (200 ppm): + 4,51 %  CuMet (50 ppm): + 4,25 %  CuMet (150 ppm): + 3,46 %  CuMet (100 ppm): + 2,29 %
<b>Mondal u. a. (2007)</b>	1) Kontrolle: 10,57-10,86 ppm Cu  2) Kontrolle + 200 ppm CuSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 400 ppm CuSO <sub>4</sub>  4) Kontrolle + 200 ppm CuProt  5) Kontrolle + 400 ppm CuProt	Körpermassenentwicklung	CuProt (400 ppm): + 7,97 %  CuSO <sub>4</sub> (400 ppm): + 5,80 %  CuProt (200 ppm): + 5,25 %  CuSO <sub>4</sub> (200 ppm): + 4,35 %
<b>Bao u.a. (2010)</b>	1) Kontrolle: 7,4-8,8 ppm Cu  2) 4 ppm CuSO <sub>4</sub>  3) 40 ppm CuSO <sub>4</sub>  4) 4 ppm CuProt	Körpermassenentwicklung	CuSO <sub>4</sub> (4 ppm): + 99,80 %  Cu-Prot: + 97,35 %  CuSO <sub>4</sub> (40 ppm): + 91,18 %
<b>Ewing u. a. (1998)</b>	1) Kontrolle: 9,34 ppm Cu  2) Kontrolle + 125 ppm CuSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 125 ppm CuCit	Körpermassenentwicklung	CuCit: + 7,95 %  CuSO <sub>4</sub> : + 3,51 %

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>EI-Husseiny u. a. (2012)</b>	1) 16 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 16 ppm CuMet	Körpermassenentwicklung	CuMet: + 7,12 % <sup>1</sup>
<b>Paik (2001)</b>	1) 100 ppm CuSO <sub>4</sub>	Körpermassenentwicklung	CuMet: + 3,12 % <sup>1</sup>
	2) 100 ppm CuMet	Legeleistung	CuMet: + 8 % <sup>1</sup>
<b>Pesti u.a. (1996)</b>	1) Kontrolle: 10,4 ppm Cu 2) Kontrolle + 125 ppm CuSO <sub>4</sub> 3) Kontrolle + 250 ppm CuSO <sub>4</sub> 4) Kontrolle + 63 ppm CuCit 5) Kontrolle + 125 ppm CuCit	Körpermassenentwicklung	CuCit (63 ppm): + 7,52 %  CuCit (125 ppm): + 4,51 %  CuSO <sub>4</sub> (125 ppm): + 4,17 %  CuSO <sub>4</sub> (250 ppm): + 4,17 %
<b>Lim u.a. (2003)</b>	1) 100 ppm CuSO <sub>4</sub>	Körpermassenentwicklung	CuMet: + 0,97 % <sup>1</sup>
	2) 100 ppm CuMet	Legeleistung	CuMet: + 3,72 % <sup>1</sup>
<b>Aoyagi u.a. (1992)</b>	1) Kontrolle: 0,56 ppm Cu 2) Kontrolle + 0,5 ppm CuSO <sub>4</sub> 3) Kontrolle + 1 ppm CuSO <sub>4</sub> 4) Kontrolle + 0,5 ppm CuLys 5) Kontrolle + 1 ppm CuLys	Körpermassenentwicklung	CuSO <sub>4</sub> (1 ppm): + 24,12 %  Cu-Lys (1 ppm): + 22,35 %  Cu-Lys (0,5 ppm): + 21,76 %  CuSO <sub>4</sub> (0,5 ppm): + 16,47 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
Lee u.a. (2001)	1) 120 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 60 ppm CuAS 3) 120 ppm CuAS	Körpermassenentwicklung	CuAS (60 ppm): + 9,92 % <sup>1</sup>  CuAS (120 ppm): + 4,73 % <sup>1</sup>

In einer Studie von Aoyagi u.a. (1992) wurden weibliche Eintagsküken über sieben Tage mit einer kupferreduzierten Casein-Soja-Basaldiät gefüttert. 80 Küken wurden im Anschluss in Fütterungsgruppen (0 ppm; 0,5 ppm; 1 ppm Kupfersulfat bzw. Kupferlysin) eingeteilt und nach vierzehn Tagen untersucht. Hierbei zeigte sich, dass die Gewichtszunahme wie auch die Futteraufnahme linear mit der Kupferkonzentration anstieg, jedoch war kein Unterschied innerhalb der Kupferquellen feststellbar. In einer Untersuchung von Jegede u.a. (2011) wurden 480 Broilern über 56 Tage Kupfer in Form von Kupfersulfat oder Kupferproteinat zugefüttert. Bereits nach 28 Tagen zeigte die organische Versuchsgruppe eine bessere Futterverwertung auf und nach 56 Tagen konnte ein signifikant erhöhtes Körpergewicht bei der Kupferproteinatgruppe nachgewiesen werden. In einem Vergleich von Mondal u.a. (2007) wurden 200 ppm und 400 ppm entweder als Kupfersulfat oder Kupferproteinat an Broiler verfüttert. Hierbei zeigte sich, dass Hühner, die mit Kupferproteinat gefüttert wurden, ein höheres Endgewicht erzielten als durch Kupfersulfat. Eine weitere Studie von Ewing u.a. (1998) verglich 125 ppm und 63 ppm Kupfer in Form von Kupfercitrat und Kupfersulfat. In beiden Versuchen zeigte sich, dass organisches Kupfer die Körpermassenentwicklung positiv beeinflussen konnte. Kupfercitrat wurde unter dem Aspekt der Futterverwertung ebenfalls von Pesti u.a. (1996) untersucht, dabei zeigte sich, dass Kupfercitrat in einer Konzentration von 125 ppm das Körpergewicht stärker beeinflusste als 250 ppm Kupfersulfat. Lim u.a. (2003) stellten fest, dass bei Mastgeflügel durch Zufütterung von Kupfermethionin, im Vergleich zu Kupfersulfat (jeweils 100 ppm), die Futterverwertung verbessert und bei Legehennen die Legeleistung und Eierschalenqualität verbessert werden konnte. In einer Studie von Paik u.a. (1999) wurden Broiler zu einer Basisdiät mit 10 ppm Kupfer entweder mit 125 ppm bzw. 250 ppm Kupfermethionin oder 250 ppm Kupfersulfat gefüttert. Während sich die Gewichtszunahmen der Hühner zwischen den beiden genannten Methioninzugaben nicht unterschieden, waren sie doch signifikant ( $p < 0.05$ ) höher als durch eine Supplementierung

---

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

mit 250 ppm Kupfersulfat. Paik u.a. (2001) und Chowdhury u.a. (2007) verglichen Kupfersulfat mit Kupfermethionin. Zwischen den Kupferquellen und Kupfergehalten konnte in beiden Studien kein signifikanter Unterschied in der Gewichtszunahme der Broiler beobachtet werden. Guo u.a. (2001) verglichen den Einsatz von unterschiedlichen Kupferkonzentrationen und -formen bei Eintagsküken. Hierfür wurden 150 ppm, 300 ppm und 450 ppm Kupfersulfat mit 150 ppm und 300 ppm Kupferlysin, Kupfer-Aminosäure-Komplexe oder Kupferproteinat untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass sich die unterschiedlichen Fütterungsgruppen nicht in ihrer Körpermassenentwicklung unterschieden. Bao u.a. (2010) untersuchten über 35 Tage den Einfluss verschiedener Spurenelementquellen an 800 Broilern. Hierbei wurden Kupfer (4 ppm), Zink (30 ppm), Mangan (40 ppm) und Eisen (20 ppm) als Mischration entweder als Sulfate oder Proteinat verfüttert. Während des Versuchs konnte kein Unterschied in der Körpermassenentwicklung zwischen den eingesetzten Spurenelementquellen festgestellt werden. El-Husseiny u. a. (2012) verglichen den Einsatz einer Mischration aus organischen und anorganischen Spurenelementen an Eintagsküken. Hierfür wurden 100 ppm Zink, 120 ppm Mangan und 16 ppm Kupfer entweder als Zinkoxid, Manganoxid, Kupfersulfat oder Zinkproteinat, Manganmethionin und Kupfermethionin zugefüttert. Über die Versuchsdauer von neun Wochen konnte die Körpermassenzunahme durch die organischen Spurenelemente merklich gesteigert werden. Lee u.a. (2001) untersuchten den unterschiedlichen Einfluss einer Fütterung mit Kupfer- und Zinksulfaten, Kupfer- und Zink-Aminosäure-Komplexen bzw. Kupferlysin und Zinkmethionin an 144 Eintagsküken. In Bezug auf die Gewichtszunahme konnten Küken, die mit 60 ppm Kupfer und 40 ppm Zink als Aminosäure-Komplexe gefüttert wurden, ein höheres Endgewicht erzielen als durch 120 ppm Kupfersulfat und 80 ppm Zinksulfat.

### **Immunität**

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Kupferverbindungen bei Geflügel auf die Immunität ist in Tabelle 36 dargestellt.

Die Kupferverbindung wirkte sich in zwei untersuchten Studien (Kupfermethionin und Kupferproteinat) auf die Mortalität der Ferkel aus. Ebenso konnte sowohl der Immunglobulingehalt im Serum als auch die Inzidenz von Ferkeldurchfall und der Aktivität der alkalischen Phosphatase in jeweils einer untersuchten Studie keinen Unterschied zwischen der eingesetzten Kupferquelle aufzeigen (Immunglobuline: Kupfermethionin; AP: Kupferproteinat; Ferkeldurchfall: Kupfermethionin).



**Tabelle 36: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Kupferverbindungen auf die Immunität bei Geflügel**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Mondal u. a. (2007)</b>	1) Kontrolle: 10,57-10,86 ppm Cu  2) Kontrolle + 200 ppm CuSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 400 ppm CuSO <sub>4</sub>  4) Kontrolle + 200 ppm CuProt  5) Kontrolle + 400 ppm CuProt	Konzentration GSH	CuSO <sub>4</sub> (200 ppm): - 4,15 %  CuProt (200 ppm): - 7,5 %  CuSO <sub>4</sub> : (400 ppm): - 10,12 %  CuProt (400 ppm): - 13,43 %
<b>Bao u.a. (2010)</b>	1) Kontrolle: 7,4-8,8 ppm Cu  2) 4 ppm CuSO <sub>4</sub>  3) 40 ppm CuSO <sub>4</sub>  4) 4 ppm CuProt	Sterblichkeit	CuProt: - 36,00 %  CuSO <sub>4</sub> : - 40,00 %
<b>El-Husseiny u. a. (2012)</b>	1) 16 ppm CuSO <sub>4</sub>  2) 16 ppm CuMet	Sterblichkeit	CuMet: - 80 % <sup>1</sup>
<b>Lim u.a. (2003)</b>	1) 100 ppm CuSO <sub>4</sub>  2) 100 ppm CuMet	IgG-Konzentration Serum	CuMet: + 4,86 % <sup>1</sup>

In einer Studie von Lim u.a. (2003) wurde festgestellt, dass bei Legehennen der Einsatz von 100 ppm Kupfermethionin im Vergleich zu 100 ppm Kupfersulfat, den IgG-Gehalt im Serum nicht beeinflusste. El-Husseiny u. a. (2012) verglichen den Einsatz einer Mischration aus organischen und anorganischen Spurenelementen an Eintagsküken. Hierfür wurden 100 ppm Zink, 120 ppm Mangan und 16 ppm Kupfer entweder als Zinkoxid, Manganoxid, Kupfersulfat

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

oder Zinkproteinat, Manganmethionin und Kupfermethionin zugefüttert. Über die Versuchsdauer von neun Wochen, wurde durch organische Supplementierung die Sterblichkeitsrate um 80% verringert. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Bao u.a. (2010). Diese untersuchten über 35 Tage den Einfluss verschiedener Spurenelementquellen an 800 Broilern. Hierbei wurden Kupfer (4 ppm), Zink (30 ppm), Mangan (40 ppm) und Eisen (20 ppm) als Mischration entweder als Sulfate oder Proteinate verfüttert. Während des Versuchs konnte kein Unterschied in der Sterblichkeitsrate zwischen den eingesetzten Spurenelementquellen festgestellt werden. 200 Eintagsküken wurden von Mondal u.a. (2007) auf den Einfluss von 200 ppm und 400 ppm Kupfersulfat bzw. Kupferproteinat hin untersucht. Hierbei konnte zwischen den Kupferquellen kein Einfluss auf die Aktivität der alkalischen Phosphatase und der GSH gemessen werden.

### Sonderleistungen

Eine Übersicht der Sonderleistungen von unterschiedlichen Kupferverbindungen bei Geflügel ist in Tabelle 37 dargestellt.

Die faecale Ausscheidung konnte in allen fünf betrachteten Studien durch organische Kupferverbindungen im Vergleich zu anorganischem Kupfer gedrosselt werden (drei Studien zu Kupfermethionin und jeweils eine Studie zu Kupferproteinat und Kupfer-Aminosäure-Komplexen).

**Tabelle 37: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Kupferverbindungen auf Geflügel**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Lee u.a. (2001)</b>	1) 120 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 60 ppm CuAS 3) 120 ppm CuAS	faecale Kupferausscheidung	CuAS (60 ppm): + 32,09 % <sup>1</sup>  CuAS (120 ppm): + 20,94 % <sup>1</sup>
<b>Nollet u.a. (2007)</b>	1) 12 ppm CuSO <sub>4</sub> 2) 2,5 ppm CuProt	faecale Kupferausscheidung	CuProt: - 43,75 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Paik u.a. (1999)</b>	1) Kontrolle: 10 ppm Cu  2) Kontrolle + 250 ppm CuSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 125 ppm CuMet  4) Kontrolle + 250 ppm CuMet	faecale Kupferausscheidung	CuSO <sub>4</sub> : + 421,74 %  CuMet (250 ppm): + 250,52 %  CuMet (125 ppm): + 131,42 %
<b>El-Husseiny u. a. (2012)</b>	1) 16 ppm CuSO <sub>4</sub>  2) 16 ppm CuMet	faecale Kupferausscheidung	CuMet: + 19,57 % <sup>1</sup>

Lee u.a. (2001) verglichen die faecale Kupferausscheidung von Kupferaminosäurechelaten (Cu 85 ppm) mit Kupfersulfat (170 ppm). Die Metallaminosäurechelate führten hierbei zu einem geringeren ( $p < 0.05$ ) Kupfergehalt im Faeces als die entsprechenden Sulfatformen. Nollet u.a. (2007) verglichen Kupfer (2,5 ppm) als Proteinat mit 12 ppm Kupfer als Sulfat. Die faecale Ausscheidung der Elemente war im Falle der Proteinatform im Vergleich zu den Sulfaten signifikant erniedrigt (Cu 55 %). Auch Nollet u.a. (1999) konnten bei organischen Spurenelementen (125 ppm und 250 ppm Kupfermethionin) niedrigere Mineralgehalte im Faeces feststellen als durch anorganische Zufütterung (250 ppm Kupfersulfat). Paik u.a. (1999) untersuchten die Auswirkungen von Kupfer an 200 Broilern, hierfür wurden in drei Gruppen jeweils 250 ppm Kupfersulfat, 250 ppm Kupfermethionin oder 125 ppm Kupfermethionin supplementiert. Nach einer Versuchsdauer von fünf Wochen wurde festgestellt, dass die Kupferanreicherung im Faeces durch 250 ppm Kupfersulfat erheblich höher lag, als bei einer Kupfermethioninfütterung gleicher Konzentration (Kupfersulfat 808 ppm in Faeces; Kupfermethionin 545 ppm in Faeces). El-Husseiny u. a. (2012) verglichen den Einsatz einer Mischration aus organischen und anorganischen Spurenelementen an Eintagsküken. Hierfür wurden 100 ppm Zink, 120 ppm Mangan und 16 ppm Kupfer entweder als Zinkoxid, Manganoxid, Kupfersulfat oder Zinkproteinat, Manganmethionin und Kupfermethionin zugefüttert. Nach der Versuchsdauer von neun Wochen, lag der Gehalt an Zink, Kupfer und Mangan im Kot bei organischer Fütterung höher als bei anorganischer Zufütterung.

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

### 11.3 Selen

In Bezug auf Selen wurden bei allen untersuchten Nutztierarten am häufigsten die Selen-Gehalte in der Leber, im Blut und in der Milch sowie die Körpermassenentwicklung als Indikator der Bioverfügbarkeit genutzt.

Insgesamt wurden 50 Studien zu Selen näher untersucht. Hierbei entfielen 13 auf Rinder, 22 auf Geflügel und 15 auf Schweine.

#### 11.3.1 Rinder

##### Resorption

Eine Übersicht der Resorbierbarkeit von unterschiedlichen Selenverbindungen bei Rindern ist in Tabelle 38 dargestellt.

Durch eine organische Selenzufütterung konnte bei allen untersuchten Studien zu untenstehenden Parametern eine deutlichere Steigerung der Seleneinlagerung nachgewiesen werden als durch die anorganische Vergleichsgruppe: Selen-Gehalten in Leber (2), Niere (2), Herz (2), Gehirn (1), Milch (4), Blutserum (2), Vollblut (7) und Kolostrum (3).

Demgegenüber wurde der Selen-Gehalt im Blut-Plasma in zwei Studien nicht von der Selenquelle beeinflusst.

**Tabelle 38: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Selenverbindungen bei Rindern**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Nicholson u.a. (1991)</b>	1) Kontrolle 2) 0,1 ppm Natriumselenit 3) 0,1 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Serum	selenangereicherte Hefe: + 213,33 %  Natriumselenit: + 126,67 %

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Gunter u.a. (2003)</b>	1) Kontrolle 2) 26 ppm Natriumselenit 3) 26 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Vollblut Rinder	selenangereicherte Hefe: + 101,08 %  Natriumselenit: + 61,29 %
		Selengehalt Vollblut Kälber	selenangereicherte Hefe: + 139,22 %  Natriumselenit: + 29,41 %
<b>Davis u.a. (2008)</b>	1) 0,2 ppm Natriumselenit 2) 20 ppm Natriumselenit 3) 30 ppm Natriumselenit 4) 40 ppm Natriumselenit 5) 0,2 ppm selenangereicherte Hefe 6) 20 ppm selenangereicherte Hefe 7) 30 ppm selenangereicherte Hefe 8) 40 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Serum	selenangereicherte Hefe (0,2 ppm): + 110,42 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (20 ppm): + 179,73 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (30 ppm): + 162,27 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (40 ppm): + 49,96 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
		Selengehalt Gehirn	selenangereicherte Hefe (0,2 ppm): + 378,13 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (20 ppm): + 418,96 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (30 ppm): + 581,43 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (40 ppm): + 172,34 % <sup>1</sup>
		Selengehalt Herz	selenangereicherte Hefe (0,2 ppm): + 299,37 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (20 ppm): + 525,53 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (30 ppm): + 459,65 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (40 ppm): + 444,62 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
		Selengehalt Leber	selenangereicherte Hefe (0,2 ppm): + 489,10 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (20 ppm): - 26,17 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (30 ppm): + 220,45 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (40 ppm): - 58,76 % <sup>1</sup>
		Selengehalt Nieren	selenangereicherte Hefe (0,2 ppm): + 164,06 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (20 ppm): + 70,31 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (30 ppm): + 177,87 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (40 ppm): + 30,08 % <sup>1</sup>
<b>Juniper u.a. (2008)</b>	1) 0,3 ppm Natriumselenit  2) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Vollblut	selenangereicherte Hefe (0,5 ppm): + 46,13 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 11,27 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
	3) 0,5 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Leber	selenangereicherte Hefe (0,5 ppm): + 90,38 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 25 % <sup>1</sup>
Selengehalt Nieren		selenangereicherte Hefe (0,5 ppm): + 28 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 20 % <sup>1</sup>	
Selengehalt Herz		selenangereicherte Hefe (0,5 ppm): + 76,39 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 19,44 % <sup>1</sup>	
<b>Pehrson u.a. (1999)</b>	1) 0,3 ppm Natriumselenit	Selengehalt Vollblut	selenangereicherte Hefe: + 30,36 % <sup>1</sup>
	2) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Plasma	selenangereicherte Hefe: + 44,64 % <sup>1</sup>
		Selengehalt Milch	selenangereicherte Hefe: + 49,57 % <sup>1</sup>
<b>Guyot u.a. (2007)</b>	1) 0,5 ppm Natriumselenit	Selengehalt Plasma	selenangereicherte Hefe: + 36,26 % <sup>1</sup>
	2) 0,5 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Kolostrum	selenangereicherte Hefe: + 100,00 % <sup>1</sup>
		Selengehalt Milch	selenangereicherte Hefe: + 333,33 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.



<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Slavik u.a. (2008)</b>	1) Kontrolle	Selengehalt Vollblut	selenangereicherte Hefe: + 108,96 %
	2) 0,5 ppm Natriumselenit		Natriumselenit: + 53,30 %
	3) 0,5 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Milch	selenangereicherte Hefe: + 196,97 % Natriumselenit: + 80,30 %
		Selengehalt Kolostrum	selenangereicherte Hefe: + 356,19 % Natriumselenit: + 79,05 %
<b>Ortman &amp; Pehrson (1999)</b>	1) Kontrolle	Selengehalt Vollblut	selenangereicherte Hefe: + 60 %
	2) 0,3 ppm Natriumselenit		Natriumselenit: + 50 %
	3) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Milch	selenangereicherte Hefe: + 130 % Natriumselenit: + 20 %
<b>Awadeh u.a. (1998b)</b>	1) 60 ppm Natriumselenit	Selengehalt Vollblut	selenangereicherte Hefe: + 19,14 % <sup>1</sup>
	2) 60 ppm selenangereicherte Hefe		
<b>Cortinhas u.a. (2012)</b>	1) 0,4 ppm Natriumselenit	Selengehalt Plasma	selenangereicherte Hefe: 0 % <sup>1</sup>
	2) 0,4 ppm selenangereicherte Hefe		

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

In einer Studie von Juniper u.a. (2008) wurden unterschiedliche Selenformen untersucht. 0,15 ppm bzw. 0,35 ppm Selen wurden in organischer und anorganischer Form verglichen. Organisches Selen führte hierbei im direkten Vergleich der jeweiligen Konzentration zu stärkeren Selenanreicherungen im Vollblut, Herzen, Leber und Niere. Auch Davis u.a. (2008) konnten Unterschiede zwischen den Selenverbindungen und -konzentrationen feststellen. Sowohl der Selengehalt im Blutserum, Herz, Leber als auch in den Nieren wurde im direkten Vergleich der Selenkonzentration (0,2 ppm, 20 ppm, 30 ppm und 40 ppm) durch selenangereicherte Hefe gesteigert. Die Selenkonzentration im Gewebe stieg hierbei linear mit dem Selengehalt der Futtermittelration. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Pehrson u.a. (1999), die Kälber mit 30 ppm Selen, als Natriumselenit oder selenangereicherte Hefe, fütterten. Der durchschnittliche Selengehalt im Vollblut bei Kälbern mit organischem Selen lag hierbei bei 130 µg/l verglichen mit 84 µg/l bei Natriumselenit. Guyot u.a. (2005) und Slavik u.a. (2008) zeigten bei organischem Selen einen stärkeren Übergang von Selen in Vollblut und Kolostrum bzw. Milch und sprachen sich für eine bessere Verfügbarkeit von selenangereicherter Hefe gegenüber Natriumselenit in gleicher Konzentration aus (0,5 ppm). Auch Ortman & Pehrson (1999) sprachen sich für eine bessere Verfügbarkeit von organischem Selen gegenüber Natriumselenit aus. Durch selenangereicherte Hefe wurde neben der Selenkonzentration in der Milch auch der Selengehalt im Vollblut stärker erhöht als in der anorganischen Vergleichsgruppe. Awadeh u.a. (1998a) verglichen den Einsatz von Selen (20 ppm, 60 ppm oder 120 ppm Natriumselenit bzw. 60 ppm selenangereicherte Hefe) an 60 Rindern, beginnend 90 Tage vor dem Abkalbetermin. Die Selenkonzentration im Blut der Rinder lag bei einer Fütterung mit 60 ppm selenangereicherter Hefe höher als bei 60 ppm Natriumselenit. Ebenso lag die Selenanreicherung im Kolostrum durch eine Fütterung mit 60 ppm selenangereicherter Hefe höher als bei 20 ppm, 60 ppm oder 120 ppm Natriumselenit. In einer weiteren Untersuchung von Awadeh u.a. (1998b) verglichen diese den Einsatz von Selen (20 ppm, 60 ppm oder 120 ppm Natriumselenit bzw. 60 ppm selenangereicherte Hefe) an 12 Rindern, beginnend 90 Tage vor dem Abkalbetermin. Die Selenkonzentration im Vollblut der Rinder lag bei einer Fütterung mit 60 ppm selenangereicherter Hefe höher als bei 60 ppm Natriumselenit und war vergleichbar mit einer Fütterung mit 120 ppm Natriumselenit. Nicholson u.a. (1991) verglichen in ihrer Studie den Einsatz von organischem und anorganischem Selen in einer Konzentration von 0,1 ppm. Nach einer vierwöchigen Versuchsdauer konnte durch den Einsatz der organischen Selenquelle ein höherer Blutselengehalt ( $p < 0.01$ ) festgestellt werden als durch anorganische Supplementation. In einer weiteren Studie untersuchten Gunter u.a. (2003) an 120 trächtigen Rindern die Auswirkungen einer ad libitum Fütterung mit 26 ppm Selen als Natriumselenit oder

---

selenangereicherter Hefe. Nach einer Versuchsdauer von zwei Jahren konnte gezeigt werden, dass der Selengehalt im Vollblut bei einer Fütterung mit organischem Selen um 23 % höher lag als bei einer anorganischen Fütterung. Ähnliches konnte in Bezug auf die neugeborenen Kälber festgestellt werden. Hierbei hatten Kälber von Rindern der organischen Selengruppe höhere Selenvollblutkonzentrationen als Kälber von Rindern der anorganischen Gruppe. In einem weiteren Fütterungsversuch von Cortinhas u.a. (2012) wurden 24 Rinder ab Tag 60 ante partum in zwei Gruppen mit unterschiedlichen Spurenelementquellen (Aminosäure-Komplexe oder Sulfate) gefüttert (in Abhängigkeit ihres Fortpflanzungsstadiums erhielten die Rinder von Tag 60 bis 29 a.p. 42,8 ppm Zn, 21,4 ppm Cu und 0,4 ppm Se. Von Tag 28 a.p. bis zur Kalbung erhielten sie 47,6 ppm Zn, 24,7 ppm Cu und 0,5 ppm Se, sowie bis zum 80. Laktationstag 47 ppm Zn, 24,2 ppm Cu und 0,4 ppm Se). Über den gesamten Studienverlauf konnte hierbei kein Unterschied in der Plasmakonzentration der untersuchten Elemente zwischen den Spurenelementquellen festgestellt werden.

## Leistung

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Selenverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Rindern ist in Tabelle 39 dargestellt.

In Bezug auf die Körpermassenentwicklung zeigte sich in fünf untersuchten Studien kein nennenswerter Unterschied zwischen Natriumselenit und selenangereicherter Hefe, während in einer Studie durch organisches Selen eine höhere Gewichtsentwicklung erzielt wurde als durch anorganisches Selen.

Die Milchleistung blieb in einer untersuchten Studie von der Selenverbindung unbeeinflusst.

Die Trächtigkeitsrate konnte in einer Studie nicht durch die Selenquelle beeinflusst werden. Ebenso war in Bezug auf das Geburtsgewicht und die Sterblichkeit der Nachkommen in jeweils einer Studie kein Unterschied zwischen Natriumselenit und Selen-angereicherter Hefe festzustellen. Lediglich in einer Studie zur Körpermassenentwicklung der Nachkommen lag ein Vorteil durch die Verfütterung von Selen-angereicherter Hefe vor.

**Tabelle 39: Untersuchung zu den Auswirkungen verschiedener Selenverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Rindern**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Nicholson u.a. (1991)</b>	1) Kontrolle 2) 0,1 ppm Natriumselenit 3) 0,1 ppm selenangereicherte Hefe	Körpermassenentwicklung	Natriumselenit: + 0,96 %  selenangereicherte Hefe: + 0,32 %
<b>Gunter u.a. (2003)</b>	1) Kontrolle 2) 26 ppm Natriumselenit 3) 26 ppm selenangereicherte Hefe	Körpermassenentwicklung	selenangereicherte Hefe: + 2,89 %  Natriumselenit: + 2,12 %

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
		Trächtigkeitsrate	Natriumselenit: - 3,57 %  selenangereicherte Hefe: - 4,82 %
		Gewicht Nachkommen	selenangereicherte Hefe: + 1,69 %  Natriumselenit: + 0,85 %
		Körpermassenentwicklung Nachkommen	Natriumselenit: + 4,56 %  selenangereicherte Hefe: + 1,91 %
<b>Awadeh u.a. (1998a)</b>	1) 60 ppm Natriumselenit  2) 60 ppm selenangereicherte Hefe	Körpermassenentwicklung Nachkommen	selenangereicherte Hefe: - 8,2 % <sup>1</sup>
<b>Guyot u.a. (2007)</b>	1) 0,5 ppm Natriumselenit  2) 0,5 ppm selenangereicherte Hefe	Körpermassenentwicklung Nachkommen	selenangereicherte Hefe: + 40,20 % <sup>1</sup>
<b>Cortinhas u.a. (2012)</b>	1) 0,4 ppm Natriumselenit	Körpermassenentwicklung	selenangereicherte Hefe: - 2,91 % <sup>1</sup>
	2) 0,4 ppm selenangereicherte Hefe	Milchleistung	selenangereicherte Hefe: + 2,15 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Awadeh u.a. (1998a) verglichen den Einsatz von Selen (20 ppm, 60 ppm oder 120 ppm Natriumselenit bzw. 60 ppm selenangereicherte Hefe) an 60 Rindern, beginnend 90 Tage vor dem Abkalbetermin. Hierbei konnte kein Unterschied der Gewichtszunahme und Trächtigkeitsrate zwischen den Selenquellen und –gehalten festgestellt werden. Ferner konnte gezeigt werden, dass Kälber von Kühen, die mit selenangereicherter Hefe gefüttert wurden, ab der Geburt höhere Selenblutkonzentrationen aufwiesen als Kälber von Kühen die mit Natriumselenit gleicher Konzentration gefüttert wurden. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Cortinhas u.a. (2012), die 24 Rinder ab Tag 60 ante partum in zwei Gruppen mit unterschiedlichen Spurenelementquellen (Aminosäure-Komplexe oder Sulfate) fütterten. In Abhängigkeit ihres Fortpflanzungsstadiums erhielten die Rinder von Tag 60 bis 29 a.p. 42,8 ppm Zn, 21,4 ppm Cu und 0,4 ppm Se. Von Tag 28 a.p. bis zur Kalbung erhielten sie 47,6 ppm Zn, 24,7 ppm Cu und 0,5 ppm Se sowie bis zum 80. Laktationstag 47 ppm Zn, 24,2 ppm Cu und 0,4 ppm Se. Über den gesamten Studienverlauf konnte kein Unterschied der Körpermassenentwicklung zwischen den Spurenelementquellen festgestellt werden. Auch die Milchleistung und –menge blieb unberührt. Nicholson u.a. (1991) verglichen in ihrer Studie den Einsatz von organischem und anorganischem Selen in einer Konzentration von 0,1 ppm. Nach einer vierwöchigen Versuchsdauer konnte durch den Einsatz beider Selenquellen keine unterschiedliche Körpergewichtsentwicklung festgestellt werden. In einer weiteren Studie untersuchten Gunter u.a. (2003) an 120 trächtigen Rindern die Auswirkungen einer ad libitum Fütterung mit 26 ppm Selen als Natriumselenit oder selenangereicherter Hefe. Hierbei konnte gezeigt werden, dass sich innerhalb der Versuchsdauer von zwei Jahren weder die Körpermassenentwicklung, die Konzeptionsrate, das Geburtsgewicht der Kälber noch die Körpermassenzunahme der Kälber durch die Selenquelle beeinflussen lies. Guyot u.a. (2005) beobachteten eine stärkere Körpermassenentwicklung bei Kälbern von Kühen, die mit organischem Selen gefüttert wurden, als von Kühen, die mit Natriumselenit in gleicher Konzentration (0,5 ppm) gefüttert wurden.

## Immunität

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Selenverbindungen bei Rindern auf die Immunität ist in Tabelle 40 dargestellt.

Die Aktivität der Glutathionperoxidase konnte in fünf Studien durch selenangereicherte Hefe gegenüber Natriumselenit gesteigert werden, während in drei weiteren Studien kein Unterschied zwischen den Selenquellen vorlag.

Die Inzidenz von Kälberdurchfall lag in einer Studie bei Zufütterung mit selenangereicherter Hefe niedriger als in einer Natriumselenit-Kontrollgruppe.

**Tabelle 40: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Selenverbindungen auf die Immunität bei Rindern**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Nicholson u.a. (1991)</b>	1) Kontrolle	Aktivität GSH-Px Serum	selenangereicherte Hefe: + 376,92 %  Natriumselenit: + 269,23 %
	2) 0,1 ppm Natriumselenit		
	3) 0,1 ppm selenangereicherte Hefe		
<b>Gunter u.a. (2003)</b>	1) Kontrolle	Aktivität GSH-Px Serum Rinder	selenangereicherte Hefe: + 43,24 %
	2) 26 ppm Natriumselenit		Natriumselenit: + 36,49 %
	3) 26 ppm selenangereicherte Hefe	Aktivität GSH-Px Serum Nachkommen	selenangereicherte Hefe: + 97,92 %  Natriumselenit: + 26,04 %

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Juniper u.a. (2008)</b>	4) 0,3 ppm Natriumselenit 5) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe 6) 0,5 ppm selenangereicherte Hefe	Aktivität GSH-Px Serum	selenangereicherte Hefe (0,5 ppm): + 39,67 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 6,89 % <sup>1</sup>
<b>Pehrson u.a. (1999)</b>	1) 0,3 ppm Natriumselenit 2) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Aktivität GSH-Px Serum	selenangereicherte Hefe: + 25,47 % <sup>1</sup>
<b>Guyot u.a. (2007)</b>	1) 0,5 ppm Natriumselenit 2) 0,5 ppm selenangereicherte Hefe	Kälberdurchfall	selenangereicherte Hefe: - 71,43 % <sup>1</sup>
<b>Slavik u.a. (2007<sup>8</sup>)</b>	1) Kontrolle 2) 0,5 ppm Natriumselenit 3) 0,5 ppm selenangereicherte Hefe	Aktivität GSH-Px Serum	selenangereicherte Hefe: + 94,55 %  Natriumselenit: + 51,40 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.



Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Ortman &amp; Pehrson (1997)</b>	1) 0,3 ppm Natriumselenit 2) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe 3) 0,75 ppm selenangereicherte Hefe	Aktivität GSH-Px Serum	selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 15 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (0,75 ppm): - 10 % <sup>1</sup>
<b>Ortman &amp; Pehrson (1999)</b>	1) Kontrolle 2) 0,3 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Aktivität GSH-Px Serum	selenangereicherte Hefe: + 42,86 %  Natriumselenit: + 28,57 %
<b>Juniper u.a. (2014)</b>	1) Kontrolle: 0,16 ppm Se 2) 0,3 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe 4) 0,5 ppm selenangereicherte Hefe	Aktivität GSH-Px Serum	selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 77,15 %  selenangereicherte Hefe (0,5 ppm): + 45,02 %  Natriumselenit: + 27,04 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Ortman und Pehrson (1997) untersuchten den Einsatz von Natriumselenit und selenangereicherter Hefe in einer Konzentration von jeweils 3 ppm. Nach einem neunmonatigen Versuch wurde die Aktivität der GSH-Px nicht durch die Selenquelle beeinflusst. In einer Untersuchung von Juniper u.a. (2014) wurde u.a. die Auswirkung auf die Glutathion-Peroxidase-Aktivität von selenangereicherter Hefe mit Natriumselenit verglichen. Sie stellten hierbei fest, dass durch selenangereicherte Hefe eine höhere Aktivität ( $p < 0.05$ ) von GSH-Px im Vollblut erreicht werden konnte. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch Pehrson u.a. (1999), die durch den Einsatz von 0,3 ppm Selen als selenangereicherte Hefe einen Anstieg der GSH-Px-Aktivität gegenüber Natriumselenit beobachten konnten. Ein weiterer Vergleich von Guyot u.a. (2007) und Slavik u. a. (2008) zwischen einer Supplementation von 0,5 ppm mit unterschiedlichen Selenquellen zeigte eine leicht erhöhte Konzentration von Glutathion-Peroxidase bei der niedrigeren Supplementation mit selenangereicherter Hefe. O'Donoghue und Boland (2002) verglichen Selenverbindungen mit anorganischen Kontrollgruppen bei laktierenden Kühen und konnten bei der Fütterung mit organischen Verbindungen einen Rückgang der somatischen Zellzahlen dokumentieren ( $p < 0.05$ ). Awadeh u.a. (1998a) verglichen den Einsatz von Selen (20 ppm, 60 ppm oder 120 ppm Natriumselenit bzw. 60 ppm selenangereicherte Hefe) an 60 Rindern, beginnend 90 Tage vor dem Abkalbetermin. In dem zweijährigen Versuch konnte kein Einfluss der Selenquelle auf die Aktivität der GPX nachgewiesen werden. Untersuchungen der Immunglobuline G und M im Plasma zeigten, dass die chemische Form des Selens keinen Effekt auf die IgG-Konzentration der Rinder und Kälber hatte, wohingegen die IgM-Konzentration im Plasma von Rindern, die mit 60 ppm selenangereicherter Hefe gefüttert wurden, höher lag als durch 60 ppm Natriumselenit. Hierbei lag der Plasma-IgM-Gehalt von Kälbern jedoch gleich auf zwischen den erwähnten Selenquellen (60 ppm). Nicholson u.a. (1991) verglichen in ihrer Studie den Einsatz von organischem und anorganischem Selen in einer Konzentration von 0,1 ppm. Nach einer vierwöchigen Versuchsdauer konnte durch den Einsatz der organischen Selenquelle eine signifikant ( $p < 0.01$ ) höhere Aktivität der GSH-Px im Blut festgestellt werden. In einer weiteren Studie untersuchten Gunter u.a. (2003) an 120 trächtigen Rindern die Auswirkungen einer ad libitum Fütterung mit 26 ppm Selen als Natriumselenit oder selenangereicherter Hefe. Hierbei konnte gezeigt werden, dass sich die GSH-Px Aktivität der Rinder nicht durch die Selenquelle beeinflussen lies. Demgegenüber konnte bei neugeborenen Kälbern von Rindern der organischen Selengruppe eine höhere Aktivität der GSH-Px festgestellt werden als bei Kälbern von Rindern der anorganischen Selengruppe. In einer Studie von Juniper u.a. (2008) wurden 32 Rinder mit 0,3 ppm Selen als Natriumselenit oder selenangereicherter Hefe gefüttert. Hierbei wurde durch organische Selenfütterung eine höhere Konzentration der Aktivität der GSH-Px gemessen.

### 13.3.2. Schweine

#### Resorption

Eine Übersicht der Resorbierbarkeit von unterschiedlichen Selenverbindungen bei Schweinen ist in Tabelle 41 dargestellt.

Die Selenanreicherung im Vollblut konnte bei vier Studien durch organisches Selen höhere Werte erreichen als durch eine anorganische Selenform, während in einer Studie kein Unterschied vorlag. Ähnliche Ergebnisse trafen auf den Selengehalt des Blutserums zu. Hierbei konnte in drei Fällen durch die organische Selenquelle ein höherer Wert gemessen werden, während in einem weiteren Fall kein Unterschied bestand.

Die Selenanreicherung in der Leber war in sechs Studien bei einer Zufütterung mit selenangereicherter Hefe höher als durch Natriumselenit, während in zwei weiteren Studien hierbei kein Unterschied festgestellt wurde. Des Weiteren konnte in jeweils zwei Studien zum Selengehalt in der Lunge und in der Niere und in einer Studie zu den Hoden, der Cauda epididimidis und den akzessorischen Geschlechtsdrüsen höhere Werte durch selenangereicherte Hefe gemessen werden. Demgegenüber wurde in zwei Studien kein abweichender Selengehalt in den Nieren in Abhängigkeit der Selenform festgestellt.

Der Selengehalt in der Milch und im Kolostrum wurde durch selenangereicherte Hefe in jeweils sechs Studien stärker erhöht als durch anorganisches Selen, wobei in einer weiteren Studie zum Selengehalt im Kolostrum kein Unterschied zu Natriumselenit vorlag.

**Tabelle 41: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Selenverbindungen bei Schweinen**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Ortman &amp; Pehrson (1998)</b>	1) 0,3 ppm Natriumselenit	Gehalt in Vollblut	selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 33,96 % <sup>1</sup>
	2) 0,1 ppm selenangereicherte Hefe		selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): + 26,42 % <sup>1</sup>
	3) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Gehalt in Leber	selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 35 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): + 35 % <sup>1</sup>
<b>Speight u.a. (2012)</b>	1) Kontrolle 2) Natriumselenit 3) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Vollblut	selenangereicherte Hefe: + 644,94 %  Natriumselenit: + 541,95 %
<b>Mahan &amp; Peters (2004)</b>	1) Kontrolle 2) 0,15 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm Natriumselenit 4) 0,15 ppm selenangereicherte Hefe 5) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Milch	selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 152,5 %  selenangereicherte Hefe (0,15 ppm): + 67,50 %  Natriumselenit (0,3 ppm): + 40,00 %  Natriumselenit (0,15 ppm): + 37,50 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
		Selengehalt Kolostrum	selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 124 %  selenangereicherte Hefe (0,15 ppm): + 101,33 %  Natriumselenit (0,3 ppm): + 26,67 %  Natriumselenit (0,15 ppm): + 25,33 %
		Selengehalt Serum	selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 108,14 %  Natriumselenit (0,3 ppm): + 88,37 %  Natriumselenit (0,15 ppm): + 86,05 %  selenangereicherte Hefe (0,15 ppm): + 67,44 %
		Selengehalt Leber	selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 162,08 %  selenangereicherte Hefe (0,15 ppm): + 95,64 %  Natriumselenit (0,3 ppm): + 91,61 %  Natriumselenit (0,15 ppm): + 51,01 %

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
		Selengehalt Lunge	selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 189,19 %  selenangereicherte Hefe (0,15 ppm): + 78,38 %  Natriumselenit (0,3 ppm): + 24,32 %  Natriumselenit (0,15 ppm): + 24,32 %
		Selengehalt Niere	Natriumselenit (0,3 ppm): + 31,84 %  Natriumselenit (0,15 ppm): + 20,18 %  selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 12,11 %  selenangereicherte Hefe (0,15 ppm): + 7,62 %
<b>Yoon &amp; McMillan (2006)</b>	1) Kontrolle 2) 0,3 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Serum	selenangereicherte Hefe: + 13,37 %  Natriumselenit: + 3,49 %
		Selengehalt Kolostrum	selenangereicherte Hefe: + 45,95 %  Natriumselenit: + 10,81 %

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Zhan u.a. (2011)</b>	1) 0,3 ppm Natriumselenit	Selengehalt Kolostrum	selenangereicherte Hefe: + 11,76 % <sup>1</sup>
	2) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Milch	selenangereicherte Hefe: +18,18 % <sup>1</sup>
<b>Kim &amp; Mahan (2001)</b>	1) 0,3 ppm Natriumselenit	Selengehalt Serum	selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 18,79 % <sup>1</sup>
	2) 3 ppm Natriumselenit		selenangereicherte Hefe (3 ppm): - 9,61 % <sup>1</sup>
	3) 7 ppm Natriumselenit		selenangereicherte Hefe (7 ppm): + 8,51 % <sup>1</sup>
	4) 10 ppm Natriumselenit		selenangereicherte Hefe (10 ppm): + 10,95 % <sup>1</sup>
	5) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe		selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 11,46 % <sup>1</sup>
	6) 3 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Leber	selenangereicherte Hefe (3 ppm): - 21,02 % <sup>1</sup>
	7) 7 ppm selenangereicherte Hefe		selenangereicherte Hefe (7 ppm): + 41,6 % <sup>1</sup>
	8) 10 ppm selenangereicherte Hefe		selenangereicherte Hefe (10 ppm): + 5,44 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Mahan (2000)</b>	1) Kontrolle 2) 0,15 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm Natriumselenit 4) 0,15 ppm selenangereicherte Hefe 5) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Kolostrum	selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 102,15 %  selenangereicherte Hefe (0,15 ppm): + 40,86 %  Natriumselenit (0,3 ppm): 0 %  Natriumselenit (0,15 ppm): - 34,41 %
		Selengehalt Milch	selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 356,52 %  selenangereicherte Hefe (0,15 ppm): + 213,04 %  Natriumselenit (0,3 ppm): + 56,52 %  Natriumselenit (0,15 ppm): + 17,39 %
<b>Mahan &amp; Kim (1996)</b>	1) 0,1 ppm Natriumselenit 2) 0,3 ppm Natriumselenit 3) 0,1 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Milch	selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): + 24,39 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 104,55 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.



Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
	4) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Serum Ferkel	selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): + 2,07 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 2,05 % <sup>1</sup>
		Selengehalt Kolostrum	selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): + 2,33 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 5,45 % <sup>1</sup>
<b>Mahan &amp; Parrett (1996)</b>	1) Kontrolle 2) 0,1 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm Natriumselenit 4) 0,5 ppm Natriumselenit 5) 0,1 ppm selenangereicherte Hefe 6) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe 7) 0,5 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Leber	selenangereicherte Hefe (0,5 ppm): + 305,86 %  selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 231,98 %  Natriumselenit (0,5 ppm): + 214,86 %  Natriumselenit (0,3 ppm): + 204,05 %  Natriumselenit (0,1 ppm): + 121,62 %  selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): + 110,36 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
		Selengehalt Nieren	<p>Natriumselenit (0,5 ppm): + 166,19 %</p> <p>Natriumselenit (03 ppm): + 150,50 %</p> <p>selenangereicherte Hefe (0,5 ppm): + 116,83 %</p> <p>selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 113,27 %</p> <p>Natriumselenit (0,1 ppm): + 85,38 %</p> <p>selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): + 52,64 %</p>
		Selengehalt Pankreas	<p>selenangereicherte Hefe (0,5 ppm): + 97,01 %</p> <p>selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 66,85 %</p> <p>selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): + 33,15 %</p> <p>Natriumselenit (03 ppm): + 31,52 %</p> <p>Natriumselenit (0,5 ppm): + 24,73 %</p> <p>Natriumselenit (0,1 ppm): + 18,21 %</p>

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Zhan u.a. (2007)</b>	1) Kontrolle 2) 0,3 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Leber	selenangereicherte Hefe: + 166,67 %  Natriumselenit: + 96,30 %
<b>Cao u.a. (2014)</b>	1) Kontrolle 2) 0,3 ppm Natriumselenit 3) 0,1 ppm selenangereicherte Hefe 4) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe 5) 0,5 ppm selenangereicherte Hefe 6) 0,7 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Plasma	selenangereicherte Hefe (0,7 ppm): + 122,22 %  selenangereicherte Hefe (0,5 ppm): + 100 %  selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 88,89 %  selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): + 55,56 %  Natriumselenit: + 33,33 %
<b>Quesnel u.a. (2008)</b>	1) 0,3 ppm Natriumselenit	Selengehalt Kolostrum	selenangereicherte Hefe: + 20,45 % <sup>1</sup>
	2) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Milch	selenangereicherte Hefe: + 107,00 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
Yuan u.a. (2011)	1) 0,15 ppm Natriumselenit	Selengehalt Leber	selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 33,68 % <sup>1</sup>
	2) 0,3 ppm Natriumselenit		selenangereicherte Hefe (0,15 ppm): + 21,43 % <sup>1</sup>
	3) 0,15 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Nieren	selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 31,39 % <sup>1</sup>
	4) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe		selenangereicherte Hefe (0,15 ppm): + 13,03 % <sup>1</sup>
		Selengehalt Pankreas	selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 31,39 % <sup>1</sup>
			selenangereicherte Hefe (0,15 ppm): + 13,03 % <sup>1</sup>
		Selengehalt Muskulatur	selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 31,39 % <sup>1</sup>
			selenangereicherte Hefe (0,15 ppm): + 13,03 % <sup>1</sup>

Ortman und Pehrson (1998) beobachteten, dass Ferkel, die mit 0,3 ppm Natriumselenit oder selenangereicherter Hefe zugefüttert wurden, nach 103 Tagen durch organische Supplementation signifikant höhere Selenkonzentrationen in der Leber aufwiesen. Speight u.a. (2012) untersuchten den Einfluss von 0,3 ppm organischem und anorganischem Selen auf die Entwicklung von 117 Saugferkeln. Hierbei konnte festgestellt werden, dass der Einsatz von organischem Selen zu höheren Selenkonzentrationen in Lunge, Leber und Niere der Ferkel führte. Yuan u.a. (2011) konnten durch selenangereicherte Hefe und Selenmethionin

---

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

im Vergleich zu Natriumselenit (jeweils 0,3 ppm) höhere Selengehalte in Leber, Niere, Pankreas und Brustmuskulatur feststellen. Ebenfalls konnten Cao (2014), Mahan und Peters (2004) und Svoboda u.a. (2008) durch 0,3 ppm organisches Selen im Vergleich zur gleichen Konzentration von anorganischem Selen eine Steigerung der Selenkonzentration im Blut beobachten. Mahan und Parrett führten eine Studie über Selensupplementierung mit Mastschweinen durch (Mahan & Parrett, 1996). Die Studie enthielt sechs Gruppen, von denen drei jeweils ansteigende Konzentrationen von Natriumselenit oder selenangereicherter Hefe erhielten (Selengehalt jeweils 0,1 ppm, 0,3 ppm oder 0,5 ppm). Der Selengehalt der Muskeln nahm mit zunehmender Selenkonzentration der Nahrung in der selenangereicherten Hefegruppe stärker zu als in der Natriumselenitgruppe. Ebenfalls konnten Yoon & McMillan (2006) in Abhängigkeit von der Selenquelle (je 0,3 ppm) eine erhöhte Kolostrum- und Serum-Selenkonzentration bei einer organischen Selenfütterung feststellen. In einer weiteren Studie stellte Mahan fest, dass eine dosisabhängige Selenaufnahme (jeweils 0,15 ppm oder 0,3 ppm) in das Kolostrum und die Milch bei der Fütterung von Muttersauen mit selenangereicherter Hefe wesentlich effektiver war als bei der Fütterung mit Natriumselenit (Mahan, 2000). Die Schweine in der Selen-Hefe-Gruppe hatten auch dosisabhängige Selenplasmakonzentrationen, die ebenfalls höher waren als die der Natriumselenitgruppe. Auch eine Analyse von Kolostrum und Milch von Zhan u.a. konnte zeigen, dass eine Fütterung mit 0,3 ppm Selenomethionin während der Trächtigkeit eine Erhöhung des Selengehalts im Kolostrum um 21,2 % nach sich zog und dieser Effekt auch in der Milch nachgewiesen werden konnte (Zhan u.a., 2011). Quesnel u.a. (2008) beobachteten bei Schweinen, die mit einer organischen Selenquelle gefüttert wurden, erhöhte Selenkonzentrationen im Kolostrum (33 %), 89 % in der Milch und 28 % im Vollblut im Vergleich zur Fütterung von 0,3 ppm Natriumselenit. Kim & Mahan (2001) verglichen ebenfalls 0,3 ppm Selen in Form von selenangereicherter Hefe und Natriumselenit. Sowohl die Selenkonzentrationen im Blutserum als auch in der Leber wurden durch organisches Selen signifikant erhöht ( $p < 0.01$ ). Ähnliche Ergebnisse in Bezug auf den Selengehalt in der Leber bemerkten Zhan u.a. (2007). Bei einer Supplementierung mit 0,3 ppm Selen zeigten sowohl die organische als auch die mineralische Selengruppe erhöhte Leber-Selen-Konzentrationen, wobei der Lebergehalt durch organisches Selen am höchsten lag.

Mahan und Kim (1996) konnten zeigen, dass sowohl eine Zufütterung bei Ferkeln und Muttersauen mit 0,1 ppm als auch 0,3 ppm organischem Selen zu höheren Selenanreicherungen im Blutserum der Ferkel und in der Milch der Sauen führte als bei einer anorganischen Selenform gleicher Konzentration. Demgegenüber wurde die Selenkonzentration im Kolostrum der Muttersauen nicht durch die Selenform beeinflusst.

## Leistung

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Selenverbindungen bei Schweinen auf die Leistungseigenschaften ist in Tabelle 42 dargestellt.

Die Körpermassenentwicklung konnte in zwei Studien durch selenangereicherte Hefe stärker gesteigert werden als durch eine anorganische Verbindung und wurde in drei weiteren Studien nicht durch die Selenform beeinflusst.

Weder die Trächtigkeitsrate noch die Anzahl der Nachkommen wurde in den untersuchten Studien durch die Selenform beeinflusst.

**Tabelle 42: Untersuchung zu den Auswirkungen verschiedener Selenverbindungen auf Leistungseigenschaften bei Schweinen**

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
Speight u.a. (2012)	1) Kontrolle	Körpermassenentwicklung	selenangereicherte Hefe: + 3,20 %
	2) 0,3 ppm Natriumselenit		Natriumselenit: 0 %
	3) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Gewicht Hoden	selenangereicherte Hefe: + 10,82 % Natriumselenit: - 3,08 %
		Gewicht akzessorische Geschlechtsdrüsen	selenangereicherte Hefe: + 4,88 % Natriumselenit: + 2,37 %

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Mahan &amp; Peters (2004)</b>	1) Kontrolle 2) 0,15 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm Natriumselenit 4) 0,15 ppm selenangereicherte Hefe 5) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Körpermassenwachstum	Natriumselenit (0,15 ppm): + 3,74 %  selenangereicherte Hefe (0,15 ppm): + 2,00 %  selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 0,26 %  Natriumselenit (0,3 ppm): - 2,09 %
		Anzahl Nachkommen	selenangereicherte Hefe (0,15 ppm): + 17,61 %  Natriumselenit (0,3 ppm): + 15,49 %  selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 14,58 %  Natriumselenit (0,15 ppm): + 10,77 %
		Anzahl lebender Nachkommen	selenangereicherte Hefe (0,15 ppm): + 18,27 %  selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 17,33 %  Natriumselenit (0,3 ppm): + 14,30 %  Natriumselenit (0,15 ppm): + 7,41 %

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Mahan u.a. (1999)</b>	1) Kontrolle 2) 0,15 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm Natriumselenit 4) 0,15 ppm selenangereicherte Hefe 5) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Körpermassenentwicklung	Natriumselenit (0,3 ppm): - 3,59 %  Natriumselenit (0,15 ppm): -4,62 %  selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): - 4,62 %  selenangereicherte Hefe (0,15 ppm): - 5,12 %
<b>Mahan &amp; Parrett (1996)</b>	1) Kontrolle 2) 0,1 ppm Natriumselenit 3) 0,2 ppm Natriumselenit 4) 0,5 ppm Natriumselenit 5) 0,1 ppm selenangereicherte Hefe 6) 0,2 ppm selenangereicherte Hefe 7) 0,5 ppm selenangereicherte Hefe	Körpermassenentwicklung	selenangereicherte Hefe (0,5 ppm): + 1,25 %  Natriumselenit (0,1 ppm): 0%  Natriumselenit (0,5 ppm): 0 %  selenangereicherte Hefe (0,2 ppm): - 2,5 %  selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): - 3,75 %  Natriumselenit (0,2 ppm): - 3,75 %
<b>Ma u.a. (2014)</b>	1) 0,3 ppm Natriumselenit	Anzahl Nachkommen	selenangereicherte Hefe: + 13,33 % <sup>1</sup>
	2) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Trächtigkeitsrate	selenangereicherte Hefe: - 2,18 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.



---

In einer Untersuchung von Shipp u.a. (2008) wurde durch Supplementierung von 0,3 ppm organischem Selen eine höhere Körpermassenentwicklung festgestellt als durch Natriumselenit gleicher Konzentration. Mahan und Parrett führten eine Studie über Selensupplementierung mit Mastschweinen durch (Mahan & Parrett, 1996). Die Studie enthielt sechs Gruppen, von denen drei jeweils ansteigende Konzentrationen von Natriumselenit oder selenangereicherter Hefe erhielten (Selengehalt jeweils 0,1 ppm, 0,3 ppm oder 0,5 ppm). Die Nahrungsaufnahme und Gewichtszunahme unterschieden sich hierbei nicht signifikant zwischen den verschiedenen Gruppen. In einer weiteren Studie verglich Mahan (1999) 0,3 ppm organisches und mineralisches Selen. Weder die Futteraufnahme noch das Sauengewicht wurde von der Selenquelle hierbei beeinflusst.

Speight u.a. (2012) untersuchten den Einfluss von organischem und anorganischem Selen auf die Entwicklung von 117 Saugferkeln. Während sich die Körpermassenentwicklung nach der Säugephase nicht zwischen den Selenformen unterschied, konnte in der folgenden Aufzuchtphase durch selenangereicherte Hefe ein höheres Körpergewicht erzielt werden. Zusätzlich konnten bei Ferkeln von Muttersauen der organischen Selengruppe höhere Selenkonzentrationen in den akzessorischen Geschlechtsdrüsen festgestellt werden.

In einem Experiment von Mahan und Peters (2004) wurde u.a. die Körpermassenentwicklung von 126 neugeborenen Ferkeln untersucht, deren Muttersauen hierfür entweder mit 0,15 ppm oder 0,3 ppm Selen als selenangereicherte Hefe oder Natriumselenit zugefüttert wurden. Es konnte festgestellt werden, dass sich weder die Selenquelle noch die Selenkonzentration auf die Anzahl der Nachkommen und die Gewichtsentwicklung der Ferkel auswirkte.

In einer Studie von Ma u.a. (2014) wurden Schweine ebenfalls mit 0,3 ppm Selen aus einer organischen und einer mineralischen Quelle gefüttert. Sowohl die Trächtigkeitsrate als auch die Anzahl der Nachkommen konnte durch selenangereicherte Hefe erhöht werden.

## Immunität

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Selenverbindungen bei Schweinen auf die Immunität ist in Tabelle 43 dargestellt.

Die Aktivität der Glutathionperoxidase konnte durch die organische Selenform in fünf Studien stärker gesteigert werden als durch die anorganische Vergleichsgruppe. Demgegenüber wurde die GSH-Px-Aktivität im Blutserum in sechs Studien nicht von der Selenverbindung beeinflusst. Ferner blieb der Immunglobulin G-, M- und A- Gehalt im Serum in zwei Studien durch die Selenform unbeeinflusst. Zusätzlich konnte auch der IgG-Gehalt im Kolostrum in zwei weiteren Studien nicht durch die Selenverbindung beeinflusst werden.

**Tabelle 43: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Selenverbindungen auf die Immunität bei Schweinen**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Ortman &amp; Pehrson (1998)</b>	1) 0,3 ppm Natriumselenit 2) 0,1 ppm selenangereicherte Hefe 3) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Aktivität GSH-Px Serum	selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 9 % <sup>1</sup> selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): + 0,67 % <sup>1</sup>
<b>Mahan &amp; Peters (2004)</b>	1) Kontrolle 2) 0,15 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm Natriumselenit 4) 0,15 ppm selenangereicherte Hefe 5) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Aktivität GSH-Px Serum	selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 18,32 % Natriumselenit (0,15 ppm): + 15,77 % Natriumselenit (0,3 ppm): + 7,95 % selenangereicherte Hefe (0,15 ppm): + 4,97 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Zhan u.a. (2011)</b>	1) 0,3 ppm Natriumselenit  2) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Aktivität GSH-Px Serum Nachkommen	selenangereicherte Hefe: + 15,48 % <sup>1</sup>
<b>Mahan u.a. (1999)</b>	1) Kontrolle 2) 0,05 ppm Natriumselenit 3) 0,1 ppm Natriumselenit 4) 0,2 ppm Natriumselenit 5) 0,3 ppm Natriumselenit 6) 0,05 ppm selenangereicherte Hefe 7) 0,1 ppm selenangereicherte Hefe 8) 0,2 ppm selenangereicherte Hefe 9) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Aktivität GSH-Px Serum	selenangereicherte Hefe (0,2 ppm): + 106,23 %  selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 98,36 %  Natriumselenit (0,3 ppm): + 94,59 %  Natriumselenit (0,2 ppm): + 90,98 %  selenangereicherte Hefe (0,05 ppm): + 86,56 %  Natriumselenit (0,1 ppm): + 85,90 %  selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): + 82,13 %  Natriumselenit (0,05 ppm): + 76,39 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Mahan &amp; Kim (1996)</b>	1) 0,1 ppm Natriumselenit 2) 0,3 ppm Natriumselenit 3) 0,1 ppm selenangereicherte Hefe 4) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Aktivität GSH-Px Serum	selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): + 4,55 % <sup>1</sup> selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): - 13,73 % <sup>1</sup>
<b>Mahan &amp; Parrett (1996)</b>	1) Kontrolle 2) 0,1 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm Natriumselenit 4) 0,5 ppm Natriumselenit 5) 0,1 ppm selenangereicherte Hefe 6) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe 7) 0,5 ppm selenangereicherte Hefe	Aktivität GSH-Px Serum	Natriumselenit (0,5 ppm): + 132,12 % selenangereicherte Hefe (0,5 ppm): + 124,58 % selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 122,63 % Natriumselenit (0,3 ppm): + 109,50 % Natriumselenit (0,1 ppm): + 100,56 % selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): + 75,70 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
Zhan u.a. (2007)	1) Kontrolle 2) 0,3 ppm Natriumselenit	Aktivität GSH-Px Leber	selenangereicherte Hefe: + 60,87 % Natriumselenit: + 50,00 %
	3) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Aktivität GSH-Px Muskulatur	selenangereicherte Hefe: + 60,00 % Natriumselenit: + 40,00 %
Cao u.a. (2014)	1) Kontrolle 2) 0,3 ppm Natriumselenit 3) 0,1 ppm selenangereicherte Hefe 4) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe 5) 0,5 ppm selenangereicherte Hefe 6) 0,7 ppm selenangereicherte Hefe	Aktivität GSH-Px Serum	selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 12,28 % selenangereicherte Hefe (0,5 ppm): + 9,87 % selenangereicherte Hefe (0,7 ppm): + 9,11 % selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): + 6,37 % Natriumselenit: - 1,66 %
		Gehalt IgA Serum	selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 8,41 % selenangereicherte Hefe (0,5 ppm): + 6,54 % selenangereicherte Hefe (0,7 ppm): + 2,8 % selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): + 1,87 % Natriumselenit: - 1,87 %

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
		Gehalt IgM Serum	selenangereicherte Hefe (0,7 ppm): + 6,82 % selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 3,41 % selenangereicherte Hefe (0,5 ppm): 0 % selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): - 4,55 % Natriumselenit: - 11,36 %
		Gehalt IgG Serum	selenangereicherte Hefe (0,7 ppm): + 3,33 % selenangereicherte Hefe (0,5 ppm): + 0,92 % selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 0,46 % selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): - 1,84 % Natriumselenit: - 2,07 %
<b>Quesnel u.a. (2008)</b>	1) 0,3 ppm Natriumselenit 2) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Gehalt IgG Kolostrum	selenangereicherte Hefe: - 26,84 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Yoon &amp; McMillan (2006)</b>	1) Kontrolle 2) 0,3 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Aktivität GSH-Px Serum	selenangereicherte Hefe: + 3,17 %  Natriumselenit: + 2,47 %
<b>Mahan (2000)</b>	1) Kontrolle 2) 0,15 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm Natriumselenit 4) 0,15 ppm selenangereicherte Hefe 5) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Aktivität GSH-Px Serum	selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 16,04 %  selenangereicherte Hefe (0,15 ppm): + 14,87 %  Natriumselenit (0,3 ppm): + 10,16 %  Natriumselenit (0,15 ppm): - 21,39 %

Durch selenangereicherte Hefe konnte in Studien verschiedener Autoren der Gehalt an Antioxidantien im Vergleich zu Natriumselenit deutlich gesteigert werden (Mahan, 1999). Zhan u.a. (2007, 2011) und Cao u.a. (2014) wiesen diesen positiven Effekt auch für Selenmethionin nach. So konnten Cao u.a. durch den Vergleich von 0,3 ppm Natriumselenit mit 0,1 ppm, 0,3 ppm, 0,5 ppm oder 0,7 ppm Selenmethionin zum einen durch die organische Selenform eine gesteigerte Aktivität der GSH-Px im Serum feststellen, aber zum anderen keine unterschiedlichen Effekte auf die Serumgehalte von IgA, IgM und IgG. Demgegenüber konnten in Studien von Ortman & Pehrson (1998), Mahan & Kim (1996), Svoboda u.a. (2008), Yoon & McMillan (2006) und Mahan & Peters (2004) keine unterschiedlichen GSH-Px Gehalte im Vollblut von Schweinen in Abhängigkeit von der Selenquelle bei einer Konzentration von 0,3 ppm Se nachgewiesen werden. Ähnliche Ergebnisse konnte Mahan feststellen. Die GSH-Px-Plasmakonzentration, die 7 und 14 Tage post partum gemessen wurde, war jeweils in den beiden 0,3 ppm Gruppen (Se-Hefe und Natriumselenit) niedriger als in den 0,5 ppm Gruppen. Der 14-Tage-Wert in den beiden 0,5 ppm Gruppen war höher als der 7-Tage-Wert, jedoch unterschieden sich die Se-Hefe-Gruppen nicht von den Natriumselenitgruppen in Bezug auf post partum Selenplasmagehalt (Mahan, 2000). Ebenso konnten Quesnel u.a. (2008) keinen

Einfluss unterschiedlicher Selenquellen (je 0,3 ppm) auf den IgG-Gehalt im Kolostrum feststellen. Ähnliche Ergebnisse zeigte auch eine frühere Studie derselben Gruppe, in der Mast- und Zuchtschweine mit selenangereicherter Hefe oder mit Natriumselenit supplementiertem Futter gefüttert wurden (Mahan & Parrett, 1996). Auch hier erhöhten sich der Selenplasmagehalt sowie die GSH-Px-Konzentration mit höherer Selendosierung für beide Darreichungsformen bis zum Erreichen eines Plateaus. Signifikante Unterschiede in der GSH-Px-Konzentration zwischen Se-Hefe und Natriumselenit wurden bei höheren Selenkonzentrationen nicht festgestellt. In der geringsten Konzentrationsgruppe (0,1 ppm) war die GSH-Px-Konzentration in der Natriumselenitgruppe höher als in der Se-Hefe-Gruppe, woraus die Autoren schlossen, dass die Bioverfügbarkeit von Selen für die GSH-Px-Aktivität mit Natriumselenit höher war. Ferner konnten Shipp u.a. (2008) bei einer organischen Selensupplementierung einen Rückgang der Ferkelsterblichkeit im Vergleich zu Natriumselenit bei gleicher Selenkonzentration (0,3 ppm Se) feststellen.



### 11.3.3 Geflügel

#### Resorption

Eine Übersicht der Resorbierbarkeit von unterschiedlichen Selenverbindungen bei Geflügel ist in Tabelle 44 dargestellt.

Durch eine organische Selenzufütterung konnte in einer Studie sowohl der Selengehalt im Plasma als auch in einer weiteren Studie der Selengehalt im Serum gegenüber einer anorganischen Selenzufütterung gesteigert werden, während in einer Studie kein Unterschied im Selenplasmagehalt gemessen werden konnte.

Die Selenanreicherung in der Leber lag in allen drei untersuchten Studien durch eine organische Selenform höher als durch eine anorganische Selenverbindung. Ähnliche Ergebnisse konnten in Bezug auf die Selenanreicherung in der Brustmuskulatur (vier Studien), den Nieren (drei Studien), den Eiern (sechs Studien), und dem Pankreas (drei Studien) beobachtet werden.

**Tabelle 44: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Selenverbindungen bei Geflügel**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Wang &amp; Xu (2008)</b>	1) Kontrolle 2) 0,2 ppm Natriumselenit 3) 0,2 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Nieren	selenangereicherte Hefe: + 163,89 % Natriumselenit: + 116,67 %
		Selengehalt Leber	selenangereicherte Hefe: + 100,00 % Natriumselenit: + 58,82 %
		Selengehalt Pankreas	selenangereicherte Hefe: + 133,33 % Natriumselenit: + 91,67

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Payne &amp; Southern (2005)</b>	1) Kontrolle	Selengehalt Plasma	selenangereicherte Hefe: + 23,08 % Natriumselenit: + 5,39 %
	2) 0,3 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Muskulatur	selenangereicherte Hefe: + 147,88 % Natriumselenit: + 15,46 %
<b>Wang u.a. (2011)</b>	1) 0,15 ppm Natriumselenit	Selengehalt Serum	selenangereicherte Hefe: + 8,96 % <sup>1</sup>
	2) 0,15 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Leber	selenangereicherte Hefe: + 9,76 % <sup>1</sup>
		Selengehalt Nieren	selenangereicherte Hefe: + 15,22 % <sup>1</sup>
		Selengehalt Pankreas	selenangereicherte Hefe: + 13,33 % <sup>1</sup>
		Selengehalt Muskulatur	selenangereicherte Hefe: + 30 % <sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Payne u.a. (2005)</b>	1) Kontrolle 2) 0,15 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm Natriumselenit 4) 0,6 ppm Natriumselenit 5) 3 ppm Natriumselenit 6) 0,15 ppm selenangereicherte Hefe 7) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe 8) 0,6 ppm selenangereicherte Hefe 9) 3 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Ei	selenangereicherte Hefe (3 ppm): + 786,35 % selenangereicherte Hefe (0,6 ppm): + 169,08 % Natriumselenit (3 ppm): + 157,43 % selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 98,80 % selenangereicherte Hefe (0,15 ppm): + 47,00 % Natriumselenit (0,6 ppm): + 31,33 % Natriumselenit (0,3 ppm): + 20,08 % Natriumselenit (0,15 ppm): + 14,06 %
<b>Wang u.a. (2007)</b>	1) Kontrolle 2) 0,2 ppm Natriumselenit 3) 0,2 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Nieren	selenangereicherte Hefe: + 163,89 % Natriumselenit: + 116,67 %
		Selengehalt Leber	selenangereicherte Hefe: + 100,00 % Natriumselenit: + 58,82 %
		Selengehalt Pankreas	selenangereicherte Hefe: + 133,33 % Natriumselenit: + 91,67 %

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Arpášová u. a. (2009)</b>	1) Kontrolle 2) 0,4 ppm Natriumselenit 3) 0,4 ppm selenangereicherte Hefe 4) 0,9 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Vollblut	selenangereicherte Hefe (0,9 ppm): + 205,88 %  Natriumselenit (0,4 ppm): + 152,94 %  selenangereicherte Hefe (0,4 ppm): + 147,06 %
<b>Leeson u.a. (2008)</b>	1) 0,1 ppm Natriumselenit 2) 0,3 ppm Natriumselenit 3) 0,1 ppm selenangereicherte Hefe 4) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Muskulatur	selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): 0 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 25,00 % <sup>1</sup>
		Selengehalt Ei	selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): + 0,83 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 1,56 % <sup>1</sup>
		Selengehalt Plasma	selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): - 11,90 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 6,74 % <sup>1</sup>
<b>Dobrzaski u.a. (2003)</b>	1) 0,5 ppm Natriumselenit 2) 0,5 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Ei	selenangereicherte Hefe: + 10,39 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Briens u.a. (2013)</b>	1) Kontrolle 2) 0,1 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm Natriumselenit 4) 0,1 ppm selenangereicherte Hefe 5) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Selengehalt Muskulatur	selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 533,3 % selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): + 166,7 % Natriumselenit (0,3 ppm): + 120,0 % Natriumselenit (0,1 ppm): + 100,0 %

Wang u.a. (2007) verglichen 0,2 ppm Selen (Natriumselenit und selenangereicherte Hefe). Während das Endgewicht der untersuchten Hühner von der gewählten Selenquelle unbeeinflusst blieb, zeigten sich bei organischem Selen stärkere Selenkonzentrationen in Niere, Leber und Pankreas. In einer Studie von Leeson u.a. (2008) wurden die Auswirkungen von organischem und anorganischem Selen auf Hühner untersucht. In ihrem Experiment wurden 48 Zuchthennen mit 0,1 ppm bzw. 0,3 ppm Selen beider Quellen über 45 Tage gefüttert. Während der Plasmaselengehalt nicht durch die Selenform und -konzentration beeinflusst wurde, wurde der Selengehalt in der Brustmuskulatur und im Ei durch organisches Selen stärker erhöht als durch die jeweilige anorganische Selenkonzentration. Arpášová u.a. (2009) konnten durch organisches Selen keine höheren Anreicherungen von Selen im Vollblut im Vergleich zu Natriumselenit in gleicher Konzentration (0,4 ppm) beobachten. Wang und Xu (2008) führten einen Fütterungsversuch mit 90 Broilern über 21 Tage durch. Hierbei wurden zwei Versuchsgruppen mit 0,2 ppm Selen in organischer oder anorganischer Form gefüttert und die Selenanreicherungen in Niere, Leber und Pankreas gegenübergestellt. Es konnte gezeigt werden, dass innerhalb der Versuchsdauer kein Unterschied zwischen Natriumselenit und selenangereicherter Hefe bestand. In einer Studie von Payne und Southern (2005) wurden Eintagsküken mit 0,3 ppm Selen (organisch oder anorganisch) über 49 Tage gefüttert und beobachtet. Die Anreicherung von Selen in die Brustmuskulatur und im Blutplasma lag hierbei höher als durch die Fütterung mit Natriumselenit der gleichen Konzentration. Eine weitere Studie von Payne u.a. (2005) verglich organisches und anorganisches Selen (0,15 ppm, 0,3 ppm, 0,6 ppm oder 3 ppm) über 28 Tage bei durchschnittlich 40 Wochen alten

Legehennen. Die Selenkonzentration der Eier stieg linear mit dem Gehalt des zugefütterten Selen, wobei die Eier von Hennen der organischen Selengruppe jeweils einen höheren Selengehalt aufwiesen. Wang u.a. (2011) verglichen in ihrer Studie den Einfluss von 0,15 ppm Selen aus einer organischen oder anorganischen Quelle bei 600 Eintagsküken. Organisches Selen konnte hierbei die Anreicherung von Selen in dem Blutserum, der Leber, der Nieren, der Brustmuskulatur und der Pankreas tendenziell stärker erhöhen als Natriumselenit. In einer Studie von Dobrzaski u.a. (2003) wurden 80 Hennen mit 0,5 ppm Selen aus organischer oder anorganischer Quelle gefüttert. Die Selenanreicherung im Ei lag durch selenangereicherte Hefe hierbei um 10 % höher als durch Natriumselenit. Briens u.a. (2013) stellten in ihrer Studie fest, dass sich die Selenanreicherung in der Muskulatur der Hühner durch selenangereicherte Hefe steigern lies.

### Leistung

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Selenverbindungen bei Geflügel auf die Leistungseigenschaften ist in Tabelle 45 dargestellt.

Die Körpermassenentwicklung wurde in zwölf Studien nicht durch die Selenquelle beeinflusst. Die Legeleistung blieb in drei Studien von der Selenquelle unberührt, während sich in einer Studie durch selenangereicherte Hefe eine höhere Legeleistung feststellen ließ.

**Tabelle 45; Untersuchung zu den Auswirkungen verschiedener Selenverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Geflügel**

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Naylor u.a. (2000)</b>	1) 0,1 ppm Natriumselenit 2) 0,25 ppm Natriumselenit 3) 0,1 ppm selenangereicherte Hefe 4) 0,25 ppm selenangereicherte Hefe	Körpermassenentwicklung	selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): - 0,23 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (0,25 ppm): + 1,98 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Deniz u.a. (2005)</b>	1) Kontrolle 2) 0,3 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm Selenangereicherte-Hefe	Körpermassenentwicklung	selenangereicherte Hefe: + 4,45 %  Natriumselenit: + 3,21 %
<b>Wang &amp; Xu (2008)</b>	1) Kontrolle 2) 0,2 ppm Natriumselenit 3) 0,2 ppm selenangereicherte Hefe	Körpermassenentwicklung	selenangereicherte Hefe: + 0,79 %  Natriumselenit: + 0,26 %
<b>Payne &amp; Southern (2005)</b>	1) Kontrolle 2) 0,3 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Körpermassenentwicklung	Natriumselenit: - 2,13 %  selenangereicherte Hefe: - 2,58 %
<b>Wang u.a. (2011)</b>	1) 0,15 ppm Natriumselenit 2) 0,15 ppm selenangereicherte Hefe	Körpermassenentwicklung	selenangereicherte Hefe: + 6,91 % <sup>1</sup>
<b>Choct u.a. (2004)</b>	1) 0,1 ppm Natriumselenit 2) 0,1 ppm selenangereicherte Hefe	Körpermassenentwicklung	selenangereicherte Hefe: +0,63 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Mikulski u.a. (2009)</b>	1) Kontrolle 2) 0,3 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Körpermassenentwicklung	selenangereicherte Hefe: + 0,55 %  Natriumselenit: + 0,13 %
<b>Payne u.a. (2005)</b>	1) Kontrolle 2) 0,15 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm Natriumselenit 4) 0,6 ppm Natriumselenit 5) 3 ppm Natriumselenit 6) 0,15 ppm selenangereicherte Hefe 7) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe 8) 0,6 ppm selenangereicherte Hefe 9) 3 ppm selenangereicherte Hefe	Körpermassenentwicklung	Natriumselenit (0,6 ppm): - 3,02 %  selenangereicherte Hefe (0,6 ppm): - 5,49 %  selenangereicherte Hefe (3 ppm): - 5,77 %  selenangereicherte Hefe (0,15 ppm): - 7,59 %  selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): - 7,87 %  Natriumselenit (0,15 ppm): - 8 %  Natriumselenit (3 ppm): - 9,05 %  Natriumselenit (0,3 ppm): - 9,24 %



Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
		Legeleistung	<p>Natriumselenit (3 ppm): - 0,91 %</p> <p>Natriumselenit (0,6 ppm): - 1,82 %</p> <p>selenangereicherte Hefe (0,6 ppm): - 1,52 %</p> <p>selenangereicherte Hefe (3 ppm): - 2,13 %</p> <p>Natriumselenit (0,3 ppm): - 3,95 %</p> <p>selenangereicherte Hefe (0,15 ppm): - 6,38 %</p> <p>selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): - 4,56 %</p> <p>Natriumselenit (0,15 ppm): - 5,78 %</p> <p>selenangereicherte Hefe (0,15 ppm): - 6,38 %</p>
<b>Cantor u.a. (2000)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Kontrolle</li> <li>2) 0,3 ppm Natriumselenit</li> <li>3) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe</li> </ol>	Legeleistung	<p>Natriumselenit: - 3,93 %</p> <p>selenangereicherte Hefe: - 4,04 %</p>

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Wang u.a. (2007)</b>	1) Kontrolle 2) 0,2 ppm Natriumselenit 3) 0,2 ppm selenangereicherte Hefe	Körpermassenentwicklung	selenangereicherte Hefe: + 0,79 %  Natriumselenit: + 0,26 %
<b>Gjorgovska u.a. (2012)</b>	1) 0,3 ppm Natriumselenit 2) 0,3 ppm Natriumselenit + 0,08 ppm selenangereicherte Hefe 3) 0,3 ppm Natriumselenit + 0,16 ppm selenangereicherte Hefe	Legeleistung	selenangereicherte Hefe (0,16 ppm): + 12,17 % <sup>1</sup>  selenangereicherte Hefe (0,08 ppm): + 12,13 % <sup>1</sup>
<b>Briens u.a. (2013)</b>	1) Kontrolle 2) 0,1 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm Natriumselenit 4) 0,1 ppm selenangereicherte Hefe 5) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Körpermassenentwicklung	selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 4,97 %  Natriumselenit (0,1 ppm): + 3,67 %  selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): + 3,55 %  Natriumselenit (0,3 ppm): + 2,60 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Yoon u.a. (2007)</b>	1) Kontrolle 2) 0,3 ppm Natriumselenit 3) 0,1 ppm selenangereicherte Hefe 4) 0,2 ppm selenangereicherte Hefe 5) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Körpermassenentwicklung	selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): + 4,63 % selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 3,49 % selenangereicherte Hefe (0,2 ppm): + 1,32 % Natriumselenit (0,3 ppm): - 2,55 %
<b>Peric u.a. (2009)</b>	1) 0,3 ppm Natriumselenit 2) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Körpermassenentwicklung	selenangereicherte Hefe: 0 % <sup>1</sup>
<b>Juniper u.a. (2011)</b>	1) Kontrolle 2) 0,3 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Körpermassenentwicklung	selenangereicherte Hefe: + 1,25 % Natriumselenit: - 0,77 %
<b>Leeson u.a. (2008)</b>	1) 0,1 ppm Natriumselenit 2) 0,3 ppm Natriumselenit 3) 0,1 ppm selenangereicherte Hefe 4) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Legeleistung	selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): - 7,03 % <sup>1</sup> selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): + 8,03 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Downs u.a. (2000)</b>	1) Kontrolle 2) 0,3 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Körpermassenentwicklung	Natriumselenit: + 1,91 %  selenangereicherte Hefe: - 0,38 %
<b>Chinrasri u.a. (2009)</b>	1) Kontrolle 2) 0,3 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Legeleistung	Natriumselenit: - 3,33 %  selenangereicherte Hefe: - 6,84 %

Wang u.a. (2007) verglichen 0,2 ppm Selen (Natriumselenit und selenangereicherte Hefe). Hierbei blieb das Endgewicht der untersuchten Hühner von der gewählten Selenquelle unbeeinflusst. Wang und Xu (2008) führten einen Fütterungsversuch mit 90 Broilern über 21 Tage durch. Hierbei wurden zwei Versuchsgruppen mit 0,2 ppm Selen in organischer oder anorganischer Form gefüttert und die Gewichtszunahme gegenübergestellt. Es konnte gezeigt werden, dass innerhalb der Versuchsdauer kein Unterschied zwischen Natriumselenit und selenangereicherter Hefe bestand. In einer Studie von Payne und Southern (2005) wurden Eintagsküken mit 0,3 ppm Selen (organisch oder anorganisch) über 49 Tage gefüttert und beobachtet. Hierbei blieb die Körpermassenentwicklung unbeeinflusst von der dargereichten Selenform. Eine weitere Studie von Payne u.a. (2005) verglich organisches und anorganisches Selen (0,15 ppm, 0,3 ppm, 0,6 ppm oder 3 ppm) über 28 Tage bei durchschnittlich 40 Wochen alten Legehennen. Sowohl die Legeleistung als auch die Gewichtszunahme der Hennen wurde über die Versuchsdauer von der Selenform (im direkten Vergleich) nicht beeinflusst. Wang u.a. (2011) verglichen in ihrer Studie den Einfluss von 0,15 ppm Selen aus einer organischen oder anorganischen Quelle bei 600 Eintagsküken. Es konnte gezeigt werden, dass sich die Körpermassenentwicklung der Küken nicht durch die Selenquelle beeinflussen ließ. In einer Studie von Leeson u.a. (2008) wurden die Auswirkungen von organischem und anorganischem Selen auf Hühner untersucht. In ihrem Experiment wurden 48 Zuchthennen mit 0,1 ppm bzw. 0,3 ppm Selen beider Quellen über 45

Tage gefüttert. Zwar stieg die Legeleistung mit der Selenkonzentration der Futtermittel, jedoch unterschied sie sich nicht zwischen den Selenformen. Naylor u.a. (2000) verglichen in ihrer Studie den Einsatz von 0,1 ppm oder 0,25 ppm Selen (organisch bzw. anorganisch) bei Eintagsküken. Hierbei wurde festgestellt, dass weder die Selenform noch die Selenkonzentration des Futters die Gewichtsentwicklung der Küken beeinflusste. Ähnliche Ergebnisse konnten Deniz u.a. (2005) feststellen. 273 Eintagsküken wurden entweder mit 0,3 ppm Natriumselenit oder selenangereicherter Hefe über 42 Tage gefüttert. Die Gewichtszunahme der Küken wurde durch die Selenform hierbei nicht beeinflusst. Auch Mikulski u.a. (2009) konnten zwischen 0,3 ppm Selen keine Unterschiede in der Körpermassenentwicklung des Geflügels feststellen. Gjorgovska u.a. (2012) untersuchten den Einfluss von 0,38 ppm oder 0,46 ppm Selen (selenangereicherte Hefe bzw. Natriumselenit) an 80 Legehennen. Die Legeleistung (Menge und Eigewicht) der Hennen konnte hierbei signifikant durch organisches Selen gesteigert werden. Briens u.a. (2013) stellten in ihrer Studie fest, dass sich die Gewichtsentwicklung der Hühner nicht zwischen der Selenform (selenangereicherte Hefe oder Natriumselenit) und der Selenkonzentration (0,1 ppm oder 0,3 ppm) unterschied. Auch Yoon u.a. (2007) konnten nach 42 Tagen keinen Gewichtsunterschied bei Eintagsküken zwischen organischer und anorganischer Selenquelle (jeweils 0,1 ppm, 0,2 ppm oder 0,3 ppm) feststellen. Weitere Studien von Peric u.a. (2009), Juniper u.a. (2011) und Downs u.a. (2000) konnten ebenfalls zwischen organischen und anorganischen Selenformen in der Konzentration von 0,3 ppm keine unterschiedliche Gewichtsentwicklung beobachten.

## Immunität

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Selenverbindungen bei Geflügel auf die Immunität ist in Tabelle 46 dargestellt.

Die Aktivität der Glutathionperoxidase konnte in sechs Studien durch den Einsatz von selenangereicherter Hefe gegenüber Natriumselenit gesteigert werden, während in zwei weiteren Studien der Einsatz unterschiedlicher Selenquellen ohne Einfluss auf die Aktivität der GSH-Px blieb.

Die Mortalität der Hühner blieb in allen vier untersuchten Studien von der Selenverbindung unbeeinflusst.

**Tabelle 46: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Selenverbindungen auf die Immunität bei Geflügel**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Wang &amp; Xu (2008)</b>	1) Kontrolle	Aktivität GSH-Px Serum	selenangereicherte Hefe: + 72,42 % Natriumselenit: + 50,63 %
	2) 0,2 ppm Natriumselenit		
	3) 0,2 ppm selenangereicherte Hefe	Sterblichkeit	selenangereicherte Hefe: 0 % Natriumselenit: 0 %
<b>Payne &amp; Southern (2005)</b>	1) Kontrolle	Aktivität GSH-Px Serum	Natriumselenit: + 6,1 % selenangereicherte Hefe: - 1,85 %
	2) 0,3 ppm Natriumselenit		
	3) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Sterblichkeit	selenangereicherte Hefe: - 19,89 % Natriumselenit: - 30,32 %

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Wang u.a. (2011)</b>	1) 0,15 ppm Natriumselenit 2) 0,15 ppm selenangereicherte Hefe	Aktivität GSH-Px Serum	selenangereicherte Hefe: - 1,71 % <sup>1</sup>
<b>Mikulski u.a. (2009)</b>	1) Kontrolle 2) 0,3 ppm Natriumselenit	Aktivität GSH-Px	selenangereicherte Hefe: + 50,92 % Natriumselenit: + 6,73 %
	3) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Sterblichkeit	selenangereicherte Hefe: - 44,00 % Natriumselenit: - 31,58 %
<b>Wang u.a. (2007)</b>	1) Kontrolle 2) 0,2 ppm Natriumselenit 3) 0,2 ppm selenangereicherte Hefe	Aktivität GSH-Px Serum	selenangereicherte Hefe: + 72,42 % Natriumselenit: + 50,63 %
<b>Leeson u.a. (2008)</b>	1) 0,1 ppm Natriumselenit 2) 0,3 ppm Natriumselenit 3) 0,1 ppm selenangereicherte Hefe 4) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Aktivität GSH-Px Serum	selenangereicherte Hefe (0,1 ppm): - 32,95 % <sup>1</sup> selenangereicherte Hefe (0,3 ppm): - 35,63 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Deniz u.a. (2005)</b>	1) Kontrolle 2) 0,3 ppm Natriumselenit 3) 0,3 ppm selenangereicherte Hefe	Sterblichkeit	selenangereicherte Hefe: - 33,43 % Natriumselenit: 0%
<b>Gajčević u.a. (2009)</b>	1) 0,2 ppm Natriumselenit 2) 0,4 ppm selenangereicherte Hefe	Aktivität GSH-Px Serum	selenangereicherte Hefe: + 39,07 % <sup>1</sup>
<b>Mahmoud u.a. (2003)</b>	1) Kontrolle: 2) 0,2 ppm Natriumselenit 3) 0,2 ppm selenangereicherte Hefe	Aktivität GSH-Px Serum	selenangereicherte Hefe: + 74,52 % Natriumselenit: + 63,88 %

Wang und Xu (2008) führten einen Fütterungsversuch mit 90 Broilern über 21 Tage durch. Hierbei wurden zwei Versuchsgruppen mit 0,2 ppm Selen in organischer oder anorganischer Form gefüttert und u.a. die Verlustrate der Broiler gegenübergestellt. Es konnte gezeigt werden, dass innerhalb der Versuchsdauer kein Unterschied zwischen Natriumselenit und selenangereicherter Hefe bestand. Dem gegenüber konnte durch organisches Selen bei Broilern eine höhere Aktivität der GSH-Px im Plasma nachgewiesen werden. Wang u.a. (2011) konnten durch organisches Selen keine erhöhte Blutaktivität der GSH-Px nachweisen. Hierfür verglichen sie in ihrer Studie den Einfluss von 0,15 ppm Selen aus einer organischen oder anorganischen Quelle bei 600 Eintagsküken. In einer Studie von Payne und Southern (2005) wurden Eintagsküken mit 0,3 ppm Selen (organisch oder anorganisch) über 49 Tage gefüttert und beobachtet. Die Verlustrate und Aktivität der GSH-Px im Plasma der Küken blieb von der dargereichten Selenform unbeeinflusst. Ähnliche Ergebnisse stellten Deniz u.a. (2005) fest.



273 Eintagsküken wurden entweder mit 0,3 ppm Natriumselenit oder selenangereicherter Hefe über 42 Tage gefüttert. Die Sterblichkeit der Küken wurde hierbei nicht durch die Selenform beeinflusst. Auch Mikulski u.a. (2009) konnten zwischen 0,3 ppm Selen keine Unterschiede in der Verlustrate des Geflügels feststellen, während Hühner mit organischer Selenzufütterung höhere ( $p < 0.05$ ) GSH-Px-Aktivitäten im Vollblut aufwiesen als in den anorganischen Vergleichsgruppen. In einer Studie von Leeson u.a. (2008) wurden die Auswirkungen von organischem und anorganischem Selen auf Hühner untersucht. In ihrem Experiment wurden 48 Zuchthennen mit 0,1 ppm bzw. 0,3 ppm Selen beider Quellen über 45 Tage gefüttert. Hierbei wurde die Aktivität der GSH-Px im Blut durch die organische Selenform signifikant gesteigert ( $p < 0.01$ ). Ähnliche Ergebnisse in Bezug auf die Aktivität der GSH-Px erzielten Gajčević u.a. (2009) und Wang u.a. (2007), die keinen Unterschied zwischen organischer und anorganischer Form feststellten.

## 11.4 Mangan

In den untersuchten Studien wurde die Bioverfügbarkeit von Mangan in der Regel anhand von Mn-Gehalten in Leber, Plasma und Serum bestimmt. Speziell bei Geflügel wurden zusätzlich Eiqualität und Gehalt von Mangan in Tibia genannt.

Insgesamt wurden 23 Studien zu Mangan näher untersucht. Hierbei entfielen 11 auf Rinder, 8 auf Geflügel und 4 auf Schweine. Die verwendeten organischen Manganformen waren hierbei:

**Tabelle 47: Übersicht zum Einsatz von organischem Mangan**

Verbindung	Anzahl der Versuchsgruppen
Manganproteinat	28
Mangan-Aminosäure-Komplex	21
Manganmethionin	18

### 11.4.1 Rinder

#### Resorption

Eine Übersicht der Resorbierbarkeit von unterschiedlichen Manganverbindungen bei Rindern ist in Tabelle 48 dargestellt.

Der Mangan-Gehalt im Blut-Serum lag in einer Studie mit Manganproteinat-Supplementation höher als mit Mangansulfat. Demgegenüber konnte durch die Manganverbindung in jeweils einer Studie weder der Mangan-Vollblutgehalt, der Mangan-Plasmagehalt noch der Mangangehalt im Kolostrum, der Milch und Leber beeinflusst werden.

**Tabelle 48: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Manganverbindungen bei Rindern**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Mondal u.a. (2008)</b>	1) Kontrolle: 121 ppm Mn	Mangangehalt Serum	MnSO <sub>4</sub> (24,2 ppm): + 29,3 %
	2) Kontrolle + 24,2 ppm MnSO <sub>4</sub>		MnSO <sub>4</sub> (48,4 ppm): + 35,67 %
	3) Kontrolle + 48,4 ppm MnSO <sub>4</sub>		MnProt (24,2 ppm): + 46,5 %
	4) Kontrolle + 24,2 ppm MnProt		MnProt (12,1 ppm): + 42,04 %
	5) Kontrolle + 12,1 ppm MnProt		MnProt (6,05 ppm): + 12,74 %
	6) Kontrolle + 6,05 ppm MnProt		
<b>Weiss u.a. (2005)</b>	1) Kontrolle: 43 ppm Mn	Mangangehalt Vollblut	MnSO <sub>4</sub> : + 8,50 % MnMet: 0%
	2) Kontrolle + 200 mg/d MnSO <sub>4</sub>		
	3) Kontrolle + 200 mg/d MnMet	Mangangehalt Kolostrum	MnMet: + 3,17 % MnSO <sub>4</sub> : - 4,61 %
<b>Nemec u. a. (2012)</b>	1) 53 ppm MnMet	Mangangehalt Milch	Mn-Met: + 47,37 % <sup>1</sup>
	2) 53 ppm MnSO <sub>4</sub>		
<b>Nocek u.a. (2006)</b>	1) 16,7 ppm MnProt	Mangangehalt Leber	MnMet: + 6 % <sup>1</sup>
	2) 16,7 ppm MnProt		

Mondal u.a. (2008) beobachteten bei Kälbern, die entweder mit 200 oder 400 ppm Manganproteinat oder Mangansulfat gefüttert wurden, dass bei der organischen Supplementation eine bessere Manganserumkonzentration erzielt werden konnte. In einer

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Studie von Weiss u.a. (2005) wurden trächtige Kühe mit Manganmethionin oder Mangansulfat gleicher Konzentration gefüttert und über den Abkalbetermin hinweg beobachtet. Sowohl die Mangananreicherung im Vollblut der Muttertiere und Kälber als auch im Kolostrum wurde hierbei nicht durch die Manganquelle beeinflusst. Nemeč u.a. (2012) verglichen in ihrem Fütterungsversuch den Einsatz von einer Mischration aus 17 ppm Kupfer, 53 ppm Mangan und 85 ppm Zink als anorganische Sulfate oder organische Methionine. Hierbei konnte festgestellt werden, dass sich die Spurenelementquelle weder auf die Elementanreicherung im Blutplasma, noch in der Milch auswirkte. In einer Studie von Noček u.a. (2006) wurde der Einsatz einer Mischration aus Zink, Kupfer und Mangan entweder als Zn-Met, Cu-Lys, Mn-Met oder als Sulfat miteinander verglichen. Es konnte gezeigt werden, dass bei einer organischen Fütterung der Kupfer- und Zinkgehalt in der Leber höher lag als durch eine Fütterung mit Sulfaten. Demgegenüber wurde der Mangangehalt der Leber durch die Fütterungsform nicht signifikant beeinflusst.

### **Leistung**

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Manganverbindungen bei Rindern auf die Leistungseigenschaften ist in Tabelle 49 dargestellt.

Die Körpermassenentwicklung konnte in zwei Studien durch den Einsatz von organischem Mangan (jeweils eine Studie zu Mn-Met und Mn-Prot) im Vergleich zu Mangansulfat gesteigert werden. In zwei weiteren Studien wirkte sich die Manganquelle nicht auf die Körpermassenentwicklung aus (Manganmethionin).

In zwei Studien zur Milchleistungsmenge konnte durch Manganmethionin- bzw. Mangan-Aminosäure-Komplex-Zufütterung eine höhere Milchleistung als durch eine Mangansulfat-Zufütterung beobachtet werden, während in zwei weiteren Studien (Manganproteinat und Mangan-Aminosäure-Komplex) keine Auswirkung der Manganverbindung auf die Milchleistung vorlag.

**Tabelle 49: Untersuchung zur Auswirkung verschiedener Manganverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Rindern**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Bhanderi u.a. (2010)</b>	1) 75,8 ppm MnSO <sub>4</sub> 2) 49,8 ppm MnMet 3) 56,8 ppm MnMet 4) 74,7 ppm MnMet 5) 106,6 ppm MnMet	Körpermassenentwicklung	MnMet (74,7 ppm): + 72,2 % <sup>1</sup>  MnMet (106,6 ppm): + 35,61 % <sup>1</sup>  MnMet (56,8 ppm): + 20,49 % <sup>1</sup>  MnMet (49,8 ppm): + 0,49 % <sup>1</sup>
<b>Mondal u.a. (2008)</b>	7) Kontrolle: 121 ppm Mn 8) Kontrolle + 24,2 ppm MnSO <sub>4</sub> 9) Kontrolle + 48,4 ppm MnSO <sub>4</sub> 10) Kontrolle + 24,2 ppm MnProt 11) Kontrolle + 12,1 ppm MnProt 12) Kontrolle + 6,05 ppm MnProt	Körpermassenentwicklung	MnProt (24,2 ppm): + 38,58 %  MnSO <sub>4</sub> (24,2 ppm): + 34,67 %  MnProt (12,1 ppm): + 28,65 %  MnSO <sub>4</sub> (48,4 ppm): + 27,17 %  MnProt (12,1 ppm): + 28,65 %  MnProt (6,05 ppm): + 11,31 %
<b>Wang u.a. (2011)</b>	1) 14 ppm MnSO <sub>4</sub> 2) 14 ppm MnMet	Milchleistung	MnMet: + 8,02 % <sup>1</sup>
<b>Weiss u.a. (2005)</b>	1) Kontrolle: 43 ppm Mn 2) Kontrolle + 200 mg/d MnSO <sub>4</sub> 3) Kontrolle + 200 mg/d MnMet	Körpermassenentwicklung	MnSO <sub>4</sub> : + 6%  MnMet: - 3,35 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Ballantine u.a. (2002)</b>	1) 200 ppm MnSO <sub>4</sub> 2) 200 ppm MnAS	Milchleistung	MnAS: + 3 % <sup>1</sup>
<b>DeFrains u.a. (2009)</b>	1) 200 ppm MnSO <sub>4</sub> 2) 200 ppm MnAS	Milchleistung	MnAS: - 0,25 % <sup>1</sup>
<b>Formigoni u. a. (2011)</b>	1) 500 ppm MnSO <sub>4</sub> 2) 500 ppm MnProt	Milchleistung	Mn-Prot: -1,11 % <sup>1</sup>

Bhanderi u.a. (2010) untersuchten die Auswirkungen von Manganmethionin und Mangansulfat (je 75 ppm Mn) auf Bullenkälber. Nach 75-tägiger Mast konnten durch Manganmethionin, im Vergleich zu Mangansulfat, höhere Körpergewichte gemessen werden. Auch Mondal u.a. (2008) beobachteten bei Kälbern, die entweder mit Manganproteinat oder Mangansulfat gefüttert wurden, dass bei der organischen Supplementation sowohl eine bessere Absorption als auch eine bessere Wachstumsleistung und Manganserumkonzentrationen erzielt werden konnte. In einer Studie von Wang u.a. (2011) wurden 14 ppm Mangan als Mangansulfat oder Manganmethionin verfüttert. Während die Milchleistung durch organisches Mangan gesteigert werden konnte, waren keine Unterschiede bei der Futterverwertung ersichtlich. In einer Studie von Weiss u.a. (2005) wurden trächtige Kühe mit Manganmethionin oder Mangansulfat gleicher Konzentration gefüttert und über den Abkalbetermin hinweg beobachtet. Die Gewichtsentwicklung der Kühe blieb hierbei von der Manganverbindungsform unbeeinflusst. In einer Studie von Ballantine u.a. (2002) wurden 150 Holstein-Kühe entweder mit einer Mischration bestehend aus Aminosäure-Komplexen (360 ppm Zink, 200 ppm Mangan, 125 ppm Kupfer) oder ihren entsprechenden Sulfaten gefüttert. Es konnte hierbei gezeigt werden, dass die Fütterung mit Aminosäure-Komplexen zu einem Anstieg der Milchproduktion ( $p < 0.05$ ) führte. DeFrains u.a. (2009) verglichen Aminosäure-Komplexe mit Sulfaten (360 ppm Zn, 200 ppm Mn, 125 ppm Cu), wobei die Autoren hierbei ebenfalls keine Auswirkung der

---

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Spurenelementquelle auf die Milchleistung feststellten ( $p > 0.15$ ). Dies deckt sich mit einer älteren Studie von Formigioni u.a. (2011) die ebenfalls zwischen organischen und mineralischen Spurenelementen keine veränderte Milchleistung beobachteten (500 ppm Zn, Cu und Mn als Sulfat bzw. Proteinat).

### Immunität

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Zinkverbindungen bei Rindern auf die Immunität ist in Tabelle 50 dargestellt.

Der Gehalt an Immunglobulinen im Kolostrum konnte durch organisches Mangan in einer Studie gegenüber anorganischem Mangan gesteigert werden (Manganproteinat). Der Gehalt an somatischen Zellen in der Milch von Kühen wurde in einer weiteren Studie mit Mangan-Aminosäure-Komplexen gegenüber Mangansulfat gesenkt. In einer weiteren Studie konnte ebenfalls durch einen Mangan-Aminosäure-Komplex die Blutglucosekonzentration im Blut von Neugeborenen gegenüber der anorganischen Manganquelle reduziert werden.

**Tabelle 50: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Manganverbindungen auf die Immunität bei Rindern**

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Formigioni u. a. (2011)</b>	3) 500 ppm MnSO <sub>4</sub> 4) 500 ppm MnProt	Ig-Konzentration Kolostrum	Mn-Prot: + 19,12 % <sup>1</sup>
<b>Kinal u.a. (2005)</b>	1) 63 ppm MnSO <sub>4</sub> 2) 50,4 ppm MnSO <sub>4</sub> + 12,6 ppm MnAS 3) 44,1 ppm MnSO <sub>4</sub> + 18,9 ppm MnAS	somatische Zellen Milch	MnAS (12,6 ppm): - 25,18 % <sup>1</sup>  MnAS (18,9 ppm): - 33,99 % <sup>1</sup>
<b>Jacometo u. a. (2015)</b>	1) 20 ppm MnSO <sub>4</sub> 3) 20 ppm MnAS	Blutglucose Nachkommen	MnAS: - 13,84 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

In einer weiteren Studie konnte gezeigt werden, dass eine partielle Substitution von Zink-, Kupfer- und Mangansulfaten mit organischen Spurenelementen den Fettgehalt der Milch sowie den Immunglobulinanteil des Kolostrums steigerte, jedoch die Spurenelementkonzentration unbeeinflusst ließ. Auch die Kälbermortalität konnte in der mit organischen Spurenelementen gefütterten Gruppe gegenüber den Kontrolltieren signifikant gesenkt werden (Formigoni u. a., 2011). Des Weiteren wurde erforscht, dass der Ersatz mineralischer Spurenelemente (40 ppm Zn-Sulfat, 20 ppm Cu-Sulfat, 5 ppm Mn-Sulfat) durch organischen Spurenelementen (40 ppm Zn-AS, 20 ppm Cu-AS, 5 ppm Mn-AS) die Immunfunktion von Rindern während stressiger Episoden, wie beispielsweise der Peripartalperiode, verbessern konnte. Dies hat auch einen Einfluss auf die Kälber, welcher durch epigenetische Mechanismen meditiert wird. Organisch gefütterte Kühe gebaren Kälber mit einer gesteigerten Schulterhöhe, während die Kälber aus der anorganisch gefütterten Gruppe beispielsweise einen gesteigerten Blutzuckerpegel aufwiesen. (Jacometo u. a., 2015). Der partielle Austausch von mineralischen Spurenelementen durch organische Verbindungen wurde von Kinal u.a. (2005) untersucht. Eine Mischration aus Zink, Mangan und Kupfer wurde zu 20 % bzw. 30 % durch organische Aminosäure-Komplexe ersetzt. Hierbei zeigte sich, dass durch beide Substitutionsvarianten eine signifikante Reduktion der somatischen Zellzahlen in der Milch erzielt werden konnte ( $p \leq 0.01$ ). Der Gehalt der somatischen Zellen reduzierte sich bei einem 20 %igem Ersatz durch organische Spurenelemente um 25 % und bei einem 30 %igem Ersatz um 34 %.



## Sonderleistungen

Eine Übersicht der Sonderleistungen von unterschiedlichen Manganverbindungen bei Rindern ist in Tabelle 51 dargestellt.

In den beiden vorliegenden Studien zur Manganausscheidung bei Rindern konnte sich weder ein Unterschied der Mangankonzentration im Kot noch im Urin feststellen.

**Tabelle 51: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Manganverbindungen bei Rindern**

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Weiss u.a. (2005)</b>	1) Kontrolle: 43 ppm Mn	faecale Manganausscheidung	MnSO <sub>4</sub> : + 47,33 % MnMet: + 34,46 %
	2) Kontrolle + 200 mg/d MnSO <sub>4</sub>	renale Manganausscheidung	MnMet: + 50 %
	3) Kontrolle + 200 mg/d MnMet		MnSO <sub>4</sub> : 0%

In einer Studie von Weiss u.a. (2005) wurden trächtige Kühe mit Manganmethionin oder Mangansulfat gleicher Konzentration gefüttert und über den Abkalbetermin hinweg beobachtet. Hierbei wurde festgestellt, dass sich die Manganform nicht auf die ausgeschiedene Manganmenge auswirkte. Olson u.a. (1999) verglichen die Manganausscheidung von Milchkühen. Kühe wurden über zwei Jahre täglich mit 200 mg Mn/Tag in Form von Manganmethionin oder Mangansulfat gefüttert und es konnte kein Unterschied in der Mn-Faeces-Konzentration festgestellt werden.

## 11.4.2 Schweine

### Resorption

Eine Übersicht der Resorbierbarkeit von unterschiedlichen Manganverbindungen bei Schweinen ist in Tabelle 52 dargestellt.

Während in einer der beiden zu Manganproteinat untersuchten Studien der Mangangehalt im Blutserum, Herzen, der Leber, Nieren und Lungen durch organisches Mangan stärker gegenüber anorganischem Mangan gesteigert wurde, blieb in der zweiten Studie der Manganserumgehalt von der Manganverbindung unbeeinflusst.

**Tabelle 52: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Manganverbindungen bei Schweinen**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Novotný u.a. (2003a)</b>	1) 39 ppm MnSO <sub>4</sub>	Mangangehalt Serum	MnProt: + 6,57 % <sup>1</sup>
	2) 39 ppm MnProt	Mangangehalt Herz	MnProt: + 33,95 % <sup>1</sup>
		Mangangehalt Leber	MnProt: - 17,94 % <sup>1</sup>
		Mangangehalt Nieren	MnProt: + 9,76 % <sup>1</sup>
		Mangangehalt Lunge	MnProt: + 14,61 % <sup>1</sup>
<b>Novotný u.a. (2003b)</b>	1) 30 ppm MnSO <sub>4</sub> 2) 30 ppm MnProt	Mangangehalt Serum	MnProt: + 2,49 % <sup>1</sup>

In einer Studie von Novotný u.a. (2003a) wurden Ferkel mit organischem oder anorganischem Mangan zugefüttert. In der Ferkelgruppe mit Manganproteinat (9,6 ppm) wurden höhere Werte von Mangan im Blutserum und in den Geweben von Herz, Leber, Niere und Lunge als in der Vergleichsgruppe gefunden. Demgegenüber konnten Novotný u.a. (2003b) keine signifikanten Effekte von Manganproteinat auf die Manganwerte im Blutserum im Vergleich zur anorganischen Gruppe mit gleicher Mangankonzentration feststellen.

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

## Leistung

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Manganverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Schweinen ist in Tabelle 53 dargestellt.

Sowohl die Anzahl der Nachkommen als auch die Anzahl der lebenden Nachkommen wurde durch die Manganverbindung in einer untersuchten Studie nicht beeinflusst.

**Tabelle 53: Untersuchung zur Auswirkung verschiedener Manganverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Schweinen**

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
Acda u.a. (2002)	1) 40 ppm MnSO <sub>4</sub> 4) 20 ppm MnProt 5) 40 ppm MnProt	Anzahl Nachkommen	MnProt (40 ppm): + 9,37 % <sup>1</sup>  MnProt (20 ppm): - 6,28 % <sup>1</sup>
		Anzahl lebender Nachkommen	MnProt (40ppm): + 16,3 % <sup>1</sup>  MnProt (20 ppm): - 3,3 % <sup>1</sup>

In einer Studie zum Einfluss verschiedener Spurenelementsupplemente auf die Fortpflanzung fanden Acda und Chae, dass weder das durchschnittliche Geburtsgewicht noch die Gesamtgeburtenszahl oder die Anzahl der Lebendgeburten und Absetzer von der Darbietungsform (Metalloproteinate oder anorganisch) oder der Dosis (niedrig oder hoch) signifikant beeinflusst wurden (Acda u.a., 2002). Die Tiere wurden in dieser Studie in vier Gruppen eingeteilt, die entweder niedrig dosiertes Fe (50 ppm), Cu (17,5 ppm), Zn (45 ppm) und Mn (20 ppm) in anorganischer Form oder Metalloproteinatform erhielten oder dieselben Spurenelemente jeweils anorganisch oder als Metalloproteinate in hoher Dosierung (100 ppm Fe, 35 ppm Cu, 90 ppm Zn und 40 ppm Mn). Die Wachstumsrate der Ferkel in der niedrigdosierten organischen Gruppe war dieselbe wie in der anorganisch hochdosierten Gruppe. Insgesamt verwerteten aber Ferkel in den organischen Gruppen ihr Futter besser.

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

## Sonderleistungen

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Manganverbindungen bei Schweinen auf die Ausscheidung ist in Tabelle 54 dargestellt.

In der einzigen vorliegenden Studie zur Manganausscheidung bei Schweinen konnte durch organisches Mangan die Manganausscheidung gegenüber Mangansulfat reduziert werden.

**Tabelle 54: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Manganverbindungen auf Schweine**

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Creech u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 40 ppm Mn-Sulfat  2) Kontrolle + 10 ppm MnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 10 ppm MnProt	faecale Manganausscheidung	MnSO <sub>4</sub> : - 41,07 %  MnProt: - 46,39 %

Creech u.a. (2004) untersuchten auch den Einfluss von Mangan als Manganproteinat und Mangansulfat (10 ppm). Nach 40-tägiger Versuchsdauer konnte, im Vergleich zu Mangansulfat, ein niedrigerer Mangangehalt im Kot der Ferkel festgestellt werden.

### 11.4.3 Geflügel

#### Resorption

Eine Übersicht der Resorbierbarkeit von unterschiedlichen Manganverbindungen bei Geflügel ist in Tabelle 55 dargestellt.

Der Mangangehalt im Herzen wurde in vier untersuchten Studien nicht von der Manganverbindung beeinflusst. Auch der Mangangehalt im Eigelb von Legehennen blieb in einer Studie durch die Manganform unbeeinflusst.

Ferner konnte in Studien zur Mangankonzentration in der Tibia in zwei Studien durch Manganmethionin und Mangan-Aminosäure-Komplexe eine höhere Mangananreicherung gegenüber der anorganischen Form festgestellt werden. Demgegenüber dokumentierten fünf Fütterungsversuche keinen Unterschied durch die Manganform in Bezug auf die Anreicherung von Mangan in der Tibia (jeweils zwei Versuche zu Manganproteinat und Mangan-Aminosäure-Komplexen und ein Versuch zu Manganmethionin).

**Tabelle 55: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Manganverbindungen bei Geflügel**

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
Yan u.a. (2006)	1) Kontrolle	Mangangehalt Tibia	MnAS (800 ppm): + 492,13 %
	2) 100 ppm MnSO <sub>4</sub>		MnSO <sub>4</sub> (800 ppm): + 389,35 %
	3) 200 ppm MnSO <sub>4</sub>		MnAS (600 ppm): + 317,36 %
	4) 400 ppm MnSO <sub>4</sub>		MnSO <sub>4</sub> (600 ppm): + 309,5 %
	5) 600 ppm MnSO <sub>4</sub>		MnSO <sub>4</sub> (400 ppm): + 248,84 %
	6) 800 ppm MnSO <sub>4</sub>		MnSO <sub>4</sub> (400 ppm): + 216,44 %
	7) 100 ppm MnAS		MnSO <sub>4</sub> (400 ppm): + 216,44 %
	8) 200 ppm MnAS		MnAS (200 ppm): + 159,03 %
	9) 400 ppm MnAS		
	10) 600 ppm MnAS		
	11) 800 ppm MnAS		

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
			MnSO <sub>4</sub> (200 ppm): + 132,18 %  MnAS (100 ppm): + 96,3 %  MnSO <sub>4</sub> (100 ppm): + 75,93 %
<b>Miles u.a. (2003)</b>	1) Kontrolle: 118 ppm Mn  2) Kontrolle + 500 ppm MnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 1000 ppm MnSO <sub>4</sub>  4) Kontrolle + 1500 ppm MnSO <sub>4</sub>  5) Kontrolle + 500 ppm MnAS  6) Kontrolle + 1000 ppm MnAS  7) Kontrolle + 1500 ppm MnAS	Mangengehalt Tibia	MnSO <sub>4</sub> (1500 ppm): + 1729,03 %  MnAS (1500 ppm): + 1316,13 %  MnSO <sub>4</sub> (1000 ppm): + 961,29 %  MnAS (1000 ppm): + 958,07 %  MnAS (500 ppm): + 500,00 %  MnSO <sub>4</sub> (500 ppm): + 493,55 %
<b>Bao u.a. (2010)</b>	1) Kontrolle: 14,6-15,4 ppm Mn  2) Kontrolle + 40 ppm MnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 40 ppm MnProt	Mangengehalt Tibia	MnSO <sub>4</sub> : + 116,67 %  MnProt: + 77,78 %
<b>Ei-Husseiny u. a. (2012)</b>	1) 120 ppm MnO  2) 120 ppm MnMet	Mangengehalt Tibia	MnMet: + 60,26 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Mabe u.a. (2003)</b>	1) Kontrolle: 24,7 ppm Mn  2) Kontrolle + 30 ppm MnO  3) Kontrolle + 60 ppm MnO  4) Kontrolle + 30 ppm MnAS  5) Kontrolle + 60 ppm MnAS	Mangengehalt Eigelb	MnAS (60 ppm): + 49,21 %  MnO (60 ppm): + 47,62 %  MnO (30 ppm): + 25,40 %  MnAS (30 ppm): +14, 29 %

Li u.a. (2004) verglichen den Einsatz von Manganmethionin, Manganproteinat, Mangan-Aminosäure-Komplexen und Mangansulfat in den Konzentrationen 60 ppm, 120 ppm oder 180 ppm. Hierbei konnte keine signifikant unterschiedliche Mangananreicherung in Tibia und Herz der untersuchten Tiere innerhalb der Manganquellen und –konzentrationen festgestellt werden. Li u.a. (2005) untersuchten die Auswirkungen von unterschiedlichen Manganformen auf Legehennen, wobei sie feststellten, dass sich weder die Manganquelle (Manganmethionin und Mangansulfat) noch die Mangankonzentration (60, 120 oder 180 ppm) auf die Anreicherung im Herzen auswirkte. In einer Untersuchung von Yan u.a. (2006) wurden über 20 Tage organisches und anorganisches Mangan an junge Broiler verfüttert (100 ppm, 200 ppm, 400 ppm oder 800 ppm). Es konnte hierbei ein signifikanter Unterschied der Mangananreicherung in der Tibia festgestellt werden. Organisches Mangan führte zu einem 16 % höheren Mangengehalt in der Tibia als durch Mangansulfat der gleichen Konzentration. Miles u.a. (2003) verglichen in ihrem Experiment Mangansulfat und Mangan-Aminosäure-Komplexe. Hierfür wurden Hühner über 21 Tage zu einer Basaldiät mit 500 ppm, 1000 ppm oder 1500 ppm Mangan gefüttert. Nach der Versuchsdauer lag keine unterschiedliche Manganeinlagerung in der Tibia unterhalb der Manganformen und –konzentrationen vor. Bao u.a. (2010) untersuchten über 35 Tage den Einfluss verschiedener Spurenelementquellen an 800 Broilern. Hierbei wurden Kupfer (4 ppm), Zink (30 ppm), Mangan (40 ppm) und Eisen (20 ppm) als Mischration entweder als Sulfate oder Proteinat verfüttert. Nach Ende der Versuchsreihe konnte weder ein Unterschied der Ca-, P-, Cu-, Fe-, noch der Zn-Konzentration in der Tibia zwischen den Spurenelementformen festgestellt werden. El-Husseiny u. a. (2012)

verglichen den Einsatz einer Mischration aus organischen und anorganischen Spurenelementen an Eintagsküken. Hierfür wurden 100 ppm Zink, 120 ppm Mangan und 16 ppm Kupfer entweder als Zinkoxid, Manganoxid, Kupfersulfat oder Zinkproteinat, Manganmethionin und Kupfermethionin zugefüttert. Nach der Versuchsdauer von neun Wochen, war der Tibiagehalt an Zink und Mangan durch organische Zufütterung höher als durch anorganische Zufütterung, während der Kupfergehalt niedriger war. In einer Studie von Mabe u.a. (2003) wurden Legehennen zu einer Basaldiät über fünf Wochen entweder mit 30 ppm Zink, 30 ppm Mangan und 5 ppm Kupfer oder 60 ppm Zink, 60 ppm und 10 ppm Kupfer in Form von Zinksulfat, Manganoxid, Kupfersulfat bzw. deren Aminosäure-Komplexen gefüttert. Der Gehalt an Zink und Mangan im Eigelb blieb hierbei von der Spurenelementform unbeeinflusst.



## Leistung

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Manganverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Geflügel ist in Tabelle 56 dargestellt.

Die Körpermassenentwicklung von Hühnern wurde in zwei untersuchten Studien durch die Manganform beeinflusst. Hierbei konnte durch den Einsatz von Manganmethionin und Manganproteinat gegenüber einer anorganischen Manganform eine höhere Gewichtsentwicklung festgehalten werden. Demgegenüber konnte in neun Versuchsgruppen keine Beeinflussung durch die Manganverbindung festgestellt werden (vier Gruppen mit Mangan-Aminosäure-Komplexen, drei mit Manganmethionin und zwei mit Manganproteinat).

In einer weiteren Studie blieb das Eigewicht durch die Manganform unbeeinflusst.

**Tabelle 56: Untersuchung zur Auswirkung verschiedener Manganverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Geflügel**

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Scheideler (1991)</b>	1) 30 ppm MnO 2) 60 ppm MnO 3) 200 ppm MnO 4) 30 ppm MnMet 5) 60 pp MnMet 6) 90 ppm MnMet	Körpermassenentwicklung	MnMet (30 ppm): - 3,17 % <sup>1</sup>  MnMet (60 ppm): + 14,52 % <sup>1</sup>  MnMet (200 ppm): 0 % <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Smith u.a. (1995)</b>	1) Kontrolle: 26 ppm Mn  2) Kontrolle + 1000 ppm MnO  3) Kontrolle + 2000 ppm MnO  4) Kontrolle + 3000 ppm MnO  5) Kontrolle + 1000 ppm MnSO <sub>4</sub>  6) Kontrolle + 2000 ppm MnSO <sub>4</sub>  7) Kontrolle + 3000 ppm MnSO <sub>4</sub>  8) Kontrolle + 1000 ppm MnProt  9) Kontrolle + 2000 ppm MnProt  10) Kontrolle + 3000 ppm MnProt	Körpermassenentwicklung	MnSO <sub>4</sub> (1000 ppm): + 5,14 %  MnSO <sub>4</sub> (3000 ppm): + 2,57 %  MnProt (1000 ppm): + 2,44 %  MnProt (2000 ppm): + 0,81 %  MnSulfat (2000 ppm): - 1,76 %  MnO (3000 ppm): - 4,47 %  MnO (2000 ppm): - 5,32 %  MnO (1000 ppm): - 6,36 %  MnProt (3000 ppm): - 19,49 %
<b>Miles u.a. (2003)</b>	1) Kontrolle: 118 ppm Mn  2) Kontrolle + 500 ppm MnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 1000 ppm MnSO <sub>4</sub>  4) Kontrolle + 1500 ppm MnSO <sub>4</sub>  5) Kontrolle + 500 ppm MnAS  6) Kontrolle + 1000 ppm MnAS  7) Kontrolle + 1500 ppm MnAS	Körpermassenentwicklung	MnAS (500 ppm): + 4,20 %  MnSO <sub>4</sub> (1000 ppm): + 2,85 %  MnSO <sub>4</sub> (500 ppm): + 1,63 %  MnAS (1000 ppm): + 1,36 %  MnAS (1500 ppm): - 3,52 %  MnSO <sub>4</sub> (1500 ppm): - 7,45 %

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Bao u.a. (2010)</b>	1) Kontrolle: 14,6-15,4 ppm Mn  2) Kontrolle + 40 ppm MnSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 40 ppm MnProt	Körpermassenentwicklung	MnSO <sub>4</sub> : + 99,80 %  MnProt: + 97,35 %
<b>EI-Husseiny u. a. (2012)</b>	1) 120 ppm MnO  2) 120 ppm MnMet	Körpermassenentwicklung	MnMet: + 7,12 % <sup>1</sup>
<b>Mabe u.a. (2003)</b>	1) Kontrolle: 24,7 ppm Mn  2) Kontrolle + 30 ppm MnO  3) Kontrolle + 60 ppm MnO  4) Kontrolle + 30 ppm MnAS  5) Kontrolle + 60 ppm MnAS	Eigewicht	MnO (30 ppm): - 4,14 %  MnO (60 ppm): - 5 %  MnAS (60 ppm): - 5,29 %  MnAS (30 ppm): - 6 %

Li u.a. (2005) untersuchten die Auswirkungen von Mangan auf die Leistung von Legehennen, wobei sie feststellten, dass sich weder die Manganquelle (Manganmethionin und Mangansulfat) noch die Mangankonzentration (60, 120 oder 180 ppm) auf die Futteraufnahme und Gewichtszunahme der Versuchstiere auswirkte. Ähnliche Ergebnisse ergaben Untersuchungen von Scheideler (1991). Mangan wurde in Form von Manganmethionin und Manganoxid in unterschiedlichen Konzentrationen verfüttert (30, 60 oder 200 ppm). Es konnte gezeigt werden, dass sich die Manganquelle nicht auf das Körpergewicht der Tiere auswirkte. Demgegenüber beobachteten Smith u.a. (1995) höhere Endgewichte bei Hühnern, die mit anorganischen Manganquellen gefüttert wurden gegenüber Manganproteinat. Li u.a. (2004) verglichen den Einsatz von Manganmethionin, Manganproteinat, Mangan-Aminosäure-

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

Komplexen und Mangansulfat in den Konzentrationen 60 ppm, 120 ppm oder 180 ppm. Hierbei konnte keine signifikant unterschiedliche Körpermassenentwicklung innerhalb der Manganquellen und -konzentrationen festgestellt werden. In einer Untersuchung von Yuan u.a. (2006) wurden über 20 Tage organisches und anorganisches Mangan an junge Broiler verfüttert (100 ppm, 200 ppm, 400 ppm oder 800 ppm). Es konnte hierbei kein signifikanter Unterschied bei der Gewichtszunahme zwischen den Manganformen gleicher Konzentration festgestellt werden. Miles u.a. (2003) verglichen in ihrem Experiment Mangansulfat und Mangan-Aminosäure-Komplexe. Hierfür wurden Hühner über 21 Tage zu einer Basaldiät mit 500 ppm, 1000 ppm oder 1500 ppm Mangan gefüttert. Nach der Versuchsdauer lag keine unterschiedliche Gewichtsentwicklung bei den Manganformen und -konzentrationen vor. Bao u.a. (2010) untersuchten über 35 Tage den Einfluss verschiedener Spurenelementquellen an 800 Broilern. Hierbei wurden Kupfer (4 ppm), Zink (30 ppm), Mangan (40 ppm) und Eisen (20 ppm) als Mischung entweder als Sulfate oder Proteinate verfüttert. Während des Versuchs konnte kein Unterschied in der Körpermassenentwicklung zwischen den eingesetzten Spurenelementquellen festgestellt werden. El-Husseiny u. a. (2012) verglichen den Einsatz einer Mischung aus organischen und anorganischen Spurenelementen an Eintagsküken. Hierfür wurden 100 ppm Zink, 120 ppm Mangan und 16 ppm Kupfer entweder als Zinkoxid, Manganoxid, Kupfersulfat oder Zinkproteinat, Manganmethionin und Kupfermethionin zugefüttert. Über die Versuchsdauer von neun Wochen konnte die Körpermassenzunahme durch die organischen Spurenelemente merklich gesteigert werden. In einer Studie von Mabe u.a. (2003) wurden Legehennen zu einer Basaldiät über fünf Wochen entweder mit 30 ppm Zink, 30 ppm Mangan und 5 ppm Kupfer oder 60 ppm Zink, 60 ppm und 10 ppm Kupfer in Form von Zinksulfat, Manganoxid, Kupfersulfat bzw. deren Aminosäure-Komplexen gefüttert. Das Eigewicht blieb hierbei von der Elementform unbeeinflusst.

## Immunität

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Manganverbindungen bei Geflügel auf die Immunität ist in Tabelle 57 dargestellt.

Die Auswirkungen von unterschiedlichen Manganverbindungen auf die Mortalität von Geflügel wurden in drei Studien untersucht. Hierbei konnte in allen drei Studien gezeigt werden, dass die Sterblichkeitsrate nicht durch die Manganform beeinflusst wurde.

**Tabelle 57: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Manganverbindungen auf die Immunität bei Geflügel**

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Yan u.a. (2006)</b>	1) Kontrolle 2) 100 ppm MnSO <sub>4</sub> 3) 200 ppm MnSO <sub>4</sub> 4) 400 ppm MnSO <sub>4</sub> 5) 600 ppm MnSO <sub>4</sub> 6) 800 ppm MnSO <sub>4</sub> 7) 100 ppm MnAS 8) 200 ppm MnAS 9) 400 ppm MnAS 10) 600 ppm MnAS 11) 800 ppm MnAS	Sterblichkeit	MnSO <sub>4</sub> (100 ppm): - 100 %  MnSO <sub>4</sub> (800 ppm): - 100 %  MnAS (100 ppm): - 50,07 %  MnSO <sub>4</sub> (200 ppm): - 50,07 %  MnSO <sub>4</sub> (400 ppm): - 50,07 %  MnAS (200 ppm): 0 %  MnAS (400 ppm): 0 %  MnAS (800 ppm): 0 %
<b>Bao u.a. (2010)</b>	1) Kontrolle: 14,6-15,4 ppm Mn 2) Kontrolle + 40 ppm MnSO <sub>4</sub> 3) Kontrolle + 40 ppm MnProt	Sterblichkeit	MnO: - 36%  MnMet: - 40%

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>El-Husseiny u. a. (2012)</b>	1) 120 ppm MnO 2) 120 ppm MnMet	Sterblichkeit	MnProt: - 80 % <sup>1</sup>

In einer Untersuchung von Yan u.a. (2006) wurden über 20 Tage organisches und anorganisches Mangan an junge Broiler verfüttert (100 ppm, 200 ppm, 400 ppm oder 800 ppm). Es konnte hierbei kein signifikanter Unterschied der Verlustrate zwischen den Manganformen gleicher Konzentration festgestellt werden. El-Husseiny u. a. (2012) verglichen den Einsatz einer Mischration aus organischen und anorganischen Spurenelementen an Eintagsküken. Hierfür wurden 100 ppm Zink, 120 ppm Mangan und 16 ppm Kupfer entweder als Zinkoxid, Manganoxid, Kupfersulfat oder Zinkproteinat, Manganmethionin und Kupfermethionin zugefüttert. Über die Versuchsdauer von neun Wochen konnte kein Unterschied in der Sterblichkeitsrate zwischen den Spurenelementen gemessen werden. Bao u.a. (2010) untersuchten über 35 Tage den Einfluss verschiedener Spurenelementquellen an 800 Broilern. Hierbei wurden Kupfer (4 ppm), Zink (30 ppm), Mangan (40 ppm) und Eisen (20 ppm) als Mischration entweder in Form von Sulfaten oder Proteinaten verfüttert. Während des Versuchs konnte kein Unterschied in der Sterblichkeitsrate zwischen den eingesetzten Spurenelementquellen festgestellt werden.

---

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

## Sonderleistungen

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Manganverbindungen bei Geflügel ist in Tabelle 58 dargestellt.

Durch die Supplementierung mit Manganproteinat konnte in zwei untersuchten Studien die ausgeschiedene Menge an Mangan mit dem Kot, im Vergleich zu Mangansulfat, reduziert werden.

**Tabelle 58: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Manganverbindungen auf Geflügel**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Nollet u.a. (2007)</b>	1) 70 ppm MnSO <sub>4</sub> 2) 10 ppm MnProt	faecale Manganausscheidung	MnProt: - 53,42 % <sup>1</sup>

Nollet u.a. (2007) verglichen Mangan, Zink, Eisen (je 10 ppm) und Kupfer (2,5 ppm) als Proteinat mit 70 ppm Mangan, 37 ppm Zink, 45 ppm Eisen und 12 ppm Kupfer als Sulfate. Die faecale Ausscheidung der Elemente war im Falle der Proteinat im Vergleich zu den Sulfaten signifikant niedriger (Mn 46 %, Zn 63%, Fe 73 %, Cu 55 %).

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

## 11.5 Eisen

In den untersuchten Studien wurde die Bioverfügbarkeit von Eisen in der Regel anhand der Körpermassenentwicklung bestimmt. Daneben dienten die Fe-Gehalte in Leber, Plasma und Serum als weitere Indikatoren zur Verwertbarkeit von Eisen im Tierkörper.

Insgesamt wurden 14 Studien zu Eisen näher untersucht. Hierbei entfielen 1 auf Rinder, 5 auf Geflügel und 8 auf Schweine. Die verwendeten organischen Eisenformen waren hierbei:

**Tabelle 59: Übersicht zum Einsatz von organischem Eisen**

<b>Verbindung</b>	<b>Anzahl der Versuchsgruppen</b>
Eisenmethionin	12
Eisenglycin	25
Eisen-Aminosäure-Komplexe	19
Eisenproteinat	10



### 11.5.1 Rinder

#### Resorption

Eine Übersicht der Resorbierbarkeit von unterschiedlichen Eisenverbindungen bei Rindern ist in Tabelle 60 dargestellt.

In einer untersuchten Studie mit Eisen-Aminosäure-Komplexe wurde, im Vergleich zu Eisensulfat, der Eisengehalt im Blut-Serum, nicht durch die Eisenverbindung beeinflusst.

**Tabelle 60: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Eisenverbindungen bei Rindern**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Weiss u.a. (2010)</b>	1) Kontrolle: 282-336 ppm Fe  2) Kontrolle + 30 ppm FeAS	Eisengehalt Serum	FeAS: 0 %

In einer Studie von Weiss u.a. (2010) wurden Holstein-Kühe 60 Tage vor dem erwarteten Abkalbetermin bis 60 Tage post partum mit 60 ppm Eisen als Eisen-Aminosäure-Komplex zugefüttert. Es konnte gezeigt werden, dass sich die Eisenform nicht auf die Fe-Anreicherung im Blutserum der Milchkühe auswirkte.

#### Leistung

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Eisenverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Rindern ist in Tabelle 61 dargestellt.

Durch einen Eisen-Aminosäure-Komplex konnten im Vergleich zu Eisensulfat in einer Studie weder die Körpermassenentwicklung noch die Milchleistungsmenge unterschiedlich beeinflusst werden.

**Tabelle 61: Untersuchung zur Auswirkung verschiedener Eisenverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Rindern**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Weiss u.a. (2010)</b>	1) Kontrolle: 282-336 ppm Fe	Körpermassenentwicklung	FeAS: - 2,08 %
	2) Kontrolle + 30 ppm FeAS	Milchleistung	FeAS: + 0,72 %

In einer Studie von Weiss u.a. (2010) wurden Holstein-Kühe 60 Tage vor dem erwarteten Abkalbetermin bis 60 Tage post partum mit 60 ppm Eisen als Eisen-Aminosäure-Komplexe zugefüttert. Es konnte gezeigt werden, dass sich die Eisenform nicht auf die Gewichtsentwicklung und Milchmenge der Milchkühe auswirkte.

### 11.5.2 Schweine

#### Resorption

Eine Übersicht über Studien zur Resorbierbarkeit von unterschiedlichen Eisenverbindungen bei Schweinen ist in Tabelle 62 dargestellt.

In zwei Studien wurde weder durch organisches Eisen (jeweils Eisenproteinat und Eisenmethionin) noch durch anorganisches Eisen die Eisenkonzentration in der Leber beeinflusst, während in einer weiteren Studie (Eisen-Aminosäure-Komplexe) die Anreicherung von Eisen in der Leber durch die organische Eisenquelle höher lag als durch Eisensulfat.

Neben der Eisenkonzentration im Blut-Serum, welche in einer Studie mit Eisenproteinat gleich auflag wie in der anorganischen Vergleichsgruppe, konnten der Eisengehalt in der Milz (eine Studie mit Eisen-Aminosäure-Komplexen) und im Blut-Plasma (eine Studie mit Eisen-Aminosäure-Komplexen) durch die organische Eisenquelle gegenüber der anorganischen Gruppe gesteigert werden.

**Tabelle 62: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Eisenverbindungen bei Schweinen**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Wei u.a. (2005)</b>	1) Kontrolle: 80 ppm Fe  2) Kontrolle + 120 ppm FeSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 120 ppm FeAS	Plasma Nachkommen	FeAS: + 8,66 %  FeSO <sub>4</sub> : + 3,44%
<b>Yu u.a. (2000)</b>	1) Kontrolle: 100 ppm Fe  2) Kontrolle + 120 ppm FeSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 30 ppm FeAS  4) Kontrolle + 60 ppm FeAS  5) Kontrolle + 90 ppm FeAS	Eisengehalt Milz	FeAS (90 ppm): + 65,45 %  FeAS (120 ppm): + 55,96 %  FeSO <sub>4</sub> (120 ppm): + 53,65 %  FeAS (30 ppm): + 42,98 %  FeAS (60 ppm): + 29,30 %
	6) Kontrolle + 120 ppm FeAS	Eisengehalt Leber	FeAS (120 ppm): + 37,81 %  FeAS (90 ppm): + 11,64 %  FeSO <sub>4</sub> (120 ppm): - 0,93 %  FeAS (60 ppm): - 11,08 %  FeAS (30 ppm): - 11,57 %

Dies deckt sich mit Berichten von Yu u.a. (2000), die 120 ppm Eisensulfat mit 30, 60, 90 oder 120 ppm Eisen als Eisen-Aminosäure-Komplexe verglichen. Die Eiseneinlagerung in Leber und Milz war unabhängig vom Supplementationsgehalt in den Gruppen mit organischem Eisen höher als durch mineralische Zufütterung, wobei der Eisengehalt linear mit dem

Supplementationsgehalt der Ration stieg. Auch Wei u.a. (2005) verglichen mineralisches und organisches Eisen (jeweils 120 ppm) bei trächtigen Sauen und deren Nachkommen. Es konnte gezeigt werden, dass durch organisches Eisen eine höhere Eisenkonzentration im Blutplasma der Nachkommen erreicht wurde. Demgegenüber konnten Lewis u.a. (1995) keine Unterschiede zwischen Eisenmethionin und Eisensulfat bzw. zwischen Eisenproteinat und Eisensulfat in der Eisenanreicherung in der Leber (Lewis u.a., 1999) bei Absetzferkeln feststellen.

### Leistung

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Eisenverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Schweinen ist in Tabelle 63 dargestellt.

Die Körpermassenentwicklung von Schweinen wurde durch organische Eisenverbindungen, im Vergleich zu einer anorganischen Eisenquelle, in drei Studien (zwei Studien mit Eisenglycin und eine Studie mit Eisenproteinat) stärker erhöht, während sie in drei weiteren Studien (jeweils eine Studie mit Eisen-Aminosäure-Komplexen, Eisenmethionin und Eisenproteinat) nicht beeinflusst wurde.

Die Anzahl der Nachkommen wurde in allen drei untersuchten Studien nicht durch die Eisenverbindung beeinflusst, während das Gewicht der Nachkommen in einer Studie durch Eisenproteinat höher lag als durch die anorganische Eisenform und in zwei weiteren Studien nicht durch die Eisenverbindung beeinflusst wurde.

**Tabelle 63: Untersuchung zur Auswirkung verschiedener Eisenverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Schweinen**

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Creech u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 100 ppm FeSO <sub>4</sub>  2) Kontrolle + 25 ppm FeSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 25 ppm FeProt	Körpermassenentwicklung	FeProt: - 1,79 %  FeSO <sub>4</sub> : - 2,02 %

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Ettle u.a. (2008)</b>	1) Kontrolle: 41 ppm Fe  2) Kontrolle + 30 ppm FeSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 60 ppm FeSO <sub>4</sub>  4) Kontrolle + 90 ppm FeSO <sub>4</sub>  5) Kontrolle + 30 ppm FeGly  6) Kontrolle + 60 ppm FeGly  7) Kontrolle + 90 ppm FeGly	Körpermassenentwicklung	FeGly (30 ppm): + 59,67 %  FeGly (60 ppm): + 58,56 %  FeSO <sub>4</sub> (30 ppm): + 55,8 %  FeSO <sub>4</sub> (60 ppm): + 55,25 %  FeGly (90 ppm): + 54,7 %  FeSO <sub>4</sub> (90 ppm): + 53,04 %
<b>Wei u.a. (2005)</b>	1) Kontrolle: 80 ppm Fe  2) Kontrolle + 120 ppm FeSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 120 ppm FeAS	Anzahl Nachkommen	FeAS: + 11,32 %  FeSO <sub>4</sub> : + 2,83 %
<b>Yu u.a. (2000)</b>	1) Kontrolle: 100 ppm Fe  2) Kontrolle + 120 ppm FeSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 30 ppm FeAS  4) Kontrolle + 60 ppm FeAS  5) Kontrolle + 90 ppm FeAS  6) Kontrolle + 120 ppm FeAS	Körpermassenentwicklung	FeAS (120 ppm): + 5,74 %  FeAS (90 ppm): + 4,93 %  FeSO <sub>4</sub> (120 ppm): + 3,96 %  FeAS (60 ppm): + 2,87 %  FeAS (120 ppm): + 5,74 %  FeAS (30 ppm): - 1,32 %

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Feng u.a. (2007)</b>	1) Kontrolle: 78,55 ppm Fe	Körpermassenentwicklung	FeGly (90 ppm): + 11,08 %
	2) Kontrolle + 120 ppm FeSO <sub>4</sub>		FeGly (120 ppm): + 9,93 %
	3) Kontrolle + 30 ppm FeGly		FeGly (60 ppm): + 9,7 %
	4) Kontrolle + 60 ppm FeGly		FeSO <sub>4</sub> : + 9,42 %
	5) Kontrolle + 90 FeGly		FeGly (30 ppm): + 3,32 %
	6) Kontrolle + 120 ppm FeGly		
<b>Tummaruk u.a. (2003)</b>	1) Kontrolle	Anzahl Nachkommen	FeGly: - 12,3 %
	2) 62,5 ppm FeGly	Gewicht Nachkommen	FeGly – 3,64 %
<b>Acda u.a. (2002)</b>	1) 50 ppm FeSO <sub>4</sub>	Anzahl Nachkommen,	Fe-Prot (50 ppm): - 26,85 % <sup>1</sup>
	2) 100 ppm FeSO <sub>4</sub>		Fe-Prot (100 ppm): + 9,37 % <sup>1</sup>
	3) 50 ppm FeProt	Anzahl lebender Nachkommen	Fe-Prot (50 ppm): - 12,09 % <sup>1</sup>
	4) 100 ppm FeProt		Fe-Prot (100 ppm): + 16,30 % <sup>1</sup>

In o.g. Studie zu Eisen von Creech u.a. wurden Mastferkel in drei Versuchsgruppen entweder mit einer Kontrolldiät, einer reduzierten anorganischen (25 ppm Eisensulfat) oder einer reduzierten organischen Diät (25 ppm Eisenproteinat) gefüttert. Es konnte gezeigt werden, dass trotz reduziertem Eisengehalt in beiden Versuchsgruppen die Futtermittelverwertung unbeeinflusst blieb (Creech u.a., 2004). Auch Ertle u.a. (2008) untersuchten die Auswirkungen von Eisen in Form von Eisenglycin und Eisensulfat. Absetzferkeln wurden zu einer Basaldiät

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

mit unterschiedlichen Konzentrationen Eisen als Eisenglycin oder Eisensulfat zugefüttert. Hierbei konnte bei Eisenglycin eine minimal bessere Futterverwertung festgestellt werden. Demgegenüber konnten Yu u.a. (2000), die 120 ppm Eisensulfat mit 30, 60, 90 oder 120 ppm Eisen als Eisen-Aminosäure-Komplexe verglichen, keinen Unterschied in der Körpermassenentwicklung feststellen. Auch Wei u.a. (2005) verglichen mineralisches und organisches Eisen (jeweils 120 ppm) bei trächtigen Sauen und deren Nachkommen. Weder die Geburtenzahlen noch das Geburtsgewicht der Nachkommen wurde hierbei von der Eisenquelle beeinflusst. In einer Studie von Close u.a. (1998) konnte hierzu gezeigt werden, dass Eisenproteinat im Vergleich zu Eisensulfat in der gleichen Konzentration das Gewicht der Nachkommen steigern und die Verlustrate der Ferkel minimieren konnte. Ebenfalls berichteten Close u.a. (1999), dass organisches Eisen im Gegensatz zu anorganischen Eisenquellen die Körpermassenentwicklung von trächtigen Sauen und ihrer Nachkommen positiv beeinflussen kann. Demgegenüber konnten Lewis u.a. (1995) keine Unterschiede in der Gewichtszunahme zwischen Eisenmethionin und Eisensulfat bei Absetzferkeln feststellen. Feng u.a. (2007) verglichen Eisenglycin (30 ppm, 60 ppm, 90 ppm oder 120 ppm) und Eisensulfat (120 ppm) an 180 Ferkeln über 40 Tage. Nach der Versuchsdauer konnte gezeigt werden, dass die Gewichtszunahme der Ferkel mit ansteigendem Eisengehalt der Futterration linear anstieg, wobei der höchste Gewichtsgewinn bei 90 ppm Eisenglycin verzeichnet werden konnte. Eine thailändische Studie von Tummaruk u.a. (2003) über vier Monate mit 600 Schweinen verglich Eisenglycin mit Eisensulfat. Hierbei konnte gezeigt werden, dass sich die Eisenform nicht auf die Anzahl und das Gewicht der Nachkommen auswirkte. In einer Studie zum Einfluss verschiedener Spurenelementsupplemente auf die Fortpflanzung fanden Acda und Chae, dass weder das durchschnittliche Geburtsgewicht noch die Gesamtgeburtenszahl oder die Anzahl der Lebendgeburten und Absetzer von Darbietungsform (Metalloproteinate oder anorganisch) oder Dosis (niedrig oder hoch) signifikant beeinflusst wurden (Acda u.a., 2002). Die Tiere wurden in dieser Studie in vier Gruppen eingeteilt, die entweder niedrig dosiertes Fe (50 ppm), Cu (17,5 ppm), Zn (45 ppm) und Mn (20 ppm) in anorganischer oder Metalloproteinatform erhielten oder dieselben Spurenelemente jeweils anorganisch oder als Metalloproteinate in hoher Dosierung (100 ppm Fe, 35 ppm Cu, 90 ppm Zn und 40 ppm Mn). Die Wachstumsrate der Ferkel in der niedrigdosierten organischen Gruppe war dieselbe wie in der anorganisch hochdosierten Gruppe. Insgesamt verwerteten Ferkel in den organischen Gruppen ihr Futter besser.

## Immunität

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Eisenverbindungen bei Schweinen auf die Immunität ist in Tabelle 64 dargestellt.

Eisenglycin konnte in einer Studie den Hämoglobingehalt von Absetzferkeln stärker erhöhen als Eisensulfat, während in einer weiteren Studie weder der Hämoglobingehalt, noch der Hämatokrit von Schweinen durch die Eisenverbindung beeinflusst wurde. In einer Studie zur Mortalität von Schweinen konnte Eisenproteinat gegenüber Eisensulfat die Verlustrate von Schweinen reduzieren.

**Tabelle 64: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Eisenverbindungen auf die Immunität bei Schweinen**

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Feng u.a. (2007)</b>	1) Kontrolle: 78,55 ppm Fe	Hämoglobingehalt	FeGly (90 ppm): + 13,08 %
	2) Kontrolle + 120 ppm FeSO <sub>4</sub>		FeGly (120 ppm): + 8,41 %
	3) Kontrolle + 30 ppm FeGly		FeSO <sub>4</sub> : + 7,48 %
	4) Kontrolle + 60 ppm FeGly		FeGly (60 ppm): + 6,54 %
	5) Kontrolle + 90 FeGly		FeGly (30 ppm): + 5,61 %
	6) Kontrolle + 120 ppm FeGly		
<b>Tummaruk u.a. (2003)</b>	1) Kontrolle	Hämatokrit Muttertier	FeGly: - 7,14 %
	2) 62,5 ppm FeGly	Hämoglobingehalt Muttertier	FeGly: - 7,69 %
		Hämatokrit Nachkommen	FeGly: - 6,49 %
		Hämoglobingehalt Nachkommen	FeGly: -6,19 %



Eine thailändische Studie von Tummaruk u.a. (2003) über vier Monate mit 600 Schweinen verglich Eisenglycin mit Eisensulfat. Hierbei konnte gezeigt werden, dass sich weder der Hämoglobingehalt, noch der Hämatokrit der Schweine durch die Eisenform unterschied. Feng u.a. (2007) verglichen Eisenglycin (30 ppm, 60 ppm, 90 ppm oder 120 ppm) und Eisensulfat (120 ppm) an 180 Ferkeln über 40 Tage. Nach der Versuchsdauer konnte gezeigt werden, dass der Hämoglobingehalt der Ferkel mit ansteigendem Eisengehalt der Futtermittel linear anstieg und unabhängig der Eisenkonzentration des Futters höher lag als mit Eisensulfat. In einer Studie von Close u.a. (1998) konnte gezeigt werden, dass Eisenproteinat im Vergleich zu Eisensulfat in der gleichen Konzentration die Verlustrate der Ferkel minimieren konnte.

### Sonderleistungen

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Eisenverbindungen bei Schweinen ist in Tabelle 65 dargestellt.

Während in einer vorliegenden Studie zur Eisenausscheidung bei Schweinen ein Rückgang des Eisengehalts im Faeces durch Eisenproteinat im Vergleich zu Eisensulfat festgestellt werden konnte, wurde in einer weiteren Studie mit Eisenproteinat keine Auswirkung auf den Eisengehalt im Kot durch die Eisenverbindung beobachtet.

**Tabelle 65: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Eisenverbindungen auf Schweine**

<b>Autor</b>	<b>Versuchsgruppen</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Deng u.a. (2010)</b>	1) 250 ppm FeSO <sub>4</sub> 2) 100 ppm FeProt	faecale Eisenausscheidung	FeProt: - 49,11 % <sup>1</sup>
<b>Creech u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 100 ppm FeSO <sub>4</sub> 2) Kontrolle + 25 ppm FeSO <sub>4</sub> 3) Kontrolle + 25 ppm FeProt	faecale Eisenausscheidung	FeSO <sub>4</sub> : - 13,00 % FeProt: - 17,67 %

<sup>1</sup> Keine Kontrollgruppe definiert. Prozentuale Veränderung im Vergleich zur anorganischen Verbindung.

In o.g. Studie zu Eisen von Creech u.a. wurden Mastferkel in drei Versuchsgruppen entweder mit einer Kontrolldiät, einer reduzierten anorganischen (25 ppm Eisensulfat) bzw. einer reduzierten organischen Diät (25 ppm Eisenproteinat) gefüttert. Es konnte gezeigt werden, dass in beiden Gruppen die Mineralausscheidung stark gesenkt werden konnte (Creech u.a., 2004).

### 11.5.3 Geflügel

#### Resorption

Eine Übersicht der Resorbierbarkeit von unterschiedlichen Eisenverbindungen bei Geflügel ist in Tabelle 66 dargestellt.

Der Eisengehalt in der Tibia konnte in einer Studie durch organisches Eisen (eine Studie zu Eisenglycin) gegenüber anorganischem Eisen gesteigert werden, während in einer weiteren Studie kein Unterschied zwischen den Eisenverbindungen bestand. In der Leber konnte durch organisches Eisen (jeweils eine Studie zu Eisenglycin und Eisenmethionin) eine höhere Eisenanreicherung gegenüber anorganischem Eisen gemessen werden.

**Tabelle 66: Untersuchung zur Resorbierbarkeit verschiedener Eisenverbindungen bei Geflügel**

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
Seo u.a. (2008)	1) Kontrolle: 50 ppm Fe	Eisengehalt Leber	FeMet (200 ppm): + 42,98 %
	2) Kontrolle + 100 ppm FeSO <sub>4</sub>		FeMet (100 ppm): + 21,62 %
	3) Kontrolle + 200 ppm FeSO <sub>4</sub>		FeSO <sub>4</sub> (200 ppm): + 17,38 %
	4) Kontrolle + 100 ppm FeMet		FeSO <sub>4</sub> (100 ppm): +10,17 %
	5) Kontrolle + 200 ppm FeMet	Eisengehalt Muskulatur	FeMet (200 ppm): + 40,18 %
			FeMet (100 ppm): + 38,22 %
			FeSO <sub>4</sub> (200 ppm): + 4,24 %
			FeSO <sub>4</sub> (100 ppm): + 0,82 %

<b>Autor</b>	<b>Fe-Verbindung</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Ma u.a. (2012)</b>	1) Kontrolle: 79 ppm Fe	Eisengehalt Leber	FeGly (160 ppm): + 18,99 %
	2) Kontrolle + 160 ppm FeSO <sub>4</sub>		FeSO <sub>4</sub> : + 13,1 %
	3) Kontrolle + 40 ppm FeGly		FeGly (120 ppm): + 12,44 %
	4) Kontrolle + 80 ppm FeGly	Eisengehalt Tibia	FeGly (80 ppm): + 7,23 %
	5) Kontrolle + 120 ppm FeGly		FeGly (40 ppm): + 3,35 %
	6) Kontrolle + 160 ppm FeGly		
<b>Bao u.a. (2010)</b>	1) Kontrolle: 60,1-69,2 ppm Fe	Eisengehalt Tibia	FeSO <sub>4</sub> : - 2,47 %
	2) Kontrolle + 20 ppm FeSO <sub>4</sub>		FeProt: - 4,93 %
	3) Kontrolle + 20 ppm FeProt		

In einer Studie zu Eisen von Ma u.a. (2012) konnte durch Zufütterung mit Eisenglycin in einer Konzentration von 40, 80, 120 und 160 ppm Fe der Eisengehalt im Gewebe bei Mastgeflügel deutlich gegenüber 160 ppm Eisensulfat erhöht werden. In einer fünfwöchigen Studie von Seo u.a. (2008) konnte in Abhängigkeit von der Spurenelementquelle festgestellt werden, dass bei einer Supplementation mit 200 ppm Eisenmethionin der Eisengehalt in der Brustmuskulatur und Leber signifikant höher in den Gruppen mit Eisenmethionin war im Vergleich zur anorganischen Supplementation. Bao u.a. (2010) untersuchten über 35 Tage den Einfluss verschiedener Spurenelementquellen an 800 Broilern. Hierbei wurden Kupfer (4 ppm), Zink (30 ppm), Mangan (40 ppm) und Eisen (20 ppm) als Mischration entweder als Sulfate oder Proteinate verfüttert. Nach Ende der Versuchsreihe konnte weder ein Unterschied der Ca-, P-, Cu-, Fe-, noch der Zn-Konzentration in der Tibia zwischen den Spurenelementformen festgestellt werden.

## Leistung

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Eisenverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Geflügel ist in Tabelle 67 dargestellt.

Die Körpermassenentwicklung wurde in zwei Studien weder von einem Eisen-Aminosäure-Komplex noch von Eisenmethionin im Vergleich zu Eisensulfat unterschiedlich beeinflusst. Demgegenüber konnte durch Eisenglycin die Körpermasse in einer weiteren Studie stärker beeinflusst werden als durch anorganisches Eisen.

Die Legeleistung der untersuchten Hennen konnten in jeweils einem Versuch mit Eisenmethionin gegenüber Eisensulfat gesteigert und reduziert werden, während in einem dritten Versuch keine Beeinflussung durch die Eisenverbindung vorlag.

**Tabelle 67: Untersuchung zur Auswirkung verschiedener Eisenverbindungen auf die Leistungseigenschaften bei Geflügel**

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
Paik u.a. (2009)	1) Kontrolle: 121 ppm Fe  2) Kontrolle + 100 ppm FeSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 200 ppm FeSO <sub>4</sub>  4) Kontrolle + 100 ppm FeMet	Legeleistung	FeSO <sub>4</sub> (100 ppm): + 1,62 %  FeSO <sub>4</sub> (200 ppm): + 1,62 %  FeMet (100 ppm): - 2,64 %

Autor	Fe-Verbindung	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Park u.a. (2004)</b>	1) Kontrolle: 52,5 ppm Fe  2) Kontrolle + 100 ppm FeSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 200 ppm FeSO <sub>4</sub>  4) Kontrolle + 300 ppm FeSO <sub>4</sub>  5) Kontrolle + 100 ppm FeMet  6) Kontrolle + 200 ppm FeMet  7) Kontrolle + 300 ppm FeMet	Legeleistung	FeSO <sub>4</sub> (200 ppm): + 5,47 %  FeMet (100 ppm): 0 %  FeSO <sub>4</sub> (300 ppm): - 1,53 %  FeMet (300 ppm): - 4,71 %  FeSO <sub>4</sub> (100 ppm): - 8,87 %  FeMet (200 ppm): - 9,74 %
<b>Seo u.a. (2008)</b>	1) Kontrolle: 50 ppm Fe  2) Kontrolle + 100 ppm FeSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 200 ppm FeSO <sub>4</sub>  4) Kontrolle + 100 ppm FeMet  5) Kontrolle + 200 ppm FeMet	Körpermassenentwicklung	FeMet (200 ppm): + 2,54 %  FeMet (100 ppm): + 0,46 %  FeSO <sub>4</sub> (100 ppm): + 0,14 %  Fe-Sulfat (200 ppm): - 0,16 %

<b>Autor</b>	<b>Fe-Verbindung</b>	<b>Indikator</b>	<b>prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe</b>
<b>Ma u.a. (2012)</b>	1) Kontrolle: 79 ppm Fe  2) Kontrolle + 160 ppm FeSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 40 ppm FeGly  4) Kontrolle + 80 ppm FeGly  5) Kontrolle + 120 ppm FeGly  6) Kontrolle + 160 ppm FeGly	Körpermassenentwicklung	FeGly (160 ppm): + 7,9 %  FeGly (120 ppm): + 7,67 %  FeGly (80 ppm): + 3,8 %  FeGly (40 ppm): + 3,77 %  FeSO <sub>4</sub> : + 3,73 %
<b>Bao u.a. (2010)</b>	1) Kontrolle: 60,1-69,2 ppm Fe  2) Kontrolle + 20 ppm FeSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 20 ppm FeProt	Körpermassenentwicklung	FeSO <sub>4</sub> : + 99,80 %  FeProt: + 97,35 %

In einer Studie zu Eisen von Ma u.a. (2012) konnte durch Zufütterung mit Eisenglycin in einer Konzentration von 40, 80, 120 und 160 ppm Fe die Gewichtszunahme bei Mastgeflügel deutlich gegenüber 160 ppm Eisensulfat erhöht werden. Bei den Leistungsparametern Körpermassenzunahme und Futteraufnahme konnte während der fünfwöchigen Studiendauer von Seo u.a. (2008) kein signifikanter Unterschied in Abhängigkeit zu der Spurenelementquelle festgestellt werden. Zwar war die Futtermittelverwertung während der dreiwöchigen Aufzuchtphase bei einer Supplementation mit 200 ppm Eisenmethionin signifikant höher als bei allen anderen Gruppen, jedoch verlief sich dieser Vorteil über die gesamte Phase der Studie. Paik u.a. (2009) verglichen 120 ppm Eisensulfat mit 100 ppm Eisenmethionin an 800 Legehennen über fünf Wochen und konnten zeigen, dass die Legeleistung durch Eisenmethionin reduziert wurde. Park u.a. (2004) fütterten 80 Legehennen mit jeweils 100 ppm, 200 ppm oder 300 ppm in Form von Eisenmethionin oder Eisensulfat. In Abhängigkeit der Fe-Konzentration in der Futtermittelration konnten unterschiedliche Ergebnisse erzielt werden. So konnte in Bezug auf die Legeleistung durch eine Zufütterung mit 100 ppm

Eisenmethionin eine höhere Produktivität festgestellt werden, während durch 200 ppm oder 300 ppm eine Supplementierung mit Eisensulfat effektiver war. Bao u.a. (2010) untersuchten über 35 Tage den Einfluss verschiedener Spurenelementquellen an 800 Broilern. Hierbei wurden Kupfer (4 ppm), Zink (30 ppm), Mangan (40 ppm) und Eisen (20 ppm) als Mischration entweder als Sulfate oder Proteinate verfüttert. Während des Versuchs konnte kein Unterschied in der Körpermassenentwicklung zwischen den eingesetzten Spurenelementquellen festgestellt werden.

### Immunität

Eine Übersicht der Auswirkungen von unterschiedlichen Eisenverbindungen bei Geflügel auf die Immunität ist in Tabelle 68 dargestellt.

Während in einer Studie zur Auswirkung von Eisen auf die Immunität von Geflügel durch Zufütterung mit Eisenmethionin kein Unterschied in der Sterblichkeitsrate im Vergleich zu anorganischem Eisen ermittelt werden konnte, konnte in einer weiteren Studie mit Eisenproteinat die Mortalität der Tiere durch organisches Eisen gegenüber anorganischem reduziert werden.

**Tabelle 68: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener Eisenverbindungen auf die Immunität bei Geflügel**

Autor	Versuchsgruppen	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Seo u.a. (2008)</b>	1) Kontrolle: 50 ppm Fe  2) Kontrolle + 100 ppm FeSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 200 ppm FeSO <sub>4</sub>  4) Kontrolle + 100 ppm FeMet  5) Kontrolle + 200 ppm FeMet	Sterblichkeit	FeMet (100 ppm): 0%  FeMet (200 ppm): - 100 %  FeSO <sub>4</sub> (100 ppm): - 100 %  FeSO <sub>4</sub> (200 ppm): 0 %



Autor	Zn-Verbindung	Indikator	prozentuale Veränderung zur Kontrollgruppe
<b>Bao u.a. (2010)</b>	1) Kontrolle: 60,1-69,2 ppm Fe  2) Kontrolle + 20 ppm FeSO <sub>4</sub>  3) Kontrolle + 20 ppm FeProt	Sterblichkeit	FeSO <sub>4</sub> : - 36%  FeProt: - 40%

Seo u.a. (2008) konnten keinen signifikanten Unterschied der Verlustrate in Abhängigkeit von der Spurenelementquelle feststellen. Bao u.a. (2010) untersuchten über 35 Tage den Einfluss verschiedener Spurenelementquellen an 800 Broilern. Hierbei wurden Kupfer (4 ppm), Zink (30 ppm), Mangan (40 ppm) und Eisen (20 ppm) als Mischration entweder als Sulfate oder Proteinatate verfüttert. Während des Versuchs konnte kein Unterschied in der Sterblichkeitsrate zwischen den eingesetzten Spurenelementquellen festgestellt werden.

## 12 Diskussion

### Bioverfügbarkeit

Einer der wesentlichen Gründe, der für einen möglichen Einsatz organischer Spurenelementverbindungen spricht, ist die häufig zitierte bessere Bioverfügbarkeit. In vielen Fällen wird hierunter eine verbesserte enterale Absorption verstanden. In der Praxis liegen allerdings kaum Untersuchungen vor, in denen vergleichend tatsächlich quantitativ die Absorption und gegebenenfalls die Verwertung des absorbierten Spurenelement, zum Beispiel im Hinblick auf den Einbau in spezifische Metalloenzyme, ermittelt wurden. In der Regel wurde die relative Verfügbarkeit im Vergleich mit einer Referenzsubstanz ermittelt. Hierzu wurden Test- und Referenzverbindungen in einer oder mehreren Dosierungen der Ration zugelegt und nach einer gewissen Versuchsdauer die Retention in einem Indikatororgan und/oder die Reaktion eines biochemischen Parameters (Enzymaktivität) ermittelt (Wedekind u.a., 1992; Ammerman, 1995).

Ein gerade im Spurenelementbereich wesentliches Einflusskriterium auf die Bioverfügbarkeit ist der Homöostase beizumessen, die als komplexe Stellgröße darauf ausgerichtet ist, die Funktionalität und damit insbesondere die Aktivität von Enzymen mit einem Metall-Ion als aktives Zentrum bzw. als Kofaktor über einen gewissen Zeitraum zu gewährleisten und zwar unabhängig von der Höhe der Aufnahme über das Futter (Männer, 2013). Die spezifische Wechselwirkung der essentiellen Spurenelemente mit dem körpereigenen Proteom findet innerhalb enger Grenzen statt. So wird bei den meisten Spurenelementen die Effizienz der Absorption aus dem Darmlumen, beispielsweise in der Situation des alimentären Mangels, durch verstärkte Expression spezifischer Transportproteine auf das Maximum erhöht. Im Falle einer alimentären Versorgung über dem metabolischen Bedarf wird die Expression dieser Transportsysteme gezielt reduziert, was den Einstrom aus dem Darmlumen in die Enterozyten drosselt, die Weitergabe an die Blutzirkulation reduziert und somit eine Überladung des Organismus vermeidet (Gross u.a., 1989; Kirchgessner u.a., 1997; Weigand u.a., 1980). Damit ist die Bioverfügbarkeit eines Spurenelementes unabhängig von der Substratspezifität wesentlich durch die Höhe der Aufnahme und die Versorgungslage bestimmt. Zur Minimierung der homöostatischen Effekte auf die Bioverfügbarkeit sollten die Messungen innerhalb einer relativ kurzen Repletionsperiode nach vorangegangener Depletionsperiode vorgenommen werden. Allerdings ist sowohl die Länge der Depletions- als auch der Repletionsperiode unterschiedlichen Einflüssen unterworfen, die eine Standardisierung erschweren. Hinzu kommt, welches Untersuchungsmerkmal für die Bestimmung der Bioverfügbarkeit herangezogen wird. Soll das Kriterium „Ausschluss von Mangelkrankungen“ gewählt

werden, ist die Aufnahme der zu prüfenden Spurenelemente vergleichsweise niedrig anzusetzen. Werden jedoch gesundheitsrelevante Parameter für die Charakterisierung der Bioverfügbarkeit eingesetzt, wie beispielsweise Effekte auf die Immunitätslage (Lymphozytenproliferation etc.), dann muss das Spurenelement bedarfsüberschreitend eingebracht werden. Die Konsequenz wäre eine hohe Bioverfügbarkeit für den gewählten gesundheitsrelevanten Parameter, aber eine sehr geringe Bioverfügbarkeit für die Verdaulichkeit bzw. Resorption. Dementsprechend kann die Bioverfügbarkeit streng genommen nur für ein bestimmtes Kriterium herangezogen werden (Männer, 2013).

Basierend auf den oben genannten Annahmen, dass der Nutzen organischer Spurenelemente abhängig ist von der zugeführten Spurenelementkonzentration, wurden die in Kapitel 11 dargestellten Studien unter diesem Gesichtspunkt genauer untersucht. Hierfür wurden die weitgefassten Maximal-Konzentrationen der VO (EG) 1334/2003 herangezogen.

In Bezug auf die Resorptionseigenschaften der zu vergleichenden Spurenelemente (vgl. Tabelle 69) ist festzuhalten, dass eine Versorgung mit Spurenelementen im unteren Bereich der zulässigen Höchstgehalte bei Rindern in 65 % der auswertbaren Studien zu keinem messbaren Unterschied zwischen organischer oder anorganischer Spurenelementquelle führte, während in 35 % eine positive Auswirkung durch eine organische Elementform festgestellt wurde (höherer Elementgehalt im Gewebe und/oder in Organen im Vergleich zur anorganischen Zufütterung). Gegensätzliche Feststellungen treffen auf die Versorgung mit Spurenelementen im unteren Versorgungsbereich bei Schwein und Geflügel zu. 72 % der auswertbaren Studien bei Schweinen und 66 % bei Geflügel führten durch organische Spurenelemente zu höheren Konzentrationen in den Targetorganen bzw. -geweben.

Bei einer Fütterung über dem zulässigen Höchstgehalt konnte bei Rindern in 83 % und bei Geflügel in 78 % der auswertbaren Studien eine höhere Resorptionsrate durch organische Spurenelemente festgestellt werden, während in 75 % der Studien beim Geflügel eine Supplementierung mit organischen Verbindungen oberhalb der Höchstmengen zu einer niedrigeren Anreicherung führten als durch mineralische Elemente und in den restlichen 25 % kein signifikanter Unterschied zwischen den Spurenelementformen bestand.

**Tabelle 69: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener organischer Spurenelemente auf die Resorption, nach statistischer Signifikanz**

<b>Rinder</b>	<b>Zink</b>	<b>Kupfer</b>	<b>Selen</b>	<b>Mangan</b>	<b>Eisen</b>
Vorteil	10	<b>9</b>	<b>23</b>	1	0
Nachteil	1	0	0	0	0
keinen Einfluss	<b>22</b>	6	1	<b>5</b>	<b>1</b>
<b>Schweine</b>	<b>Zink</b>	<b>Kupfer</b>	<b>Selen</b>	<b>Mangan</b>	<b>Eisen</b>
Vorteil	2	1	<b>25</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
Nachteil	<b>17</b>	0	0	0	0
keinen Einfluss	15	<b>5</b>	6	1	0
<b>Geflügel</b>	<b>Zink</b>	<b>Kupfer</b>	<b>Selen</b>	<b>Mangan</b>	<b>Eisen</b>
Vorteil	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>19</b>	2	<b>4</b>
Nachteil	1	2	0	0	0
keinen Einfluss	5	3	1	<b>3</b>	1

Die Leistungsparameter der drei untersuchten Tierarten (vgl. Tabelle 70) konnten im unteren Versorgungsbereich in der Mehrzahl der auswertbaren Studien nicht durch die Spurenelementform beeinflusst werden. So zeigten 67 % der Studien bei Rindern, 68 % bei Schweinen und 64 % bei Geflügel keine unterschiedliche Auswirkung der verabreichten Spurenelementform auf die Leistungsmerkmale der Tierarten. Während die organischen Spurenelementquellen bei Rindern und Schweinen entweder zu einer Verbesserung der untersuchten Leistungsparameter führten oder kein signifikanter Unterschied zu den anorganischen Elementen bestand, so lag der Anteil der Studien beim Geflügel, in denen ein Vorteil durch organische Verbindungen bestand, bei 34 %, während in 2 % der Studien eine Verschlechterung der untersuchten Werte durch eine organische Spurenelementform festgestellt wurde.

Die Zuführung von Spurenelementen aus einer organischen oder anorganischen Verbindung oberhalb der europaweit zulässigen Höchstmengen zeigte in 56 % der ausgewerteten Studien bei Rindern und Schweinen und 30 % bei Geflügel keine nennenswerten Unterschiede. Ergänzend ist anzumerken, dass lediglich bei Schweinen, in 11 % der Studien, eine Verschlechterung der Leistungsparameter durch eine organische Spurenelementform beobachtet wurde.

**Tabelle 70: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener organischer Spurenelemente auf die Leistungsparameter, nach statistischer Signifikanz**

<b>Rinder</b>	<b>Zink</b>	<b>Kupfer</b>	<b>Selen</b>	<b>Mangan</b>	<b>Eisen</b>
Vorteil	21	2	1	4	0
Nachteil	0	0	0	0	0
keinen Einfluss	<b>22</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	3	<b>1</b>
<b>Schweine</b>	<b>Zink</b>	<b>Kupfer</b>	<b>Selen</b>	<b>Mangan</b>	<b>Eisen</b>
Vorteil	10	3	1	0	2
Nachteil	3	0	0	0	0
keinen Einfluss	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>8</b>
<b>Geflügel</b>	<b>Zink</b>	<b>Kupfer</b>	<b>Selen</b>	<b>Mangan</b>	<b>Eisen</b>
Vorteil	<b>12</b>	<b>12</b>	1	2	1
Nachteil	1	0	0	0	2
keinen Einfluss	4	5	<b>18</b>	<b>4</b>	2

Immunitätsparameter, die bei Studien im unteren Versorgungsbereich gemessen wurden, führten bei Rindern in 77 % und beim Geflügel in 60 % der Fälle zu einer Verbesserung durch eine organische Spurenelementsupplementation. Demgegenüber führten Studien bei Schweinen nur bei 27 % der ausgewerteten Studienergebnissen zu einem Vorteil durch organische Spurenelemente und bei 7 % gar zu einer Verschlechterung.

Oberhalb der Versorgungsgrenzen führten 67 % der relevanten Studien bei Rindern durch eine organische Spurenelementquelle zu einer Verbesserung der Immunitätsparametern. Während dieser Vorteil organischer Verbindungen bei Schweinen nur noch in 50 % der Fälle zutraf, konnten 100 % der auswertbaren Studien bei Geflügel keinen signifikanten Effekt der Spurenelementverbindungsform feststellen (vgl. Tabelle 71).

**Tabelle 71: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener organischer Spurenelemente auf die Immunität, nach statistischer Signifikanz**

<b>Rinder</b>	<b>Zink</b>	<b>Kupfer</b>	<b>Selen</b>	<b>Mangan</b>	<b>Eisen</b>
Vorteil	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
Nachteil	0	0	0	0	0
keinen Einfluss	3	4	3	0	1
<b>Schweine</b>	<b>Zink</b>	<b>Kupfer</b>	<b>Selen</b>	<b>Mangan</b>	<b>Eisen</b>
Vorteil	1	0	6	0	2
Nachteil	2	0	0	0	0
keinen Einfluss	<b>5</b>	0	<b>8</b>	0	<b>4</b>
<b>Geflügel</b>	<b>Zink</b>	<b>Kupfer</b>	<b>Selen</b>	<b>Mangan</b>	<b>Eisen</b>
Vorteil	<b>11</b>	0	6	0	1
Nachteil	0	0	0	0	0
keinen Einfluss	2	<b>4</b>	6	<b>3</b>	1

Die untersuchten Sondereffekte, wie Reproduktionsdaten und Ausscheidungsverhalten (vgl. Tabelle 72), führten im unteren Versorgungsbereich bei Rindern 29 % der Studien zu einer

Verbesserung durch eine organische Spurenelementform. 75 % der aussagekräftigen Studien bei Schweinen konnten hierbei einen Vorteil organischer Verbindungen aufzeigen, während in 25 % der Studien kein messbarer Unterschied vorlag. Beim Geflügel wurde festgestellt, dass 83 % der Studien einen Vorteil durch eine Supplementation mit organischen Spurenelementen sahen, während 17 % eine Verschlechterung durch selbige feststellten.

Für Zulagenbereiche oberhalb der zulässigen Höchstmengen für Spurenelemente konnten keine auswertbaren Studien bei Rindern gesichtet werden. Bei Schweinen lag der Anteil der Studien, die durch organische Verbindungen eine Verbesserung der gemessenen Parameter bestätigten, bei 82 %, während 18 % keinen Unterschied zwischen mineralischen und organischen Spurenelementen feststellten. In allen der auswertbaren Studien zum Geflügel konnte durch die organische Quelle eine Verbesserung im Vergleich zur anorganischen Form festgestellt werden.

**Tabelle 72: Untersuchung zu Auswirkungen verschiedener organischer Spurenelemente auf Sonderleistungen, nach statistischer Signifikanz**

<b>Rinder</b>	<b>Zink</b>	<b>Kupfer</b>	<b>Selen</b>	<b>Mangan</b>	<b>Eisen</b>
Vorteil	0	0	0	0	0
Nachteil	2	0	0	0	0
keinen Einfluss	4	0	0	1	0
<b>Schweine</b>	<b>Zink</b>	<b>Kupfer</b>	<b>Selen</b>	<b>Mangan</b>	<b>Eisen</b>
Vorteil	11	8	0	1	1
Nachteil	2	0	0	0	0
keinen Einfluss	4	0	0	0	1
<b>Geflügel</b>	<b>Zink</b>	<b>Kupfer</b>	<b>Selen</b>	<b>Mangan</b>	<b>Eisen</b>
Vorteil	2	4	0	1	0
Nachteil	1	0	0	0	0
keinen Einfluss	0	0	0	0	0

## Resorption

Für die Absorption der Spurenelemente Cu, Fe, Mn und Zn werden häufig Werte  $< 10\%$  angegeben die mit zunehmendem Alter der Tiere noch weiter abnehmen können (Flachowsky, 1997). Es wird angenommen, dass Spurenelemente (Metalle) in Verbindung mit organischen Chelatverbindungen, wie Aminosäuren, eine verbesserte Bioverfügbarkeit gegenüber anorganischen Salzen aufweisen, die zumeist auf ihre relativ feste Bindung an einen organischen Liganden zurückzuführen sind. Ein Teil der zugeführten anorganischen Metallsalze reagiert nämlich mit Nahrungsbestandteilen und bildet schwer lösliche Verbindungen etwa mit Phytinsäure, die ausgefällt und so der Resorption entzogen werden (Lønnerdal u. a., 1988). Mehrere Studien konnten nachweisen, dass eine Chelatbildung mit Aminosäuren bei Nutztieren die Bioverfügbarkeit des Spurenelements verbessert. Dabei spielen die jeweiligen Dissoziationskonstanten der verschiedenen Aminosäurekomplexe eine wichtige Rolle, denn das Geschehen unterliegt dem Massenwirkungsgesetz: die Bioverfügbarkeit nimmt mit wachsender Stabilität der Komplexe, also geringerer Dissoziationsneigung, zu. Das ist verständlich, denn geringe Dissoziationskonstanten, also starke Komplexe, bedeuten wenig freie Metallionen, die etwa mit Phytaten oder Phosphaten unlösliche Niederschläge bilden könnten und so der Resorption entzogen werden. Aminosäuren fungieren in diesen Chelatkomplexen als Lewis-Basen, deren Stärke die thermodynamische Stabilität des Chelats bestimmt. Zudem ist das gebildete Chelat mesomeriestabilisiert und die Chelatbildung führt zu einem Entropiegewinn (nach der Chelatbildung sind mehr freie Teilchen vorhanden als vorher). Besonders stabile koordinative Bindungen bilden Liganden, deren freies Elektronenpaar an einem Atom mit vergleichsweise niedriger Elektronegativität sitzt. Für den Resorptionsprozess der als Chelate vorliegenden Übergangsmetalle ist von Vorteil, dass sie auch im basischen Milieu stabil sind, in Lösung gehalten werden können und eine starke Annäherung an die intestinale Mukosa möglich ist.

Der Resorptionsprozess für chelatgebundene Metallionen mit Aminosäuren und kurzkettigen Peptiden ist nicht bekannt. Vorstellungen, dass diese Chelate als intakte Komplexe resorbiert werden, sind nicht belegt. Es ist aber anzunehmen, dass insbesondere ungeladene Chelate mit lipophilen Aminosäuren, mit kleinen Dissoziationskonstanten passiv durch Diffusion in die Blutbahn gelangen (Ashmead, 2001) und sich in der Zellmembran auch anreichern. Thermodynamische Überlegungen legen jedoch nahe, dass nicht das intakte Chelat resorbiert wird, sondern eine durch das Massenwirkungsgesetz getriebene Dissoziation des Komplexes stattfindet.



Hinsichtlich der Komplexverbindungen von Eisen, Kupfer, Zink und Mangan mit Aminosäuren/kurzkettigen Peptiden kann man folgende Schlussfolgerung ziehen: Die Bildung von Chelatkomplexen verbessert in der Regel die Resorption dieser Spurenelemente, vor allem, weil Parallelreaktionen mit Bestandteilen des Nahrungsbreis weitgehend unterdrückt werden. Die Resorption dürfte im Wesentlichen den Wegen folgen, die für anorganische Metallionen gelten. Dafür sprechen schon thermodynamische Überlegungen. Besonders stabile Komplexe mit sehr niedriger Dissoziationskonstante gelangen jedoch durch passive Diffusion in die Blutbahn (Ashmead, 2001).

Anhand der vorliegenden Übersicht der untersuchten Literatur in Kapitel 11 ist hierzu ergänzend festzustellen, dass Effekte, die sich mit sehr hohen Gaben an anorganischen Verbindungen erreichen ließen, unter Umständen mit einer wesentlich geringeren Dosierung des Elements in organischer Bindung erzielbar wären.

Beispielsweise konnte nach Daten von Case & Carlson (2002) bei Mastschweinen nach Gabe von 500 ppm Zink-Polysaccharid vergleichbare Wachstumssteigerungen erzielt werden wie nach dem Einsatz von 3000 ppm Zinkoxid. Veum u.a. (2004) konnten bei einer Schweinefütterung mit 100 ppm Kupferproteinat eine höhere Cu-Absorption und Retention feststellen als mit 250 ppm Kupfersulfat. Auch Wei u.a. (2005) stellten fest, dass Ferkel von Sauen, die mit 80 ppm Eisen-Aminosäure-Komplex während der Trächtigkeit zugefüttert wurden, höhere Eisenkonzentrationen im Gewebe hatten, als Ferkel von Sauen, die mit 120 ppm Eisensulfat gefüttert wurden. Muehlenbein u.a. (2001) untersuchten die Auswirkungen von organischem Kupfer bei trächtigen Kühen vor und nach der Kalbung. 200 ppm Kupfersulfat wurden mit 100 ppm Kupfer-Aminosäure-Komplex verglichen. Weder das Körpergewicht der adulten Kühe, noch der Kupfergehalt im Kolostrum wurde hierbei von der Kupferquelle beeinflusst. Demgegenüber beobachteten Muehlenbein u.a. eine stärkere Konzentration von Kupfer in der Leber bei mit organischem Kupfer zugefütterten Kühen. Engle u.a. (2000) konnten zeigen, dass 20 ppm Kupferproteinat den gleichen Effekt erzielte wie 40 ppm Kupfersulfat und somit eine höhere Bioverfügbarkeit aufwies. Kumar u.a. (2006) verglichen bei Bullen 35 ppm Zinkpropionat mit 35 bzw. 70 ppm Zinksulfat. Der Einsatz von Zinkpropionat konnte bei Bullen, im Vergleich zu 35 oder 70 ppm Sulfatfütterung, eine höhere Zahl an Spermien pro Ejakulat und eine höhere Spermienmobilität feststellen.

### 13 Schlussfolgerung

Für organische Spurenelemente sind eine Reihe positiver Effekte beschrieben, die zumeist auf ihre geringen Wechselwirkungen mit chymalen Substraten zurückzuführen sind. In Verbindung damit steht häufig der Hinweis auf eine verbesserte biologische Verfügbarkeit. Die positiven Effekte äußern sich zum Teil in einer erhöhten Retention in verschiedenen Organen oder einem effektiveren Übergang in Nachkommen, Eier oder Milch. Hierdurch kann es zusätzlich zu einer verbesserten Versorgung der Jungtiere kommen.

Ein anderer Gesichtspunkt ist eine effektivere intermediäre Verwertung, die sich beispielsweise in einer verbesserten Aktivität von verschiedenen Metalloenzymen äußert und positive Einflüsse auf Immunabwehr, Reproduktion etc. hat.

Wenn die Spurenelementversorgung im unteren Versorgungsbereich durchgeführt wurde, waren die Spurenelemente aus den Organverbindungen meist besser verfügbar als aus mineralischen Quellen. Diese Feststellung trifft auch für die Spurenelementeinlagerung in die für die Indikation geeigneten Organe oder Gewebe zu.

Durch die verbesserte Bioverfügbarkeit eröffnet sich auch die Möglichkeit, in verschiedenen Fällen die Höhe der Spurenelementsupplementation zu reduzieren und damit den Austrag von Spurenelementen über wirtschaftseigene Dünger merklich zu verringern.

Obwohl die zumeist kostengünstigste Möglichkeit der Spurenelementversorgung den Einsatz einer hochverfügbaren anorganischen Nährstoffquelle darstellt, ist die Bioverfügbarkeit organischer Spurenelemente oft höher, weshalb diese in den letzten Jahren zunehmend eingesetzt werden. Es ist jedoch nicht vollends wissenschaftlich abgeklärt, ob diese Erhöhung der Bioverfügbarkeit auch mit einer verbesserten Effizienz einhergeht. Abhängig von Spezies und Studiendesign konnten vergangene Studien gleiche, verminderte oder erhöhte Effizienz organischer gegenüber mineralischer Spurenelemente zeigen, wobei die Mehrzahl der untersuchten organischen Spurenelemente eine gleiche Effizienz aufwies.

## 14 Zusammenfassung

### Organische Spurenelemente – Eine Literaturübersicht

Das Ziel der vorliegenden Literaturarbeit war es den aktuellen Wissensstand zum Einsatz organischer Spurenelemente in der Nutztierernährung zusammenzufassen und daraufhin zu überprüfen, inwiefern sich organische Spurenelemente in Punkto Bioverfügbarkeit und Leistungsparametern, wie Körpergewichtentwicklung, Retention in Geweben und Organen, Immunität, Fortpflanzung sowie Exkretion unter Berücksichtigung der Zulagenbereiche von konventionellen mineralischen Spurenelementverbindungen unterscheiden. Hierfür wurden zum einen Spurenelemente auf ihre Funktionsmechanismen, Wirkungsspektren und gesellschaftliche Bedeutung hin untersucht und zum anderen aktuelle Studienergebnisse unter Berücksichtigung der o. g. Bezugswerte auf ihre Effektivität hin verglichen.

Zu einer übersichtlichen Darstellung des Komplexes Spurenelemente wurden neben einer kurzen Skizzierung der untersuchten Elemente Kupfer, Selen, Eisen, Zink und Mangan, der Einsatz dieser im rechtlichen Rahmen sowie nationaler und internationaler Versorgungsempfehlungen dargestellt. Des Weiteren wurden neben einer geschichtlichen Einordnung, organische Spurenelemente vor allem in Bezug auf ihre Herstellung, chemische Struktur, Bioverfügbarkeit und Resorptionsverhalten in einen aktuellen Kontext gesetzt. Unter Bezugnahme der tierartlichen Unterschiede wurde schließlich in Kapitel 11 der Einsatz organischer Spurenelemente in der aktuellen Literatur gesammelt und nach Tierart zusammengefasst. Dabei interessierten neben der Leistung insbesondere Gehalte der o. g. fünf Spurenelemente in den Exkrementen, im Blut sowie die Konzentration dieser Elemente in Organen und Geweben. Für die vorliegende Arbeit wurden insgesamt 564 Studien zu organischen Spurenelementen bei Nutztieren ausgewertet. Unter Berücksichtigung der Aktualität (nicht älter als 30 Jahre), der Zielspezies (Schwein, Geflügel, Rind), der Vergleichbarkeit der Studien (organische und anorganische Untersuchungsgruppe) der Spurenelemente (Zn, Mn, Cu, Fe, Se) und der Untersuchungsparameter (Versorgungsbereich, Bioverfügbarkeit, Immunität, Fortpflanzung, Umwelt) blieben insgesamt 173 Studien übrig, die in Kapitel 11 zusammengefasst wurden.

Die Literaturrecherche erfolgte auf Basis der Cochrane-Richtlinien und die benötigte Literatur konnte vorwiegend über Fachdatenbanken online bezogen und als PDF-Datei heruntergeladen werden. Diese Literaturquellen wurden in das Literaturverwaltungsprogramm Mendeley eingespielt, das automatisch Autor, Jahr etc. aus den Dateien ausliest und mittels eines MS Word Plug-Ins Textverweise erstellen kann. Des Weiteren ist eine Suche nach Schlagwörtern innerhalb der wie zuvor beschrieben ausgewählten Literatur möglich, wodurch Querverbindungen besser hergestellt und von mehreren Forschungsgruppen dokumentierte Ergebnisse aufgezeigt werden können.

Folgende Aussagen konnten durch die vorliegende Arbeit getroffen werden:

- Für organische Spurenelemente sind eine Reihe positiver Effekte beschrieben, die zumeist auf ihre chemische Struktur zurückzuführen sind. In Verbindung damit steht häufig der Hinweis auf eine verbesserte biologische Verfügbarkeit. Die positiven Effekte äußern sich zum Teil in einer erhöhten Retention in verschiedenen Organen oder einem effektiveren Übergang in Nachkommen, Eiern oder Milch. Hierdurch kann es zusätzlich zu einer verbesserten Versorgung der Jungtiere kommen.
- Ein anderer Gesichtspunkt ist eine effektivere intermediäre Verwertung, die sich beispielsweise in einer verbesserten Aktivität von verschiedenen Metalloenzymen äußert und positive Einflüsse auf Immunabwehr, Reproduktion etc. hat.
- Wenn die Spurenelementversorgung im unteren Versorgungsbereich durchgeführt wurde, waren die Spurenelemente aus den Organverbindungen meist besser verfügbar als aus mineralischen Quellen. Die Studienergebnisse lassen erkennen, dass der Einsatz von organischen Spurenelementverbindungen in Situationen mit suboptimaler Versorgung positive Effekte auf die Leistungsparameter haben können. Diese Feststellung trifft auch für die Spurenelementeinlagerung in die für die Indikation geeigneten Organe oder Gewebe zu.
- Durch den Einsatz geringerer Dosen organischer Spurenelemente eröffnet sich auch die Möglichkeit, in verschiedenen Fällen die Höhe der Spurenelementsupplementation zu reduzieren und damit den Austrag von Spurenelementen über wirtschaftseigene Dünger merklich zu verringern.
- Obwohl die zumeist kostengünstigste Möglichkeit der Spurenelementversorgung den Einsatz einer hochverfügbaren anorganischen Nährstoffquelle darstellt, ist die

Bioverfügbarkeit organischer Spurenelemente oft höher, weshalb diese in den letzten Jahren zunehmend eingesetzt werden. Es ist jedoch nicht vollends wissenschaftlich abgeklärt, ob diese Erhöhung der Bioverfügbarkeit auch mit einer verbesserten Effizienz einhergeht. Abhängig von Spezies und Studiendesign konnten vergangene Studien gleiche, verminderte oder erhöhte Effizienz organischer gegenüber mineralischen Spurenelementen zeigen, wobei die Mehrzahl der untersuchten organischen Spurenelemente eine ebenbürtige Effizienz aufwiesen.

## 15 Summary

### Organic trace elements – a review

The objective of the present review was to summarize the current state of knowledge on the use of organic trace elements in the livestock feed and to examine in what way organic trace elements based on terms of bioavailability and performance parameters, such as body weight development, retention in tissues and organs, immunity, reproduction and excretion considering the allowance ranges are distinct from conventional mineral trace element compounds. On the one hand, trace elements were examined for their function mechanisms, effect spectra and social significance, and on the other hand, current study results were compared with their effectiveness in consideration of the above reference values.

In addition to a brief sketching of the investigated elements copper, selenium, iron, zinc and manganese, the use of these elements in the legal framework as well as national and international supply recommendations were presented as a clear overview of the complex trace elements. Furthermore, in addition to a historical classification, organic trace elements were put into a current context, especially with regard to their production, chemical structure, bioavailability and resorption behavior. In chapter 11 the use of organic trace elements was collected in the current literature and summarized by species. In addition to the performance, the contents of the above five trace elements in excrement, blood and the concentration of these elements in organs and tissues were of particular interest. For the present work a total of 564 studies on organic trace elements in farm animals were evaluated. Taking into account the timeliness (not older than 30 years), the target species (pigs, poultry, cattle), the comparability of the studies (organic and inorganic study group), the trace elements (Zn, Mn, Cu, Fe, Se) and the examination parameters (supply area, bioavailability, immunity, reproduction, environment) remained a total of 173 studies, summarized in Chapter 11.

The literature research was carried out on the basis of the Cochrane guidelines and the required literature mostly could be downloaded online as a PDF file. These sources of literature have been incorporated into the literature management program Mendeley, which automatically reads author, year etc. from the files and can create text references by means of a MS Word plug-in. Furthermore, a search for catchwords within the literature selected as described above is possible, whereby cross-connections can be produced better and documented results by several research groups can be demonstrated.

---

The following conclusions were made:

- For organic trace elements, a number of positive effects are described which are mostly due to their chemical structure. In connection with this, there is often the indication of improved biological availability. The positive effects are partly due to increased retention in different organs or a more effective transition to offspring, eggs or milk. This can lead to an improved supply of the young animals.
- Another point of view is a more effective intermediate utilization, which manifests itself, for example, in an improved activity of different metalloenzymes and has positive influences on immune defense, reproduction, etc.
- When the trace element supply was carried out in the lower supply area, the trace elements from the organo compounds were usually more readily available than from mineral sources. The study results show that the use of organic trace element compounds in situations with suboptimal supply can have positive effects on performance parameters. This finding also applies to the incorporation of trace elements into the organs or tissues suitable for the indication.
- Through the use of smaller doses of organic trace elements, it is also possible to reduce the amount of trace element supplementation in various cases and thus to considerably reduce the discharge of trace elements via economic fertilizers.
- Although usually the most cost-effective way to provide trace elements is the use of a highly available inorganic source of nutrients, the bioavailability of organic trace elements is often higher, which is why they are increasingly used in recent years. However, it is not completely scientifically determined whether this increase in bioavailability is accompanied by improved efficiency. Depending on species and study design, past studies could show the same, diminished or increased efficiency of organic versus mineral trace elements, with the majority of the investigated organic trace elements having equal efficiency.

## Literaturverzeichnis

- Abd El-Wahab, A., Radko, D., & Kamphues, J. (2013). High dietary levels of biotin and zinc to improve health of foot pads in broilers exposed experimentally to litter with critical moisture content. *Journal of Poultry Science*, 92(7), 1774-1782.
- Abdallah, A. G., El-Husseiny, O. M., & Abdel-Latif, K. O. (2009). Influence of some dietary organic mineral supplementations on broiler performance. *International Journal of Poultry Science*, 8(3), 291-298.
- Abelson, P. H., & Aldous, E. (1950). Ion antagonisms in microorganisms: interference of normal magnesium metabolism by nickel, cobalt, cadmium, zinc, and manganese. *Journal of Bacteriology*, 60(4), 401.
- Acda, S. P., & Chae, B. J. (2002). Effects of organic trace mineral supplementation on sows' reproductive and neonates' growth performance through 2 wk postweaning. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 15(9), 1312-1318
- Aguilar, A. A., & Jordan, D. C. (1990). Effects of zinc methionine supplementation in high producing Holstein cows early in lactation. *129th Annual Meeting National Mastitis Council*, 187.
- Ahola, J. K., Baker, D. S., Burns, P. D., Mortimer, R. G., Enns, R. M., Whittier, J. C. & Engle, T. E. (2004). Effect of copper, zinc, and manganese supplementation and source on reproduction, mineral status, and performance in grazing beef cattle over a two-year period. *Journal of Animal Science*, 82(8), 2375-2383.
- Aitchison, L. (1960). *A history of metals* (Vol. 2). Interscience Publishers.
- Ammerman, C. B., Baker, D. P., & Lewis, A. J. (Eds.). (1995). *Bioavailability of nutrients for animals: Amino acids, minerals, vitamins*.
- Ammerman, C. B., Henry, P. R., & Miles, R. D. (1998). Supplemental organically-bound mineral compounds in livestock nutrition.
- Andrieu, S. (2008). Is there a role for organic trace element supplements in transition cow health?. *The Veterinary Journal*, 176(1), 77-83.
- Ao, T., Pierce, J. L., Pescatore, A. J., Cantor, A. H., Dawson, K. A., Ford, M. J., & Paul, M. (2011). Effects of feeding different concentration and forms of zinc on the performance and tissue mineral status of broiler chicks. *British Poultry Science*, 52(4), 466-471.
- Aoyagi, S., & Baker, D. H. (1993). Nutritional evaluation of copper-lysine and zinc-lysine complexes for chicks. *Journal of Poultry Science*, 72(1), 165-171.
- Apple, J. K., Roberts, W. J., Maxwell Jr, C. V., Rakes, L. K., Friesen, K. G., & Fakler, T. M. (2007). Influence of dietary inclusion level of manganese on pork quality during retail display. *Meat Science*, 75(4), 640-647.
- Apgar, G. A., & Kornegay, E. T. (1996). Mineral balance of finishing pigs fed copper sulfate or a copper-lysine complex at growth-stimulating levels. *Journal of Animal Science*, 74(7), 1594-1600.



- Apgar, G. A., Kornegay, E. T., Lindemann, M. D., & Notter, D. R. (1995). Evaluation of copper sulfate and a copper lysine complex as growth promoters for weanling swine. *Journal of Animal Science*, 73(9), 2640-2646.
- Arantes, V. M., Thomaz, M. C., Kronka, R. N., Malheiros, E. B., de Barros, V. M., Pinto, E. S. & dos Santos Ruiz, U. (2007). Níveis de zinco na dieta de leitões recém-desmamados sobre o perfil de parâmetros sanguíneos. *Ciência Animal Brasileira*, 8(2), 193-206.
- Ardüser, F., Wolfram, S., & Scharrer, E. (1985). Active absorption of selenate by rat ileum. *The Journal of Nutrition*, 115(9), 1203-1208.
- Ardüser, F., Wolfram, S., Scharrer, E., & Schneider, B. (1986). Transport of selenate and selenite across the brush border membrane of rat and sheep small intestine. *Biological Trace Element Research*, 9(4), 281-290.
- Armstrong, T. A., Cook, D. R., Ward, M. M., Williams, C. M., & Spears, J. W. (2004). Effect of dietary copper source (cupric citrate and cupric sulfate) and concentration on growth performance and fecal copper excretion in weanling pigs. *Journal of Animal Science*, 82(4), 1234-1240.
- Arpášová, H., Petrovič, V., Mellen, M., Kačániová, M., Čobanová, K., & Leng, L. (2009). The effects of supplementing sodium selenite and selenized yeast to the diet for laying hens on the quality and mineral content of eggs. *Journal of Animal Feed Science*, 18, 90-100.
- Arrayet, J. L., Oberbauer, A. M., Famula, T. R., Garnett, I., Oltjen, J. W., Imhoof, J. & Graham, T. W. (2002). Growth of Holstein calves from birth to 90 days: the influence of dietary zinc and BLAD status. *Journal of Animal Science*, 80(3), 545-552.
- Ashmead, H. D., & Samford, R. A. (2004). Effects of metal amino acid chelates or inorganic minerals on three successive lactations in dairy cows. *International Journal of Applied Research in Veterinary Medicine*, 3, 181-188.
- Attia, Y. A., Qota, E. M., Zeweil, H. S., Bovera, F., Abd Al-Hamid, A. E., & Sahledom, M. D. (2012). Effect of different dietary concentrations of inorganic and organic copper on growth performance and lipid metabolism of White Pekin male ducks. *British Poultry Science*, 53(1), 77-88.
- Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) (1999): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere Nr. 7: Legehennen und Masthühner.
- Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) (2001): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere Nr. 8: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe u. Aufzuchttrinder.
- Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) (2006): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen.
- Awadeh, F. T., Kincaid, R. L., & Johnson, K. A. (1998a). Effect of level and source of dietary selenium on concentrations of thyroid hormones and immunoglobulins in beef cows and calves. *Journal of Animal Science*, 76(4), 1204-1215.

- Awadeh, F. T., Abdelrahman, M. M., Kincaid, R. L., & Finley, J. W. (1998b). Effect of selenium supplements on the distribution of selenium among serum proteins in cattle. *Journal of Dairy Science*, 81(4), 1089-1094.
- Bafundo, K. W., Baker, D. H., & Fitzgerald, P. R. (1984). Lead toxicity in the chick as affected by excess copper and zinc and by *Eimeria acervulina* infection. *Journal of Poultry Science*, 63(8), 1594-1603.
- Bailey, J. D., Ansotegui, R. P., Paterson, J. A., Swenson, C. K., & Johnson, A. B. (2001). Effects of supplementing combinations of inorganic and complexed copper on performance and liver mineral status of beef heifers consuming antagonists. *Journal of Animal Science*, 79(11), 2926-2934.
- Balfagón-Romeo, A. (2006). Nutritional Approach to Mineral Over-supplementation in Grow-finish Pigs: Organic Trace Minerals and Phosphorus Body Accretion.
- Ballantine, H. T., Socha, M. T., Acan, D., Tomlinson, D. J., Johnson, A. B., Fielding, A. S. & Van Amstel, S. R. (2002). Effects of feeding complexed zinc, manganese, copper, and cobalt to late gestation and lactating dairy cows on claw integrity, reproduction, and lactation performance. *The Professional Animal Scientist*, 18(3), 211-218.
- Bao, Y. M., Choct, M., Iji, P. A., & Bruerton, K. (2005). Effect of organically – complexed Cu , Fe , Mn and Zn on broiler performance and excretion of minerals. *Poultry Science Association*, 15, 2005.
- Bao, Y. M., Choct, M., Iji, P. A., & Bruerton, K. (2009). The digestibility of organic trace minerals along the small intestine in broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 23(1), 90-97.
- Baowei, W., Guoqing, H., Qiaoli, W., & Bin, Y. (2011). Effects of yeast selenium supplementation on the growth performance, meat quality, immunity, and antioxidant capacity of goose. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 95(4), 440-448.
- Bauerly, K. A., Kelleher, S. L., & Lonnerdal, B. (2005). Effects of copper supplementation on copper absorption, tissue distribution, and copper transporter expression in an infant rat model. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*, 288(5), 1007-1014.
- Beck, D. (1884). Ludwig: Die Geschichte des Eisens in technischer und kulturgeschichtlicher Beziehung. I.
- Bednorz, C., Oelgeschläger, K., Kinnemann, B., Hartmann, S., Neumann, K., Pieper, R. & Wieler, L. H. (2013). The broader context of antibiotic resistance: zinc feed supplementation of piglets increases the proportion of multi-resistant *Escherichia coli* in vivo. *International Journal of Medical Microbiology*, 303(6-7), 396-403.
- Berger, L. L., & Cunha, T. J. (1993). *Salt and trace minerals for livestock, poultry and other animals*, 17-23.
- Bernard, C. (1857). Sur le mécanisme physiologique de la formation du sucre dans le foie. Mallet-Bachelier.
- Berta, E., Andrásófszky, E., Bersenyi, A., Glavits, R., Gaspardy, A., & Fekete, S. G. (2004). Effect of inorganic and organic manganese supplementation on the performance and tissue manganese content of broiler chicks. *Acta Veterinaria Hungarica*, 52(2), 199-209.

- Bhanderi B.,M., Pande A.,M. and Parnerkar S. (2010). Influence of organic and inorganic forms of trace minerals supplementation at different doses on daily weight gain and serum mineral levels in male calves. *Livestock Research for Rural Development*, 22
- Bolan, N., Adriano, D., & Mahimairaja, S. (2004). Distribution and bioavailability of trace elements in livestock and poultry manure by-products. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 34(3), 291-338.
- Bosseboeuf, Y., Bourdonnais, A., Ashmead, H. D., & Ashmead, S. D. (2006). The Effect of copper, zinc, and manganese amino acid chelates on dairy cow reproduction on eight farms: a field trial. *International Journal of Applied Research in Veterinary Medicine*, 4(4), 313.
- Bourne, N., Wathes, D. C., Lawrence, K. E., McGowan, M., & Laven, R. A. (2008). The effect of parenteral supplementation of vitamin E with selenium on the health and productivity of dairy cattle in the UK. *The Veterinary Journal*, 177(3), 381-387.
- Boyne, R., & Arthur, J. R. (1986). Effects of molybdenum or iron induced copper deficiency on the viability and function of neutrophils from cattle. *Research in Veterinary Science*, 41(3), 417-419.
- Bratz, K., Golz, G., Riedel, C., Janczyk, P., Nockler, K. & Alter, T. (2013). Inhibitory effect of high-dosage zinc oxide dietary supplementation on *Campylobacter coli* excretion in weaned piglets. *Journal of Applied Microbiology*, 115(5), 1194-1202.
- Braude, R., Mitchell, K.G., Newport, M.J. & Pittman, R.J. (1970). Response to different levels of supplementation with copper sulphate of diets for growing pigs. *The Proceedings of the Nutrition Society*, 29(1), 10.
- Briens, M., Mercier, Y., Rouffineau, F., Vacchina, V., & Geraert, P. A. (2013). Comparative study of a new organic selenium source v. seleno-yeast and mineral selenium sources on muscle selenium enrichment and selenium digestibility in broiler chickens. *British Journal of Nutrition*, 110(04), 617-624.
- Brugger, D., & Windisch, W. M. (2015). Environmental responsibilities of livestock feeding using trace mineral supplements. *Animal Nutrition*, 1(3), 113-118.
- Buchan, R. F. (1947). Industrial Selenosis. A Review of the Literature, Report of Five Cages and a General Bibliography. *Occupational Medicine*, 3(5), 439-56.
- Buff, C. E., Bollinger, D. W., Eilersieck, M. R., Brommelsiek, W. A., & Veum, T. L. (2005). Comparison of growth performance and zinc absorption, retention, and excretion in weanling pigs fed diets supplemented with zinc-polysaccharide or zinc oxide. *Journal of Animal Science*, 83(10), 2380-2386.
- Bun, S.D., Guo, Y.M., Guo, F.C., Ji, F.J. & Cao, H. (2011). Influence of organic zinc supplementation on the antioxidant status and immune responses of broilers challenged with *Eimeria tenella*. *Journal of Poultry Science*, 90(6), 1220-1226.
- Bundesinstitut für Risikobewertung. (2013). Beispiel Spurenelemente Die Rolle der Bioverfügbarkeit im Rahmen der Risikobewertung am Beispiel Spurenelemente. *Tagungsband*.

- Campbell, M. H., & Miller, J. K. (1998). Effect of supplemental dietary vitamin E and zinc on reproductive performance of dairy cows and heifers fed excess iron. *Journal of Dairy Science*, 81(10), 2693-2699.
- Cantor, A., Pescatore E, A., Straw, M. L., Ford, M. J., & Dunlap, M. K. (1997). Tissue selenium concentrations of broilers fed diets supplemented with selenized yeast and sodium selenite. *Journal of Poultry Science*, 76(1).
- Cantor, A. H., Straw, M. L., Ford, M. J., Pescatore, A. J., & Dunlap, M. K. (2000). Effect of feeding organic selenium in diets of laying hens on egg selenium content. *Egg Nutrition and Biotechnology*. 473.
- Cao, M., Che, L., Wang, J., Yang, M., Su, G., Fang, Z. & Wu, D. (2014). Effects of maternal over-and undernutrition on intestinal morphology, enzyme activity, and gene expression of nutrient transporters in newborn and weaned pigs. *Nutrition*, 30(11), 1442-1447.
- Cao, J., Henry, P., Davis, S., Cousins, R., Miles, R., Littell, R., & Ammerman, C. (2002). Relative bioavailability of organic zinc sources based on tissue zinc and metallothionein in chicks fed conventional dietary zinc concentrations. *Animal Feed Science and Technology*, 101(1-4), 161–170.
- Carlson, M. S., Boren, C. A., Wu, C., Huntington, C. E., Bollinger, D. W., & Veum, T. L. (2004). Evaluation of various inclusion rates of organic zinc either as polysaccharide or proteinate complex on the growth performance, plasma, and excretion of nursery pigs. *Journal of Animal Science*, 82(5), 1359-1366.
- Case, C. L., & Carlson, M. S. (2002). Effect of feeding organic and inorganic sources of additional zinc on growth performance and zinc balance in nursery pigs. *Journal of Animal Science*, 80(7), 1917–1924.
- Castellan, D. M., Maas, J. P., Gardner, I. A., Oltjen, J. W., & Sween, M. L. (1999). Growth of suckling beef calves in response to parenteral administration of selenium and the effect of dietary protein provided to their dams. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 214(6), 816-821.
- Ceballos-Marquez, A., Barkema, H. W., Stryhn, H., Wichtel, J. J., Neumann, J., Mella, A. & Wittwer, F. (2010). The effect of selenium supplementation before calving on early-lactation udder health in pastured dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 93(10), 4602-4612.
- Celsus, A. C., Scheller, E., & Frieboes, W. (1967). *Über die Arzneiwissenschaft: In 8 Büchern*. G. Olms.
- Chai, W., Zakrzewski, S. S., Günzel, D., Pieper, R., Wang, Z., Twardziok, S. & Burwinkel, M. (2014). High-dose dietary zinc oxide mitigates infection with transmissible gastroenteritis virus in piglets. *BMC Veterinary Research*, 10(1), 75.
- Chase, C. R., Beede, D. K., Van Horn, H. H., Shearer, J. K., Wilcox, C. J., & Donovan, G. A. (2000). Responses of Lactating Dairy Cows to Copper Source, Supplementation Rate, and Dietary Antagonist (Iron). *Journal of Dairy Science*, 83(8), 1845–1852.
- Cheng, J., Kornegay, E. T., & Schell, T. (1998). Influence of Dietary Lysine on the Utilization of Zinc from Zinc Sulfate and a Zinc-Lysine Complex by Young Pigs. *Journal of Animal Science*, 76(4), 1064–1074.

- Chirase, N. K., & Greene, L. W. (2001). Dietary zinc and manganese sources administered from the fetal stage onwards affect immune response of transit stressed and virus infected offspring steer calves. *Animal Feed Science and Technology*, 93(3), 217-228.
- Chinrasri, O., Chantiratikul, P., Thosaikham, W., Atiwetin, P., Chumpawadee, S., Saenthaweesuk, S., & Chantiratikul, A. (2009). Effect of selenium-enriched bean sprout and other selenium sources on productivity and selenium concentration in eggs of laying hens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22(12), 1661-1666.
- Choct, M., Naylor†, A. J., & Reinke, N. (2004). Selenium supplementation affects broiler growth performance, meat yield and feather coverage. *British Poultry Science*, 45(5), 677-683.
- Chowdhury, S., Paik, I., Namkung, H., & Lim, H. (2004). Responses of broiler chickens to organic copper fed in the form of copper–methionine chelate. *Animal Feed Science and Technology*, 115(3-4), 281–293.
- Clemens, R.C. (2000). Blut. *Klinische Pathophysiologie*, 452-461.
- Close, W. H. (1998). The role of trace mineral proteinates in pig nutrition. *Biotechnology in the feed industry*. Nottingham University Press, Nottingham, 469-483.
- Close, W. H. (1999). Organic minerals for pigs: an update. *Biotechnology in the Feed Industry*. Nottingham University Press, Nottingham, 51-60.
- Close, W. H. (2003). Trace mineral nutrition of pigs revisited: meeting production and environmental objectives. *Advanced Animal Nutrition in Australia, University of New England, NSW*, 14, 133-142.
- Close, W. H. (2010). Mineral nutrition of hyper prolific sow. In *Memorias del X Congreso Nacional de Producción Porcina*, 35-143.
- Coffey, R. D., Cromwell, G. L., & Monegue, H. J. (1994). Efficacy of a copper-lysine complex as a growth promotant for weanling pigs. *Journal of Animal Science*, 72(11), 2880–2886.
- Coindet, J. F. (1820). *Decouverte d'un nouveau remede contre le goitre*.
- Collings, R., Harvey, L. J., Hooper, L., Hurst, R., Brown, T. J., Ansett, J. & Fairweather-Tait, S. J. (2013). The absorption of iron from whole diets: a systematic review. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 98(1), 65-81.
- Cope, C. M., Mackenzie, A. M., Wilde, D., & Sinclair, L. A. (2009). Effects of level and form of dietary zinc on dairy cow performance and health. *Journal of Dairy Science*, 92(5), 2128-2135.
- Cortinhas, C. S., Botaro, B. G., Sucupira, M. C. A., Renno, F. P., & Santos, M. V. (2010). Antioxidant enzymes and somatic cell count in dairy cows fed with organic source of zinc, copper and selenium. *Livestock Science*, 127(1), 84–87.
- Cortinhas, C. S., Freitas Júnior, J. E. D., Naves, J. D. R., Porcionato, M. A. D. F., Rennó, F. P., & Santos, M. V. D. (2012). Organic and inorganic sources of zinc, copper and selenium in diets for dairy cows: intake, blood metabolic profile, milk yield and composition. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(6), 1477-1483.

- Cousins, R. J. (2010). Gastrointestinal factors influencing zinc absorption and homeostasis. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 80(4), 243.
- Cozzi, G., Prevedello, P., Stefani, A.L., Piron, A., Contiero, B., Lante, A., et al. (2011). Effect of dietary supplementation with different sources of selenium on growth response, selenium blood levels and meat quality of intensively finished Charolais young bulls. *Animal*, 5(10), 1531-1538.
- Creech, B. L., Spears, J. W., Flowers, W. L., Hill, G. M., Lloyd, K. E., Armstrong, T. A., & Engle, T. E. (2004). Effect of dietary trace mineral concentration and source (inorganic vs. chelated) on performance, mineral status, and fecal mineral excretion in pigs from weaning through finishing. *Journal of Animal Science*, 82(7), 2140–2147.
- Da Silva Sechinato, A., de Albuquerque, R., & Nakada, S. (2006). Effects of diet supplementation with organic trace minerals on production of laying hens. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*.
- Dang, A. K., Prasad, S., De, K., Pal, S., Mukherjee, J., Sandeep, I. V. R. & Kapila, R. (2013). Effect of supplementation of vitamin E, copper and zinc on the in vitro phagocytic activity and lymphocyte proliferation index of peripartum Sahiwal (*Bos indicus*) cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 97(2), 315-321.
- Davis, G. K. (1950). The influence of copper on the metabolism of phosphorus and molybdenum. *A symposium on animal, plant and soil relationships*, WD McElroy and B. Glass (eds.). *The Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland*, 216-229.
- Davis, M. E., Maxwell, C. V., Brown, D. C., De Rodas, B. Z., Johnson, Z. B., Kegley, E. B. & Dvorak, R. A. (2002). Effect of dietary mannan oligosaccharides and (or) pharmacological additions of copper sulfate on growth performance and immunocompetence of weanling and growing/finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 80(11), 2887-2894.
- Davis, P. A., McDowell, L. R., Wilkinson, N. S., Buergelt, C. D., Van Alstyne, R., Weldon, R. N. & Matsuda-Fugisaki, E. Y. (2008). Comparative effects of various dietary levels of Se as sodium selenite or Se yeast on blood, wool, and tissue Se concentrations of wether sheep. *Small Ruminant Research*, 74(1), 149-158.
- Dawson, C., & Laven, R. A. (2007). Failure of zinc supplementation to prevent severe facial eczema in cattle fed excess copper. *New Zealand Veterinary Journal*, 55(6), 353-355.
- DeFrain, J. M., Socha, M. T., Tomlinson, D. J., & Kluth, D. (2009). Effect of complexed trace minerals on the performance of lactating dairy cows on a commercial dairy. *The Professional Animal Scientist*, 25(6), 709-715.
- Del Valle, T. A., Jesus, E. F. D., Paiva, P. G. D., Bettero, V. P., Zanferari, F., Acedo, T. S. & Rennó, F. P. (2015). Effect of organic sources of minerals on fat-corrected milk yield of dairy cows in confinement. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 44(3), 103-108.
- Deng, Y., Mi, M., Chen, F., Deng, D., Ying, P., Min, G. & Fan, M. Z. (2010). Effect of copper, ferrous iron and zinc from different sources on growth performance and fecal copper, ferrous iron and zinc balance in growing pigs. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(3-4), 71-77.
- Deniz, G., Gezen, S. S., & Turkmen, I. I. (2005). Effects of two supplemental dietary selenium sources (mineral and organic) on broiler performance and drip-loss. *Revue de Médecine Vétérinaire*, 156(8-9), 423.

- Dibner, J. J. (2005, March). Early nutrition of zinc and copper in chicks and poults: Impact on growth and immune function. *3rd Mid-Atl. Nutr. Conf., Timonium, MD. Univ. Maryland, College Park*, 23-32.
- Dick, A. T., Dewey, D. W., & Gawthorne, J. M. (1975). Thiomolybdates and the copper–molybdenum–sulphur interaction in ruminant nutrition. *The Journal of Agricultural Science*, 85(3), 567-568.
- Dobrzański, Z., Jamroz, D., Górecka, H., & Opaliński, S. (2003). Bioavailability of selenium and zinc supplied to the feed for laying hens in organic and inorganic form. *EJPAU, ser. Animal Husbandry*, 6(2).
- Dorton, K. L., Engle, T. E., Hamar, D. W., Siciliano, P. D., & Yemm, R. S. (2003). Effects of copper source and concentration on copper status and immune function in growing and finishing steers. *Animal Feed Science and Technology*, 110(1), 31-44.
- Dove, C. R. (1998). Copper citrate as a growth stimulating copper source for nursery pigs. *Journal of Animal Science* 76(1), 159.
- Downs, K. M., Hess, J. B., & Bilgili, S. F. (2000). Selenium source effect on broiler carcass characteristics, meat quality and drip loss. *Journal of Applied Animal Research*, 18(1), 61-71.
- Dibner, J. J. (2005). Early nutrition of zinc and copper in chicks and poults: Impact on growth and immune function. *3rd Mid-Atl. Nutr. Conf., Timonium, MD. Univ. Maryland, College Park*, 23-32.
- Dresler, S., Illek, J., & Zeman, L. (2015). Effects of organic zinc supplementation in weaned calves. *Acta Veterinaria Brno*, 85(1), 49-54.
- Droke, E. A., Gengelbach, G. P., & Spears, J. W. (1998). Influence of level and source (inorganic vs organic) of zinc supplementation on immune function in growing lambs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 11, 139-144.
- Du, Z., Hemken, R. W., & Harmon, R. J. (1996). Copper metabolism of Holstein and Jersey cows and heifers fed diets high in cupric sulfate or copper proteinate. *Journal of Dairy Science*, 79(10), 1873-1880.
- Duff, G. C., Gunter, S. A., Kegley, E. B., & Vermeire, D. A. (2000). Effects of supplemental zinc concentration and source on performance, carcass characteristics, and serum values in finishing beef steers. *Journal of Animal Science*, 78(1995), 2801–2808.
- Ebeid, T. A. (2009). Organic selenium enhances the antioxidative status and quality of cockerel semen under high ambient temperature. *British Poultry Science*, 50(5), 641-647.
- Edans, F. W., Parkhurst, C. R., & Havenstein, G. B. (1999). Selenium yeast (Sel-Plex 50) improves feathering rate of broilers reared in either conventional or cage environments. *Poultry Science*, 78(1) 133.
- EFSA (2016). EFSA revidiert Höchstgehalte an Kupfer in der Tiernahrung. *Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit*

- EFSA FEEDAP Panel, (2015). Scientific Opinion on the safety and efficacy of copper compounds (E4) as feed additives for all animal species (cupric acetate, monohydrate; basic cupric carbonate, monohydrate; cupric chloride, dihydrate; cupric oxide; cupric sulphate, pentahydrate; cupric chelate of amino acids, hydrate; cupric chelate of glycine, hydrate), based on a dossier submitted by FEFANA asbl. *EFSA Journal*, 13(4), 4057.
- El-Husseiny, O. M., Hashish, S. M., Ali, R. A., Arafa, S. A., Abd El-Samee, L. D., & Olemy, A. A. (2012). Effects of feeding organic zinc, manganese and copper on broiler growth, carcass characteristics, bone quality and mineral content in bone, liver and excreta. *International Journal of Poultry Science*, 11(6), 368–377.
- EMFEMA (2002): Position of the European feedgrade Zinc oxide industry concerning Zinc bioavailability of zinc oxide in ruminants, pigs and poultry (in press)
- Engle, T. E., Nockels, C. F., Kimberling, C. V., Weaber, D. L., & Johnson, A. B. (1997). Zinc repletion with organic or inorganic forms of zinc and protein turnover in marginally zinc-deficient calves. *Journal of Animal Science*, 75(11), 3074-3081.
- Engle, T. E., Spears, J. W., Armstrong, T. A., Wright, C. L., & Odle, J. (2000). Effects of dietary copper source and concentration on carcass characteristics and lipid and cholesterol metabolism in growing and finishing steers. *Journal of Animal Science*, 78(4), 1053-1059.
- Enjalbert, F., Lebreton, P., & Salat, O. (2006). Effects of copper, zinc and selenium status on performance and health in commercial dairy and beef herds: Retrospective study. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 90(11-12), 459–466.
- Ettle, T., Schlegel, P., & Roth, F. X. (2008). Investigations on iron bioavailability of different sources and supply levels in piglets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 92(1), 35-43.
- Ewing, H. P., Pesti, G. M., Bakalli, R. I., & Menten, J. F. (1998). Studies on the feeding of cupric sulfate pentahydrate, cupric citrate, and copper oxychloride to broiler chickens. *Poultry Science*, 77(3), 445-448.
- FAO und IFIF. (2010). Good practices for the feed industry, 1–73.
- Fehse, R. & Close, W. H. (2000). The Influence of Supplemental Organic Minerals on Sow Productivity. Retrieved from the University of Minnesota Digital Conservancy.
- Feng, J., Ma, W. Q., Xu, Z. R., Wang, Y. Z., & Liu, J. X. (2007). Effects of iron glycine chelate on growth, haematological and immunological characteristics in weanling pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 134(3), 261-272.
- Feng, J. W. Q. M., Ma, W. Q., Niu, H. H., Wu, X. M., & Wang, Y. (2009). Effects of zinc glycine chelate on growth, hematological, and immunological characteristics in broilers. *Biological Trace Element Research*, 133(2), 203-211.
- Ferket, P. R., Van Heugten, E., Van Kempen, T. A. T. G., & Angel, R. (2002). Nutritional strategies to reduce environmental emissions from nonruminants. *Journal of Animal Science*, 80(2), 168-182.



- Fernandes, J. I. M., Murakami, A. E., Sakamoto, M. I., Souza, L. M. G., Malaguido, A., & Martins, E. N. (2008). Effects of organic mineral dietary supplementation on production performance and egg quality of white layers. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 10(1), 59-65.
- Filmer, J. F., & Uunderwood, E. J. (1934). Enzootic marasmus: treatment with limonite fractions. *Australian Veterinary Journal*, 10(3), 83-87.
- Flachowsky, G. (1997). Bewertung organischer Spurenelementverbindungen in der Tierernährung. 17. Arbeitstagung „Mengen- und Spurenelemente“, 599–603.
- Flachowsky, G. (2002). Zum Spurenelementbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. *KTBL-Schrift*, 410, 14-22
- Flachowsky, G. (2005). Spurenelemente. *Physiologie der Haustiere*.
- Flowers, W. L., Spears, J. W., & Hill, G. M. (2001). Effect of reduced Cu, Zn, Fe, and Mn on reproductive performance of sows. *Journal of Animal Science*, 79(2), 140.
- Floyd, C. R., Purvis, H. T., Lusby, K. S., Wettemann, R. P., Cassard, D. W., & Johnson, Z. B. (1995). Effects of Monensin and 4-Plex on Growth and Puberty of Beef Heifers. *The Professional Animal Scientist*, 11(2), 95-99.
- FMV, Futtermittelverordnung (2000). Futtermittelverordnung vom 23. November 2000, 1605
- Formigoni, A., Fustini, M., Archetti, L., Emanuele, S., Sniffen, C., & Biagi, G. (2011). Effects of an organic source of copper, manganese and zinc on dairy cattle productive performance, health status and fertility. *Animal Feed Science and Technology*, 164(3-4), 191–198.
- Fraga, C. G. (2005). Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health. *Molecular Aspects of Medicine*, 26(4-5), 235–244.
- Ferguson, W. S., Lewis, A. H., & Watson, S. J. (1943). The teart pastures of Somerset: I. The cause and cure of teartness. *The Journal of Agricultural Science*, 33(1), 44-51.
- Gajčević, Z., Kralik, G., Has-Schön, E., & Pavić, V. (2009). Effects of organic selenium supplemented to layer diet on table egg freshness and selenium content. *Italian Journal of Animal Science*, 8(2), 189-199.
- Galyean, M. L., Gunter, S. A., Berrie, R. A., Malcolm-Callis, K. J., Brazle, F. K., & Essig, H. W. (1995). Effects of zinc source and level and added copper lysine in the receiving diet on performance by growing and finishing steers. *The Professional Animal Scientist*, 11(3), 139-148.
- Gan, F., Chen, X., Liao, S. F., Lv, C., Ren, F., Ye, G. & Zhou, H. (2014). Selenium-enriched probiotics improve antioxidant status, immune function, and selenoprotein gene expression of piglets raised under high ambient temperature. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(20), 4502-4508.
- Gan, F., Ren, F., Chen, X., Lv, C., Pan, C., Ye, G. & Huang, K. (2013). Effects of selenium-enriched probiotics on heat shock protein mRNA levels in piglet under heat stress conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(10), 2385-2391.
- Ganz, T., & Nemeth, E. (2012). Hepcidin and iron homeostasis. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Cell Research*, 1823(9), 1434-1443.

- Gechter, D., Nothacker, M., Khan, C., Rütters, D., Mavergames, C., Motschall, E. & Meerpohl, J. J. (2013). Systematische Literaturrecherche für die Erstellung von Leitlinien. *Deutsches Cochrane-Zentrum, Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften- Institut für Medizinisches Wissensmanagement, Ärztliches Zentrum für Qualität in der Medizin*, 1–54.
- Gelderman, A., & Clapper, J. (2013). Effects of inorganic or organic selenium on immunoglobulins in swine. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 4(1), 1.
- Gengelbach, G.P., Ward, J.D. & Spears, J.W. (1994). Effect of dietary copper, iron, and molybdenum on growth and copper status of beef cows and calves. *Journal of Animal Science*, 72(10), 2722-2727.
- Gjorgovska, N., Kiril, F., Vesna, L., & Tosho, K. (2012). The effect of different levels of selenium in feed on egg production, egg quality and selenium content in yolk. *Lucrări Științifice-Seria Zootehnie*, 57(17), 270-274.
- Gmelin, L. (1953). Handbuch der anorganischen Chemie – Selen, Berlin – Heidelberg
- Gowda, D. T. P. (2015). Organic trace minerals for improving livestock production. *Division of Animal Nutrition*.
- Graham, T. W., Thurmond, M. C., Clegg, M. S., Keen, C. L., Holmberg, C. A., Slanker, M. R., & Goodger, W. J. (1987). An epidemiologic study of mortality in veal calves subsequent to an episode of zinc toxicosis on a California veal calf operation using zinc sulfate-supplemented milk replacer. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 190(10), 1296-1301.
- Greene, L. W., Lunt, D. K., Byers, F. M., Chirase, N. K., Richmond, C. E., Knutson, R. E., & Schelling, G. T. (1988). Performance and Carcass Quality of Steers Supplemented with Zinc Oxide or Zinc Methionine. *Journal of Animal Science*, 66(7), 1818-1823.
- Gressley, F. (2009). Zinc, copper, manganese, and selenium in dairy cattle rations. *Proceedings of the 7th Annual Mid-Atlantic Nutrition Conference*, 56–71.
- Griffiths, L. M., Loeffler, S. H., Socha, M. T., Tomlinson, D. J., & Johnson, A. B. (2007). Effects of supplementing complexed zinc, manganese, copper and cobalt on lactation and reproductive performance of intensively grazed lactating dairy cattle on the South Island of New Zealand. *Animal Feed Science and Technology*, 137(1-2), 69–83.
- Grafe, A., & Westendarp, H. (2002). Organisch gebundene Spurenelemente in der Schweinefütterung. *KTBL Schrift* 105-111.
- Güçlü, B. K., Kara, K., Beyaz, L., Uyanik, F., Eren, M., & Atasever, A. (2008). Influence of dietary copper proteinate on performance, selected biochemical parameters, lipid peroxidation, liver, and egg copper content in laying hens. *Biological Trace Element Research*, 125(2), 160-169.
- Gulec, S., Anderson, G. J., & Collins, J. F. (2014). Mechanistic and regulatory aspects of intestinal iron absorption. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*, 307(4), 397-409.
- Gunter, S. A., Beck, P. A., & Phillips, J. M. (2003). Effects of supplementary selenium source on the performance and blood measurements in beef cows and their calves. *Journal of Animal Science*, 81(4), 856-864.

- Guo, R., Henry, P. R., Holwerda, R. A., Cao, J., Littell, R. C., Miles, R. D., & Ammerman, C. B. (2001). Chemical characteristics and relative bioavailability of supplemental organic copper sources for poultry. *Journal of Animal Science*, 79(5), 1132-1141.
- Guyot, H., Spring, P., Andrieu, S., & Rollin, F. (2007). Comparative responses to sodium selenite and organic selenium supplements in Belgian Blue cows and calves. *Livestock Science*, 111(3), 259–263.
- Habibian, M., Ghazi, S., & Moeini, M. M. (2016). Effects of dietary selenium and vitamin E on growth performance, meat yield, and selenium content and lipid oxidation of breast meat of broilers reared under heat stress. *Biological Trace Element Research*, 169(1), 142-152.
- Habibian, M., Sadeghi, G., Ghazi, S., & Moeini, M. M. (2015). Selenium as a feed supplement for heat-stressed poultry: a review. *Biological Trace Element Research*, 165(2), 183-193.
- Hackbart, K. S., Ferreira, R. M., Dietsche, A. A., Socha, M. T., Shaver, R. D., Wiltbank, M. C., & Fricke, P. M. (2010). Effect of dietary organic zinc, manganese, copper, and cobalt supplementation on milk production, follicular growth, embryo quality, and tissue mineral concentrations in dairy cows. *Journal of Animal Science*, 88(12), 3856-3870.
- Hahn A., Ströhle A., Wolters M. (2006). Ernährung - Physiologische Grundlagen, Prävention, Therapie. 153-156 Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart.
- Hahn, J. D., & Baker, D. H. (1993). Growth and plasma zinc responses of young pigs fed pharmacologic levels of zinc. *Journal of Animal Science*, 71(11), 3020-3024.
- Hansen, S. L., Ashwell, M. S., Legleiter, L. R., Fry, R. S., Lloyd, K. E., & Spears, J. W. (2008). The addition of high manganese to a copper-deficient diet further depresses copper status and growth of cattle. *British Journal of Nutrition*, 101(7), 1068-1078.
- Hansen, S.L., Spears, J.W., Lloyd, K.E. & Whisnant, C.S. (2006a). Feeding a Low Manganese Diet to Heifers During Gestation Impairs Fetal Growth and Development. *Journal of Dairy Science*, 89(11), 4305-4311.
- Hansen, S.L., Spears, J.W., Lloyd, K.E. & Whisnant, C.S. (2006b). Growth, reproductive performance, and manganese status of heifers fed varying concentrations of manganese. *Journal of Animal Science*, 84(12), 3375-3380.
- Hao, S., Hu, J., Song, S., Huang, D., Xu, H., Qian, G. & Huang, K. (2016). Selenium alleviates aflatoxin B1-induced immune toxicity through improving glutathione peroxidase 1 and selenoprotein S expression in primary porcine splenocytes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(6), 1385-1393.
- Harless, E. (1847). Ueber das blaue Blut einiger wirbellosen Thiere und dessen Kupfergehalt. *Müllers Archiv für Anatomie*, 148.
- Harrison, G. R., Lord, R. C., & Loofbourow, J. R. (1948). *Practical spectroscopy*. Prentice-Hall. Inc.; New York.
- Hedemann, H. N. L. & M. S. (2008). Chapter 5-The digestive system of the pig, 1–27.

- Henman, D. (2001). Organic mineral supplements in pig nutrition: performance and meat quality, reproduction and environmental response. In: *Biotechnology in the Feed Industry, Proceedings of Alltech's 17th Annual Symposium* (T.P. Lyons and K.A. Jacques, eds). Nottingham University Press, UK, 297-304.
- Hidiroglou, M., Ivan, M., Bryan, M. K., Ribble, C. S., Janzen, E. D., Proulx, J. G., & Elliot, J. I. (1990). Assessment of the role of manganese in congenital joint laxity and dwarfism in calves. In *Annales de Recherches Vétérinaires*, 21(4), 281-284.
- Holben, D. H., & Smith, A. M. (1999). The diverse role of selenium within selenoproteins: A review. *Journal of the American Dietetic Association*.
- Hollis, G. R., Carter, S. D., Cline, T. R., Crenshaw, T. D., Cromwell, G. L., Hill, G. M. & Stein, H. H. (2005). Effects of replacing pharmacological levels of dietary zinc oxide with lower dietary levels of various organic zinc sources for weanling pigs. *Journal of Animal Science*, 83(9), 2123-2129.
- Hoover, S. L., Carlson, M. S., Hill, G. M., Link, J. E., Ward, T. L., & Fakler, T. M. (1997). Evaluation of excretion and retention of zinc from inorganic and organic sources in diets fed to weanling pigs. *Journal of Animal Science*, 75(1), 189.
- Hordyjewska, A., Popiołek, Ł., & Kocot, J. (2014). The many "faces" of copper in medicine and treatment. *Biometals*, 27(4), 611-621.
- Howell, J. M., & Kumaratilake, J. S. (1990). Effect of intravenously administered tetrathiomolybdate on plasma copper concentrations of copper-loaded sheep. *Journal of Comparative Pathology*, 103(3), 321-334.
- Hu, C.H., Qian, Z.C., Song, J., Luan, Z.S. & Zuo, A.Y. (2013). Effects of zinc oxide-montmorillonite hybrid on growth performance, intestinal structure, and function of broiler chicken. *Journal of Poultry Science*, 92(1), 143-150.
- Huang, J. Q., Li, D. L., Zhao, H., Sun, L. H., Xia, X. J., Wang, K. N. & Lei, X. G. (2011). The Selenium Deficiency Disease Exudative Diathesis in Chicks Is Associated with Downregulation of Seven Common Selenoprotein Genes in Liver and Muscle—3. *The Journal of Nutrition*, 141(9), 1605-1610.
- Hudson, B. P., Dozier, W. A., Wilson, J. L., Sander, J. E., & Ward, T. L. (2004). Reproductive performance and immune status of caged broiler breeder hens provided diets supplemented with either inorganic or organic sources of zinc from hatching to 65 wk of age. *The Journal of Applied Poultry Research*, 13(2), 349-359.
- Huerta, M., Kincaid, R. L., Cronrath, J. D., Busboom, J., Johnson, A. B., & Swenson, C. K. (2002). Interaction of dietary zinc and growth implants on weight gain, carcass traits and zinc in tissues of growing beef steers and heifers. *Animal Feed Science and Technology*, 95(1), 15-32.
- Humer, E., Schwarz, C., & Schedle, K. (2015). Phytate in pig and poultry nutrition. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 99(4), 605-625.
- Jacometo, C. B., Osorio, J. S., Socha, M., Corrêa, M. N., Piccioli-Cappelli, F., Trevisi, E., & Lóor, J. J. (2015). Maternal consumption of organic trace minerals alters calf systemic and neutrophil mRNA and microRNA indicators of inflammation and oxidative stress. *Journal of Dairy Science*, 98(11), 7717-7729.

- Jahanian, R., Moghaddam, H. N., Rezaei, A., & Haghparast, A. R. (2008). The influence of dietary zinc-methionine substitution for zinc sulfate on broiler chick performance. *Journal of Biological Science*, 8, 321-327.
- Jahanian, R. & Rasouli, E. (2015). Effects of dietary substitution of zinc-methionine for inorganic zinc sources on growth performance, tissue zinc accumulation and some blood parameters in broiler chicks. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition (Berl)*, 99(1), 50-58.
- Janczyk, P., Kreuzer, S., Assmus, J., Nockler, K. & Brockmann, G.A. (2013). No protective effects of high-dosage dietary zinc oxide on weaned pigs infected with *Salmonella enterica* serovar typhimurium DT104. *Applied Environmental Microbiology*, 79(9), 2914-2921.
- Jankowski, J., Zduńczyk, Z., Sartowska, K., Tykałowski, B., Stenzel, T., Wróblewska, M., & Koncicki, A. (2011). Metabolic and immune response of young turkeys originating from parent flocks fed diets with inorganic or organic selenium. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 14(3), 353-358.
- Jarosz, Ł., Kwiecień, M., Marek, A., Grądzki, Z., Winiarska-Mieczan, A., Kalinowski, M., & Laskowska, E. (2016). Effects of feed supplementation with glycine chelate and iron sulfate on selected parameters of cell-mediated immune response in broiler chickens. *Research in Veterinary Science*, 107, 68-74.
- Jarosz, L., Marek, A., Gradzki, Z., Kwicien, M. & Kalinowski, M. (2016). The effect of feed supplementation with zinc chelate and zinc sulphate on selected humoral and cell-mediated immune parameters and cytokine concentration in broiler chickens. *Research in Veterinary Science*, 112, 59-65.
- Jegade, A. V., Oduguwa, O. O., Bamgbose, A. M., Fanimu, A. O., & Nollet, L. (2011). Growth response, blood characteristics and copper accumulation in organs of broilers fed on diets supplemented with organic and inorganic dietary copper sources. *British Poultry Science*, 52(1), 133-139.
- Jenkins, N.K., Morris, T.R. & Valamotis, D. (1970). The effect of diet and copper supplementation on chick growth. *British Poultry Science*, 11(2), 241-248.
- Jensen-Waern, M., Melin, L., Lindberg, R., Johannisson, A., Petersson, L. & Wallgren, P. (1998). Dietary zinc oxide in weaned pigs--effects on performance, tissue concentrations, morphology, neutrophil functions and faecal microflora. *Research in Veterinary Science*, 64(3), 225-231.
- Jensen, L. S., Dunn, P. A., & Dobson, K. N. (1991). Induction of oral lesions in broiler chicks by supplementing the diet with copper. *Avian Diseases*, 969-973.
- Ji, F., Luo, X. G., Lu, L., Liu, B., & Yu, S. X. (2006). Effect of manganese source on manganese absorption by the intestine of broilers. *Journal of Poultry Science*, 85(11), 1947-1952.
- Jiakui, L., & Xiaolong, W. (2004). Effect of dietary organic versus inorganic selenium in laying hens on the productivity, selenium distribution in egg and selenium content in blood, liver and kidney. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 18(1), 65-68.
- Gasteiger, J. & Schunk, A. (2016). *Chelat-Komplexe von Aminosäuren. Chemie für Mediziner: Aminosäuren und Proteine.*

- Jondreville, C., Revy, P. S., Jaffrezic, A., & Dourmad, J. Y. (2002). Le cuivre dans l'alimentation du porc: oligo-élément essentiel, facteur de croissance et risque potentiel pour l'Homme et l'environnement. *Productions Animales-Paris-Institut National de la Recherche Agronomique*, 15(4), 247-266.
- Jongbloed, A. W. (2010). Comparison of copper and zinc sources in pig diets. In *Internal Report*. Wageningen UR Livestock Research Lelystad, The Netherlands.
- Joslin, R.S., Erickson, P.S., Santoro, H.M., Whitehouse, N.L., Schwab, C.G. & Rejman, J.J. (2002). Lactoferrin Supplementation to Dairy Calves. *Journal of Dairy Science*, 85(5), 1237-1242.
- Juniper, D. T., Phipps, R. H., & Bertin, G. (2011). Effect of dietary supplementation with selenium-enriched yeast or sodium selenite on selenium tissue distribution and meat quality in commercial-line turkeys. *Animal*, 5(11), 1751-1760.
- Juniper, D. T., Phipps, R. H., Ramos-Morales, E., & Bertin, G. (2008). Effect of dietary supplementation with selenium-enriched yeast or sodium selenite on selenium tissue distribution and meat quality in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 86(11), 3100-3109.
- Kamada, H., Nonaka, I., Ueda, Y. & Murai, M. (2007). Selenium addition to colostrum increases immunoglobulin G absorption by newborn calves. *Journal of Dairy Science*, 90(12), 5665-5670.
- Katsoulos, P.D., Roubies, N., Panousis, N. & Karatzias, H. (2005). Effects of long-term feeding dairy cows on a diet supplemented with clinoptilolite on certain serum trace elements. *Biological Trace Element Research*, 108(1-3), 137-145.
- Khajareern, J., Ratanasethakul, C., Kharajareern, S., Ward, T. L., Fakler, T. M., & Johnson, A. B. (2002). Effect of zinc and manganese amino acid complexes (AvailaZ/M) on broiler breeder production and immunity. *Journal of Poultry Science*, 81(1), 40.
- Khalid, A., Khudhair, N., He, H., Peng, Z., Yaguang, T. & Guixue, Z. (2016). Effects of Dietary Selenium Supplementation on Seminiferous Tubules and SelW, GPx4, LHCGR, and ACE Expression in Chicken Testis. *Biological Trace Element Research*, 173(1), 202-209.
- Kambe, T., Tsuji, T., Hashimoto, A., & Itsumura, N. (2015). The Physiological, Biochemical, and Molecular Roles of Zinc Transporters in Zinc Homeostasis and Metabolism. *Physiological Reviews*, 95(3), 749–784.
- Kellogg, D. W., Rakes, J. M., & Gliedt, D. W. (1989). Effect of zinc methionine supplementation on performance and selected blood parameters of lactating dairy cows. *Nutrition Reports International*, 40(6), 1049-1057.
- Kellogg, D. W., Socha, M. T., Tomlinson, D. J., & Johnson, A. B. (2003). Effects of feeding cobalt glucoheptonate and metal specific amino acid complexes of zinc, manganese, and copper on lactation and reproductive performance of dairy cows. *The Professional Animal Scientist*, 19(1), 1-9.
- Kellogg, D. W., Tomlinson, D. J., Socha, M. T., & Johnson, A. B. (2004). Effects of zinc methionine complex on milk production and somatic cell count of dairy cows: twelve-trial summary. *The Professional Animal Scientist*, 20(4), 295-301.

- Kessler, J., Morel, I., Dufey, P. A., Gutzwiller, A., Stern, A., & Geyer, H. (2003). Effect of organic zinc sources on performance, zinc status and carcass, meat and claw quality in fattening bulls. *Livestock Production Science*, 81(2), 161-171.
- Khajareern, J., Ratanasethakul, C., Kharajareern, S., Ward, T. L., Fakler, T. M., & Johnson, A. B. (2002). Effect of zinc and manganese amino acid complexes (AvailaZ/M) on broiler breeder production and immunity. *Journal of Poultry Science*, 81(1), 40.
- Kidd, M. T., Anthony, N. B., Newberry, L. A., & Lee, S. R. (1993). Effect of supplemental zinc in either a corn-soybean or a milo and corn-soybean meal diet on the performance of young broiler breeders and their progeny. *Journal of Poultry Science*, 72(8), 1492-1499.
- Kim, G. B., Seo, Y. M., Shin, K. S., Rhee, A. R., Han, J., & Paik, I. K. (2011). Effects of supplemental copper-methionine chelate and copper-soy proteinate on the performance, blood parameters, liver mineral content, and intestinal microflora of broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, 20(1), 21-32.
- Kim, Y. Y., & Mahan, D. C. (2001). Prolonged feeding of high dietary levels of organic and inorganic selenium to gilts from 25 kg body weight through one parity. *Journal of Animal Science*, 79(4), 956-966.
- Kim, W.K. & Patterson, P.H. (2004). Effects of dietary zinc supplementation on broiler performance and nitrogen loss from manure. *Journal of Poultry Science*, 83(1), 34-38.
- Kinal, S., Korniewicz, A., Jamroz, D., Zieminski, R., & Slupczynska, M. (2005). Dietary effects of zinc, copper and manganese chelates and sulphates on dairy cows. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 3(1), 168-172.
- Kinal, S., Korniewicz, D., Jamroz, D., Korniewicz, A., Slupczynska, M. & Dymarski, I. (2007). The effectiveness of zinc, copper and manganese applied in organic forms in diets of high milk yielding cows. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 5(2), 189.
- Kinal, S., Twardoń, J., Bednarski, M., Preś, J., Bodarski, R., Slupczyńska, M. & Dejneka, G. (2011). The influence of administration of biotin and zinc chelate (Zn-methionine) to cows in the first and second trimester of lactation on their health and productivity. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 14(1), 103-110.
- Kincaid, R. L., Chew, B. P., & Cronrath, J. D. (1997). Zinc oxide and amino acids as sources of dietary zinc for calves: effects on uptake and immunity. *Journal of Dairy Science*, 80(7), 1381-1388.
- Kincaid, R. L., & Cronrath, J. D. (1993). Effects of added dietary fat and amino acids on performance of lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 76(6), 1601-1606.
- Kincaid, R. L., & Socha, M. T. (2004). Inorganic Versus Complexed Trace Mineral Supplements on Performance of Dairy Cows 1. *The Professional Animal Scientist*, 20(1), 66-73.
- Kirchgessner, M., Reichlmayr-Lais, A. M. (1984): Spurenelemente - ernährungsphysiologische und metabolische Aspekte. *Ernährung* 8, 726-733
- Knop, W. (1861). 62. Quantitativ-Analytische Arbeiten über den Ernährungsprozess der Pflanzen. *Landwirtschaftliche Versuchs-Stationen*, 3(295-324), 4.

- Kolthoff, I. M., & Harris, W. E. (1946). The Polarography of Uranium. II. Polarography in Strongly Acid Solution. *Journal of the American Chemical Society*, 68(7), 1175-1179.
- Kopp, H. (1847). *Geschichte der Chemie. Braunschweig.*
- Kornegay, E.T. and M.W.A. Verstegen, (2001). Swine nutrition and environmental pollution and odor control. In *Swine Nutrition*, 2<sup>nd</sup> Ed., Lewis, A.J. and L.L. Southern Eds. CRC Press Washington, D.C., 609-630.
- Kumar, N., Verma, R. P., Singh, L. P., Varshney, V. P., & Dass, R. S. (2006). Effect of different levels and sources of zinc supplementation on quantitative and qualitative semen attributes and serum testosterone level in crossbred cattle bulls. *Reproduction Nutrition Development*, 46(6), 663-675.
- Laika, M. & Jahanian, R. (2015). Dietary supplementation of organic selenium could improve performance, antibody response, and yolk oxidative stability in laying hens fed on diets containing oxidized fat. *Biological Trace Element Research*, 165(2), 195-205.
- Larson, C. K. (2005). Role of trace minerals in animal production. In *Nutrition Conference, Department of Animal Science, University of Tennessee.*
- Lauridsen, C., Nielsen, J.H., Henckel, P. & Sorensen, M.T. (1999). Antioxidative and oxidative status in muscles of pigs fed rapeseed oil, vitamin E, and copper. *Journal of Animal Science*, 77(1), 105-115.
- Lee S.,H, Choi S.,C, Chae B.,J, Lee J.,K & Acda S.,P, (2001). Evaluation of Metal-Amino Acid Chelates and Complexes at Various Levels of Copper and Zinc in Weanling Pigs and Broiler Chicks. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 14, 1734-1740.
- Leeson, S., Namkung, H., Caston, L., Durosoy, S., & Schlegel, P. (2008). Comparison of selenium levels and sources and dietary fat quality in diets for broiler breeders and layer hens. *Journal of Poultry Science*, 87(12), 2605-2612.
- Lewis, A. J., Miller, P. S., & Wolverson, C. K. (1995). Bioavailability of iron in iron methionine for weanling pigs. *Journal of Animal Science*, 73(1), 172.
- Lewis, A. J., Chen, H. Y., & Miller, P. S. (1999). Bioavailability of iron in iron proteinate for weanling pigs. *Journal of Animal Science*, 77(1), 61.
- Li, C., Guo, S., Gao, J., Guo, Y., Du, E., Lv, Z., & Zhang, B. (2015). Maternal high-zinc diet attenuates intestinal inflammation by reducing DNA methylation and elevating H3K9 acetylation in the A20 promoter of offspring chicks. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 26(2), 173-183.
- Li, J., Yan, L., Zheng, X., Liu, G., Zhang, N. & Wang, Z. (2008). Effect of high dietary copper on weight gain and neuropeptide Y level in the hypothalamus of pigs. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 22(1), 33-38.
- Li, S., Luo, X., Liu, B., Crenshaw, T. D., Kuang, X., Shao, G., & Yu, S. (2004). Use of chemical characteristics to predict the relative bioavailability of supplemental organic manganese sources for broilers. *Journal of Animal Science*, 82(8), 2352-2363.
- Li, S. F., Luo, X. G., Lu, L., Crenshaw, T. D., Bu, Y. Q., Liu, B., & Yu, S. X. (2005). Bioavailability of organic manganese sources in broilers fed high dietary calcium. *Animal Feed Science and Technology*, 123, 703-715.



- Li, X., Yin, J., Li, D., Chen, X., Zang, J. & Zhou, X. (2006). Dietary supplementation with zinc oxide increases Igf-I and Igf-I receptor gene expression in the small intestine of weanling piglets. *Journal of Nutrition*, 136(7), 1786-1791.
- Liebig, R. M. (2013). *Zink und Cadmium und ihre Gewinnung aus Erzen und Nebenprodukten*. Springer-Verlag.
- Lim, H. S., & Paik, I. K. (2003). Effects of supplementary mineral methionine chelates (Zn, Cu, Mn) on the performance and eggshell quality of laying hens. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 16(12), 1804-1808.
- Lin, S. L., Wang, C. W., Tan, S. R., Liang, Y., Yao, H. D., Zhang, Z. W., & Xu, S. W. (2014). Selenium deficiency inhibits the conversion of thyroidal thyroxine (T4) to triiodothyronine (T3) in chicken thyroids. *Biological Trace Element Research*, 161(3), 263-271.
- Liu, R., Jin, C., Wang, Z., Wang, Z., Wang, J. & Wang, L. (2015). Effects of manganese deficiency on the microstructure of proximal tibia and OPG/RANKL gene expression in chicks. *Veterinary Research Communications*, 39(1), 31-37.
- Liu, Y., Zhao, H., Zhang, Q., Tang, J., Li, K., Xia, X. J. & Lei, X. G. (2012). Prolonged Dietary Selenium Deficiency or Excess Does Not Globally Affect Selenoprotein Gene Expression and/or Protein Production in Various Tissues of Pigs-3. *Journal of Nutrition*, 142(8), 1410-1416.
- Lönnerdal, B., Bell, J. G., Hendrickx, A. G., Burns, R. A., & Keen, C. L. (1988). Effect of phytate removal on zinc absorption from soy formula. *American Journal of Clinical Nutrition*, 48(5), 1301-1306.
- Lönnerdal, B. O., Sandberg, A. S., Sandström, B., & Kunz, C. (1989). Inhibitory effects of phytic acid and other inositol phosphates on zinc and calcium absorption in suckling rats. *Journal of Nutrition*, 119(2), 211-214.
- LookChem. (2016). *Copper disodium EDTA*.
- López-Alonso, M. (2012). Trace minerals and livestock: not too much not too little. *ISRN Veterinary Science*, 2012.
- Lovercamp, K.W., Stewart, K.R., Lin, X. & Flowers, W.L. (2013). Effect of dietary selenium on boar sperm quality. *Animal Reproduction Science*, 138(3-4), 268-275.
- Lu, L., Luo, X.G., Ji, C., Liu, B. & Yu, S.X. (2007). Effect of manganese supplementation and source on carcass traits, meat quality, and lipid oxidation in broilers. *Journal of Animal Science*, 85(3), 812-822.
- Lu, L., Wang, R.L., Zhang, Z.J., Steward, F.A., Luo, X. & Liu, B. (2010). Effect of dietary supplementation with copper sulfate or tribasic copper chloride on the growth performance, liver copper concentrations of broilers fed in floor pens, and stabilities of vitamin E and phytase in feeds. *Biological Trace Element Research*, 138(1-3), 181-189.
- Luo, X. G., Ji, F., Lin, Y. X., Steward, F. A., Lu, L., Liu, B., & Yu, S. X. (2005). Effects of dietary supplementation with copper sulfate or tribasic copper chloride on broiler performance, relative copper bioavailability, and oxidation stability of vitamin E in feed. *Journal of Poultry Science*, 84(6), 888-893.

- Lyons, T. P., & Oldfield, J. E. (1996). The case for organic selenium. *Bull Selenium-Tellurium Development Association*.
- Ma, W., Niu, H., Feng, J., Wang, Y., & Feng, J. (2011). Effects of zinc glycine chelate on oxidative stress, contents of trace elements, and intestinal morphology in broilers. *Biological Trace Element Research*, 142(3), 546-556.
- Ma, W., Q. Sun H, Zhou Y, Wu J & Feng J, (2012). Effects of iron glycine chelate on growth, tissue mineral concentrations, faecal mineral excretion, and liver antioxidant enzyme activities in broilers. *Biological Trace Element Research*, 149, 204-211.
- Ma, Y. L., Lindemann, M. D., Pierce, J. L., Unrine, J. M., & Cromwell, G. L. (2014). Effect of inorganic or organic selenium supplementation on reproductive performance and tissue trace mineral concentrations in gravid first-parity gilts, fetuses, and nursing piglets. *Journal of Animal Science*, 92(12), 5540-5550.
- Ma, Y.L., Zanton, G.I., Zhao, J., Wedekind, K., Escobar, J. & Vazquez-Anon, M. (2015). Multitrial analysis of the effects of copper level and source on performance in nursery pigs. *Journal of Animal Science*, 93(2), 606-614.
- Mabe, I., Rapp, C., Bain, M. M., & Nys, Y. (2003). Supplementation of a corn-soybean meal diet with manganese, copper, and zinc from organic or inorganic sources improves eggshell quality in aged laying hens. *Journal of Poultry Science*, 82(12), 1903-1913.
- Mac Munn, C. A. (1885). Observations on the Chromatology of Actiniae. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 641-663.
- Mahan, D. C. (1985). Effect of inorganic selenium supplementation on selenium retention in postweaning swine. *Journal of animal science*, 61(1), 173-178.
- Mahan, D. C. (2000). Effect of organic and inorganic selenium sources and levels on sow colostrum and milk selenium content. *Journal of Animal Science*, 78(1), 100-105.
- Mahan, D. C., & Kim, Y. Y. (1996). Effect of inorganic or organic selenium at two dietary levels on reproductive performance and tissue selenium concentrations in first-parity gilts and their progeny. *Journal of Animal Science*, 74(11), 2711-2718.
- Mahan, D. C., & Parrett, N. A. (1996). Evaluating the Efficacy of Selenium-Enriched Yeast and Sodium Selenite on Tissue Selenium Retention and Serum Glutathione Peroxidase Activity in Grower and Finisher Swine. *Journal of Animal Science*, 74(12), 2967-2974.
- Mahan, D. C., & Peters, J. C. (2004). Long-term effects of dietary organic and inorganic selenium sources and levels on reproducing sows and their progeny. *Journal of Animal Science*, 82(5), 1343-1358.
- Mahmoud, K. Z., & Edens, F. W. (2003). Influence of selenium sources on age-related and mild heat stress-related changes of blood and liver glutathione redox cycle in broiler chickens (*Gallus domesticus*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 136(4), 921-934.
- Malcolm-Callis, K. J., Duff, G. C., Gunter, S. A., Kegley, E. B. & Vermeire, D. A. (2000). Effects of supplemental zinc concentration and source on performance, carcass characteristics, and serum values in finishing beef steers. *Journal of Animal Science*, 78(11), 2801-2808.

- Mamani, N. J. P. (1996). Efeito da suplementação de altos níveis dietéticos de cobre e zinco no desempenho de leitões. *Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*.
- Mandal, G. P., Dass, R. S., Isore, D. P., Garg, A. K., & Ram, G. C. (2007). Effect of zinc supplementation from two sources on growth, nutrient utilization and immune response in male crossbred cattle (*Bos indicus*×*Bos taurus*) bulls. *Animal Feed Science and Technology*, 138(1), 1–12.
- Manspeaker, J. E., & Robl, M. G. (1993). The use of amino acid chelates in bovine fertility and embryonic viability. *The roles of amino acid chelates in animal nutrition*. Noyes Publication, Park Ridge, NJ, 140-153.
- Mantovani, A., Frazzoli, C., & Cubadda, F. (2010). Organic forms of trace elements as feed additives: Assessment of risks and benefits for farm animals and consumers. *Pure and Applied Chemistry*, 82(2), 393–407.
- Marston, H. R. (1935). Problems associated with "coast disease" in South Australia. *Journal of the Council for Scientific and Industrial Research, Australia*, 8, 111-116.
- Martell, A. E. (1954). Metal chelate compounds. *Annual Review of Physical chemistry*.
- Maseko, T., Callahan, D. L., Dunshea, F. R., Doronila, A., Kolev, S. D., & Ng, K. (2013). Chemical characterisation and speciation of organic selenium in cultivated selenium-enriched *Agaricus bisporus*. *Food Chemistry*, 141(4), 3681–7.
- Mateo, R.D., Spallholz, J.E., Elder, R., Yoon, I. & Kim, S.W. (2007). Efficacy of dietary selenium sources on growth and carcass characteristics of growing-finishing pigs fed diets containing high endogenous selenium. *Journal of Animal Science*, 85(5), 1177-1183.
- Mateos, G.G., Martin, F., Latorre, M.A., Vicente, B., & Lázaro, R. (2006). Inclusion of oat hulls in diets for young pigs based on cooked maize or cooked rice. *Journal of Animal Science*, 82, 57-63.
- Matissek, R., Steiner, G., & Fischer, M. (2010). *Lebensmittelanalytik*. Springer.
- Mayland, H.F., Rosenau, R.C. & Florence, A.R. (1980). Grazing cow and calf responses to zinc supplementation. *Journal of Animal Science*, 51(4), 966-985.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., & Morgan, C. A. (1995). *Animal nutrition*, 606.
- McDowell, L. R. (1992). Minerals in animal and human nutrition. Academic Press
- McDowell, L. R. (2003). Minerals in animal and human nutrition. *Science Direct*, 992, 644.
- Mehdi, Y. & Dufrasne, I. (2016). Selenium in Cattle: A Review. *Molecules*, 21(4), 545.
- Mello, G. De, Berto, D. A., Tierzo, V. Lo, Nascimento, R. M., Maria, A., Alves, M., & Girão, C. (2012). Sources of organic trace minerals in diets for weaned piglets. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 1872–1877.

- Mikulski, D., Jankowski, J., Zdunczyk, Z., Wroblewska, M., Sartowska, K., & Majewska, T. (2009). The effect of selenium source on performance, carcass traits, oxidative status of the organism, and meat quality of turkeys. *Journal of Animal Feed Science*, 18(3), 518–530.
- Miles, R. D., Henry, P. R., Sampath, V. C., Shivazad, M., & Comer, C. W. (2003). Relative bioavailability of novel amino acid chelates of manganese and copper for chicks. *The Journal of Applied Poultry Research*, 12(4), 417-423.
- Miles, R.D., O'Keefe, S.F., Henry, P.R., Ammerman, C.B. & Luo, X.G. (1998). The effect of dietary supplementation with copper sulfate or tribasic copper chloride on broiler performance, relative copper bioavailability, and dietary prooxidant activity. *Journal of Poultry Science*, 77(3), 416-425.
- Miller, K.B., Caton, J.S., Schafer, D.M., Smith, D.J. & Finley, J.W. (2000). High dietary manganese lowers heart magnesium in pigs fed a low-magnesium diet. *Journal of Nutrition*, 130(8), 2032-2035.
- Miller, K.B., Newman, S.M., Jr., Caton, J.S. & Finley, J.W. (2004). Manganese alters mitochondrial integrity in the hearts of swine marginally deficient in magnesium. *Biofactors*, 20(2), 85-96.
- Miller, L. V., Krebs, N. F., & Hambidge, K. M. (2013). Mathematical model of zinc absorption: effects of dietary calcium, protein and iron on zinc absorption. *British Journal of Nutrition*, 109(4), 695-700.
- Miller, W.J. (1970). Zinc nutrition of cattle: a review. *Journal of Dairy Science*, 53(8), 1123-1135.
- Miller, W.J., Pitts, W.J., Clifton, C.M. & Morton, J.D. (1965). Effects of Zinc Deficiency per se on Feed Efficiency, Serum Alkaline Phosphatase, Zinc in Skin, Behavior, Greying, and other Measurements in the Holstein Calf. *Journal of Dairy Science*, 48(10), 1329-1334.
- Moeini, M.M., Karami, H. & Mikaeili, E. (2009). Effect of selenium and vitamin E supplementation during the late pregnancy on reproductive indices and milk production in heifers. *Animal Reproduction Science*, 114(1-3), 109-114.
- Moeini, M.M., Kiani, A., Mikaeili, E. & Shabankareh, H.K. (2011). Effect of prepartum supplementation of selenium and vitamin E on serum Se, IgG concentrations and colostrum of heifers and on hematology, passive immunity and Se status of their offspring. *Biological Trace Element Research*, 144(1-3), 529-537.
- Moghaddam, H. N., & Jahanian, R. (2009). Immunological responses of broiler chicks can be modulated by dietary supplementation of zinc-methionine in place of inorganic zinc sources. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 22, 396-403.
- Mohanna, C., & Nys, Y. (1999). Changes in zinc and manganese availability in broiler chicks induced by vegetal and microbial phytases. *Animal Feed Science and Technology*, 77(3-4), 241-253.
- Mohanna, C., & Nys, Y. (1999). Effect of dietary zinc content and sources on the growth, body zinc deposition and retention, zinc excretion and immune response in chickens. *British Poultry Science*, 40(1), 108-114.

- Mondal, M. K., Das, T. K., Biswas, P., Samanta, C. C., & Bairagi, B. (2007). Influence of dietary inorganic and organic copper salt and level of soybean oil on plasma lipids, metabolites and mineral balance of broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 139(3), 212-233.
- Mondal S, Paul S.,K, Bairagi B, Pakhira M.,C. & Biswas P, (2008). Comparative studies of reducing level of organic with inorganic trace minerals supplementation on the performance, nutrient digestibility and mineral balance in cross-bred male calves. *Livestock Research for Rural Development*, 20
- Morales, J., Cordero, G., Pineiro, C. & Durosoy, S. (2012). Zinc oxide at low supplementation level improves productive performance and health status of piglets. *Journal of Animal Science*, 90(4), 436-438.
- Morrill, K. M., Conrad, E., Lago, A., Campbell, J., Quigley, J., & Tyler, H. (2012). Nationwide evaluation of quality and composition of colostrum on dairy farms in the United States. *Journal of Dairy Science*, 95(7), 3997-4005.
- Muehlenbein, E. L., Brink, D. R., Deutscher, G. H., Carlson, M. P., & Johnson, A. B. (2001). Effects of inorganic and organic copper supplemented to first-calf cows on cow reproduction and calf health and performance. *Journal of Animal Science*, 79(7), 1650-1659.
- Muirhead, S. (1993). Research examines effects of zinc, copper proteinates on feedlot heifers. *Feedstuffs*, 65(16), 11-19.
- Muñoz, M., Villar, I., & García-Erce, J. A. (2009). An update on iron physiology. *World Journal of Gastroenterology*, 15(37), 4617-4626.
- Mykkanen, H. M., & Wasserman, R. H. (1989). Uptake of <sup>75</sup>Se-selenite by brush border membrane vesicles from chick duodenum stimulated by vitamin D. *Journal of Nutrition*, 119(2), 242-247.
- Mykkanen, H. M., & Wasserman, R. H. (1990). Relationship of membrane-bound sulfhydryl groups to vitamin D-stimulated uptake of [<sup>75</sup>Se] Selenite by the brush border membrane vesicles from chick duodenum. *Journal of Nutrition*, 120(8), 882-888.
- National Research Council (NRC) (1994). Nutrient Requirements of Poultry: Ninth Revised Edition, 1994.
- National Research Council (NRC) (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Academy of Sciences.
- National Research Council (NRC) (2012). Nutrient Requirements of swine. National Academy Press, Washington, DC
- Naylor, A. J., Choct, M., & Jacques, K. A. (2000). Effects of selenium source and level on performance and meat quality in male broilers. *Journal of Poultry Science*, 79(1), 117.
- Neher, G.M., Doyle, L.P., Thrasher, D.M. & Plumlee, M.P. (1956). Radiographic and histopathological findings in the bones of swine deficient in manganese. *American Journal of Veterinarian Research*, 17(62), 121-128.

- Nemec, L. M., Richards, J. D., Atwell, C. A., Diaz, D. E., Zanton, G. I., & Gressley, T. F. (2012). Immune responses in lactating Holstein cows supplemented with Cu, Mn, and Zn as sulfates or methionine hydroxy analogue chelates. *Journal of Dairy Science*, 95(8), 4568–4577.
- Neto, M. T., Pacheco, B. H. C., Albuquerque, R., Schammass, E. A., & Rodriguez-Lecompte, J. C. (2011a). Dietary effects of chelated zinc supplementation and lysine levels in ISA Brown laying hens on early and late performance, and egg quality. *Journal of Poultry science*, 90(12), 2837-2844.
- Neto, M. T., Pacheco, B. H. C., Albuquerque, R., & Schammass, E. A. (2011b). Lysine and zinc chelate in diets for brown laying hens: effects on egg production and composition. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(2), 377-384.
- Nève, J. (1991). Physiological and nutritional importance of selenium. *Experientia*, 47(2), 187–193.
- Nicholson, J. W. G., McQueen, R. E., & Bush, R. S. (1991). Response of growing cattle to supplementation with organically bound or inorganic sources of selenium or yeast cultures. *Canadian Journal of Animal Science*, 71(3), 803–811.
- Niedzielski, P., Rudnicka, M., Wachelka, M., Kozak, L., Rzany, M., Wozniak, M., & Kaskow, Z. (2016). Selenium species in selenium fortified dietary supplements. *Food Chemistry*, 190, 454–459.
- Nitrayova, S., Windisch, W., Von Heimendahl, E., Müller, A., & Bartelt, J. (2012). Bioavailability of zinc from different sources in pigs. *Journal of Animal Science*, 90(4), 185-187.
- Niu, Z., Liu, F., Yan, Q. & Li, L. (2009). Effects of different levels of selenium on growth performance and immunocompetence of broilers under heat stress. *Archives of Animal Nutrition*, 63(1), 56-65.
- Nocek, J. E., Johnson, A. B., & Socha, M. T. (2000). Digital Characteristics in Commercial Dairy Herds Fed Metal-Specific Amino Acid Complexes. *Journal of Dairy Science*, 83(7), 1553–1572.
- Nocek, J. E., Socha, M. T., & Tomlinson, D. J. (2006). The effect of trace mineral fortification level and source on performance of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 89(7), 2679-2693.
- Nollet, L., Van der Klis, J. D., Lensing, M., & Spring, P. (2007). The effect of replacing inorganic with organic trace minerals in broiler diets on productive performance and mineral excretion. *The Journal of Applied Poultry Research*, 16(4), 592-597.
- Novotný J, Pistl J and Kováč G, (2003a). Effects of supplementation of organic-bound trace elements on blood and tissues - Micromineral profile and immune parameters of piglets. *Acta Veterinaria*, 53, 11-18.
- Novotný J, Pistl J, Eliáš D, Seidl H, Kováč G and Bobček R, (2003b). Effects of diet supplemented with some trace elements on the concentration of the elements and immune indices in pigs. *Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy*, 47, 559-566.
- O'Donoghue, D.G., & Boland, M. (2002). The effect of proteinated trace minerals on fertility and somatic cell counts of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 78(1), 239.

- Olson, P. A., Brink, D. R., Hickok, D. T., Carlson, M. P., Schneider, N. R., Deutscher, G. H. & Johnson, A. B. (1999). Effects of supplementation of organic and inorganic combinations of copper, cobalt, manganese, and zinc above nutrient requirement levels on postpartum two-year-old cows. *Journal of animal science*, 77(3), 522-532.
- Oropeza-Moe, M., Wisloff, H. & Bernhoft, A. (2015). Selenium deficiency associated porcine and human cardiomyopathies. *Journal of Trace Element and Medicine Biology*, 31, 148-156.
- Ortman, K., & Pehrson, B. (1997). Selenite and selenium yeast as feed supplements for dairy cows. *Journal of Veterinary Medicine Series A*, 44(1-10), 373-380.
- Ortman, K., & Pehrson, B. (1998). Selenite and selenium yeast as feed supplements to growing fattening pigs. *Journal of Veterinary Medicine Series A*, 45, 551-557.
- Ortman, K., & Pehrson, B. (1999). Effect of selenate as a feed supplement to dairy cows in comparison to selenite and selenium yeast. *Journal of Animal Science*, 77(12), 3365-3370.
- Osredkar, J., & Natasa, S. (2011). Copper and Zinc, Biological Role and Significance of Copper/Zinc Imbalance. *Journal of Clinical Toxicology*, 3(1), 1-18.
- Paik, I. (2001). Application of chelated minerals in animal production. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 14, 191-198.
- Paik, I., Lee, H., & Park, S. (2009). Effects of organic iron supplementation on the performance and iron content in the egg yolk of laying hens. *The Journal of Poultry Science*, 46(3), 198-202.
- Paik, I. K., Seo, S. H., Um, J. S., Chang, M. B., & Lee, B. H. (1999). Effects of supplementary copper-chelate on the performance and cholesterol level in plasma and breast muscle of broiler chickens. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 12, 794-798.
- Pallauf, J. (1989). Spurenelemente sind für das Schwein lebensnotwendig. *Schweinezucht und Schweinemast - Zeitschrift für Schweineproduktion* - 37, 336-339.
- Pallauf, J. (1991). Effizienz der Mineralstoffverwertung in der Tierernährung. In: *Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (eds). Proc. 103 VDLUFA - Kongress, Ulm, Germany* 33, 25-40
- Pan, C., Zhao, Y., Liao, S. F., Chen, F., Qin, S., Wu, X., & Huang, K. (2011). Effect of selenium-enriched probiotics on laying performance, egg quality, egg selenium content, and egg glutathione peroxidase activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(21), 11424-11431.
- Pantopoulos, K., Porwal, S.K., Tartakoff, A. & Devireddy, L. (2012). Mechanisms of mammalian iron homeostasis. *Biochemistry*, 51(29), 5705-5724.
- Park, S. W., Namkung, H., Ahn, H. J., & Paik, I. K. (2004). Production of iron enriched eggs of laying hens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 17(12), 1725-1728.
- Parsons M. J, Ku P. K, Ullrey D. E, Stowe H. D, Whetter P. A. & Miller E.R, (1985). Effects of riboflavin supplementation and selenium source on selenium metabolism in the young pig. *Journal of Animal Science*, 60, 451-461.

- Paton, N. D., Cantor, A. H., Pescatore, A. J., & Ford, M. J. (2000). Effect of dietary selenium source and storage on internal quality and shell strength of eggs. *Journal of Poultry Science*, 79(1), 116.
- Patterson, J. K., Lei, X. G., & Miller, D. D. (2008). The pig as an experimental model for elucidating the mechanisms governing dietary influence on mineral absorption. *Experimental Biology and Medicine*, 233(6), 651–664.
- Paton, N. D. (2002). Organic selenium in the nutrition of laying hens: Effects on egg selenium content, egg quality and transfer to developing chick embryo.
- Patton, R. (1997). Efficacy of chelated minerals: review of literature. In *Proceedings of the 2nd Conference of the Nutrition Advisory Group of the American Zoo and Aquarium Association on Zoo and Wildlife Nutrition*, 16-19.
- Paulicks, B. R., Ingenkamp, H., & Eder, K. (2011). Bioavailability of two organic forms of zinc in comparison to zinc sulphate for weaning pigs fed a diet composed mainly of wheat, barley and soybean meal. *Archives of Animal Nutrition*, 65(4), 320-328.
- Payne, R. L., Bidner, T. D., Fakler, T. M., & Southern, L. L. (2006). Growth and intestinal morphology of pigs from sows fed two zinc sources during gestation and lactation. *Journal of Animal Science*, 84(8), 2141-2149.
- Payne, R. L., Lavergne, T. K., & Southern, L. L. (2005). Effect of inorganic versus organic selenium on hen production and egg selenium concentration. *Journal of Poultry Science*, 84(2), 232-237.
- Payne, R. L., & Southern, L. L. (2005). Comparison of inorganic and organic selenium sources for broilers. *Journal of Poultry Science*, 84(6), 898-902.
- Pehrson, B., Ortman, K., Madjid, N., & Trafikowska, U. (1999). The influence of dietary selenium as selenium yeast or sodium selenite on the concentration of selenium in the milk of Suckler cows and on the selenium status of their calves. *Journal of Animal Science*, 77(12), 3371-3376.
- Pérez, V. G., Waguespack, A. M., Bidner, T. D., Southern, L. L., Fakler, T. M., Ward, T. L., & Pettigrew, J. E. (2011). Additivity of effects from dietary copper and zinc on growth performance and fecal microbiota of pigs after weaning. *Journal of Animal Science*, 89(2), 414-425.
- Perić, L., Milošević, N., Žikić, D., Kanački, Z., Džinić, N., Nollet, L., & Spring, P. (2009). Effect of selenium sources on performance and meat characteristics of broiler chickens. *The Journal of Applied Poultry Research*, 18(3), 403-409.
- Pesti, G. M., & Bakalli, R. I. (1996). Studies on the feeding of cupric sulfate pentahydrate and cupric citrate to broiler chickens. *Journal of Poultry Science*, 75(9), 1086-1091.
- Pesti, G. M., Bakalli, R. I., & Menten, J. F. (1998). Studies on the feeding of cupric sulfate pentahydrate, cupric citrate, and copper oxychloride to broiler chickens. *Journal of Poultry Science*, 77(3), 445-448.
- Petersen, U. (2002). Futtermittelrechtliche Vorschriften über Spurenelemente und unerwünschte Stoffe. *Fütterungsstrategien zur Verminderung von Spurenelementen/Schwermetallen in Wirtschaftsdüngern*. *KTBL-Schrift*, 410, 36-41.



- Phillippo, M., Humphries, W.R., Atkinson, T., Henderson, G.D. & Garthwaite, P.H. (1987). The effect of dietary molybdenum and iron on copper status, puberty, fertility anoestrous cycles in cattle. *Journal of Agriculture Science*, 109, 321.
- Pierce, J., Driver, J., Harter-Dennis, J., & Henman, D. (2001). Reducing phosphorus and copper excretion from poultry and swine using phytase and organic minerals. *Proceedings of the International Symposium (GB Havenstein, eds). NC State University, Raleigh, NC.*
- Pimentel, J. L., Cook, M. E., & Greger, J. L. (1991). Research note: Bioavailability of zinc-methionine for chicks. *Journal of Poultry Science*, 70(7), 1637-1639.
- Popovic, Z. (2004). Performance and Udder Health Status of Dairy Cows influenced by organically bound Zinc and Chromium. *Proceedings of the 20th Annual Symposium on Nutritional Biotechnology in the Feed and Fodd Industries, Lexington, KY, USA.*
- Poulsen, H.D., Danielsen, V., Nielsen, T.K. & Wolstrup, C. (1989). Excessive dietary selenium to primiparous sows and their offspring. I. Influence on reproduction and growth. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 30(4), 371-378.
- Prasad, A. S. (1966). Metabolism of zinc and its deficiency in human subjects. *Zinc Metabolism*, 250-302.
- Pringle, P. (1942). Occupational dermatitis following exposure to inorganic selenium compounds. *British Journal of Dermatology*, 54(2), 54-58.
- Pritchard, G.C., Lewis, G., Wells, G.A. & Stopforth, A. (1985). Zinc toxicity, copper deficiency and anaemia in swill-fed pigs. *Veterinary Record*, 117(21), 545-548.
- Proplanta. (2016a). *Verdauungsorgane eines Rindes.*
- Proplanta. (2016b). *Verdauungsorgane eines Schweins.*
- Quesnel, H., Brossard, L., Valancogne, A., & Quiniou, N. (2008). Influence of some sow characteristics on within-litter variation of piglet birth weight. *Animal*, 2(12), 1842-1849.
- Rabiansky, P. a, McDowell, L. R., Velasquez-Pereira, J., Wilkinson, N. S., Percival, S. S., Martin, F. G., & Salgado-Madriz, E. (1999). Evaluating copper lysine and copper sulfate sources for heifers. *Journal of Dairy Science*, 82(12), 2642–2650.
- Rajashree, K., Muthukumar, T. & Karthikeyan, N. (2014). Comparative study of the effects of organic selenium on hen performance and productivity of broiler breeders. *British Poultry Science*, 55(3), 367-374.
- Rama Rao, S. V., Prakash, B., Raju, M. V. L. N., Panda, A. K., Poonam, S., & Murthy, O. K. (2013). Effect of supplementing organic selenium on performance, carcass traits, oxidative parameters and immune responses in commercial broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(2), 247–252.
- Ramos, J. M., Sosa, C., Ruprechter, G., Pessina, P., & Carriquiry, M. (2012). Effect of organic trace minerals supplementation during early postpartum on milk composition, and metabolic and hormonal profiles in grazing dairy heifers. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10(3), 681–689.

- Rao, S. V. R., Prakash, B., Kumari, K., Raju, M. V. L. N., & Panda, A. K. (2013). Effect of supplementing different concentrations of organic trace minerals on performance, antioxidant activity, and bone mineralization in Vanaraja chickens developed for free range farming. *Tropical Animal Health and Production*, 45(6), 1447-1451.
- Rat der Europäischen Gemeinschaft (1970): Richtlinie 70/524 EWG des Rates vom 23. November 1970 über Zusatzstoffe in der Tierernährung
- Revy, P. S., Jondreville, C., Dourmad, J. Y., Guinotte, F., Nys, Y. (2002). Bioavailability of two sources of zinc in weanling pigs. *Animal Research*, 51(4), 315-326.
- Revy, P., Jondreville, C., Dourmad, J., & Nys, Y. (2004). Effect of zinc supplemented as either an organic or an inorganic source and of microbial phytase on zinc and other minerals utilisation by weanling pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 116(1-2), 93-112.
- Richards, J., Hampton, T., Wuelling, C., Wehmeyer, M., & Dibner, J. J. (2006). Mintrex Zn and Mintrex Cu organic trace minerals improve intestinal strength and immune response to coccidiosis infection and/or vaccination in broilers. *International Poultry Science Forum, Atlanta*.
- Richards, J., & Loveday, H. D. (2004). Redefining selenium nutrition using organic selenium (Sel-Plex®): defining maximal acceptable tissue residues in beef. In *Nutritional biotechnology in the feed and food industries. Alltech's 20th Annual Symposium Nottingham University Press, Nottingham*, 211-220.
- Richter, G. (2002). Spurenelementversorgung in der Geflügelfütterung aus Sicht der Beratung. *KTBL Schrift*, 116-124.
- Richter, G. & Arnold, M. (2002). Spurenelementversorgung des Geflügels. *Mengen- und Spurenelemente 21. Workshop 2002, Jena*, 647-652.
- Rincker, M. J., Hill, G. M., Link, J. E., Meyer, A. M., & Rowntree, J. E. (2005). Effects of dietary zinc and iron supplementation on mineral excretion, body composition, and mineral status of nursery pigs. *Journal of Animal Science*, 83(12), 2762-2774.
- Rock, M. J., Kincaid, R. L., & Carstens, G. E. (2001). Effects of prenatal source and level of dietary selenium on passive immunity and thermometabolism of newborn lambs. *Small Ruminant Research*, 40(2), 129-138.
- Rojas, L. X., McDowell, L. R., Cousins, R. J., Martin, F. G., Wilkinson, N. S., Johnson, A. B., & Velasquez, J. B. (1995). Relative bioavailability of two organic and two inorganic zinc sources fed to sheep. *Journal of Animal Science*, 73(4), 1202-1207.
- Rojas, L. X., McDowell, L. R., Martin, F. G., Wilkinson, N. S., Johnson, A. B., & Njeru, C. A. (1996). Relative bioavailability of zinc methionine and two inorganic zinc sources fed to cattle. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 10(4), 205-209.
- Rossi, P., Rutz, F., Ancuti, M. A., Rech, J. L., & Zauk, N. H. F. (2007). Influence of graded levels of organic zinc on growth performance and carcass traits of broilers. *The Journal of Applied Poultry Research*, 16(2), 219-225.
- Rovira, J., Perelló, G., Martorell, I., Tous, N., Nadal, M., & Domingo, J. L. (2014). Extensive Literature Search on the bioavailability of selected trace elements in animal nutrition. Incompatibilities and interactions 1. *EFSA supporting publication Universitat Rovira i Virgili*.

- Rowen F. R. D., Wilke, W. L., & Fails, A. D. (2009). *Anatomy and physiology of farm animals*. John Wiley & Sons
- Rupić, V., Luterotti, S., Čepelak, I., Rekić, B., Grbeša, D., & Knežević, M. (2004). Calcium, phosphorus, zinc and their ratios in serum of fattening swine fed different diets in respect to zinc. *Acta Veterinaria*, 54(2-3), 175-189.
- Rytych, J. L., Elmore, M. R., Burton, M. D., Conrad, M. S., Donovan, S. M., Dilger, R. N., & Johnson, R. W. (2012). Early Life Iron Deficiency Impairs Spatial Cognition in Neonatal Piglets. *Journal of Nutrition*, 142(11), 2050-2056.
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2001). *Informationsmaterial zu Futterzusatzstoffen*, 65
- Sachs, J. V. (1860). Vegetationsversuche mit Ausschluss des Bodens über die Nährstoffe und sonstigen Ernährungsbedingungen von Mais, Bohnen, und anderen Pflanzen. *Landwirtschaftliche Versuchs-Stationen*, 2, 219-268.
- Saenmahayak, B., Bilgili, S. F., Hess, J. B., & Singh, M. (2010). Live and processing performance of broiler chickens fed diets supplemented with complexed zinc. *The Journal of Applied Poultry Research*, 19(4), 334-340.
- Sales, J. (2013). Effects of pharmacological concentrations of dietary zinc oxide on growth of post-weaning pigs: a meta-analysis. *Biological Trace Element Research*, 152(3), 343-349.
- Salim, H.M., Lee, H.R., Jo, C., Lee, S.K. & Lee, B.D. (2012). Effect of dietary zinc proteinate supplementation on growth performance, and skin and meat quality of male and female broiler chicks. *British Poultry Science*, 53(1), 116-124.
- Samanta, B., Biswas, A. & Ghosh, P.R. (2011). Effects of dietary copper supplementation on production performance and plasma biochemical parameters in broiler chickens. *British Poultry Science*, 52(5), 573-577.
- Sandell, E. B. (1950). Colorimetric determination of traces of metals. *Interscience Publishers: New York*.
- Scheideler, S. E. (1991). Interaction of dietary calcium, manganese and manganese source (manganese oxide or manganese methionine chelate) on chick performance and manganese utilization. *Biological Trace Element Research*, 29, 217-223.
- Schell, T. C., & Kornegay, E. T. (1996). Zinc concentration in tissues and performance of weanling pigs fed pharmacological levels of zinc from ZnO, Zn-methionine, Zn-lysine, or ZnSO<sub>4</sub>. *Journal of Animal Science*, 74(7), 1584-1593.
- Schenkel, H. (2000). Einsatz organischer Spurenelementverbindungen zur Versorgung landwirtschaftlicher Nutztiere. *Deutsche Vilomix: Themen zur Tierernährung*, 29-45.
- Schenkel, H. (2002). Stoffwechseleffekte und Umweltwirkungen einer gezielten Spurenelementsupplementierung. *KTBL Schrift*, 31-35.
- Schenkel, H., & Breuer, J. (2002). Untersuchungen zu nicht fütterungsbedingten Spurenelementeinträgen in die Tierhaltung. *Schriftl. Mitteilung*.

- Schenkel, H., & Flachowsky, G. (2002). Zur Spurenelementversorgung landwirtschaftlicher Nutztiere. *Krafftutter/ Feed Magazine*, 9(2), 318-329.
- Schenkel, H., & Flachowsky, G. (2000). Zur Diskussion um Höchstwerte für Spurenelemente aus Sicht der Tierernährung. *Mengen-und Spurenelemente*, 20, 1018-1033.
- Schenkel, H., & Flachowsky, G. (1999): Bewertung zulässiger Spurenelementhöchstgehalte aus der Sicht der Tierernährung. *Kreisläufe erwünschter und unerwünschter Stoffe - ihre Bedeutung in der Nahrungskette*. 483, 67-95.
- Schrauzer, G. N. (1984). The discovery of the essential trace elements: An outline of the history of biological trace element research. *Biochemistry of the Essential Ultratrace Elements*. 17-31.
- Seo, S. H., Lee, H. K., Ahn, H. J., & Paik, I. K. (2008). The Effect of Dietary Supplementation of Fe-methionine Chelate and FeSO<sub>4</sub> on the Iron Content of Broiler Meat. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 21(1), 103.
- Shakweer, I. M. E. (2010). Effect of two different sources of zinc supplementation on productive performance of friesian dairy cows. *Egyptian Journal of Animal Production*, 47, 11–22.
- Shakweer, I. M. E., & EL-Nahas, H. M. (2005). Productive performance of suckling calves fed diets supplemented with zinc methionine. *Journal of Agriculture Science*. 30(6), 3037-3046.
- Shan, T., Wang, Y., Wang, Y., Liu, J. & Xu, Z. (2007). Effect of dietary lactoferrin on the immune functions and serum iron level of weanling piglets. *Journal of Animal Science*, 85(9), 2140-2146.
- Sharma, M.C. & Joshi, C. (2005). Therapeutic efficacy of zinc sulphate used in clustered model treatment in alleviating zinc deficiency in cattle and its effect on hormones, vitamins and production parameters. *Veterinarian Research Communication*, 29(7), 609-628.
- Shipp, T. E., Funderburke, D. W. & Funderburke, C. L. (2008). Effects of feed sodium selenite vs selenium yeast as the selenium sources for sows during late gestation and lactation. *Journal of Animal Science*, 87(2), 261.
- Siciliano-Jones, J. L., Socha, M. T., Tomlinson, D. J., & DeFrain, J. M. (2008). Effect of Trace Mineral Source on Lactation Performance, Claw Integrity, and Fertility of Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 91(5), 1985–1995.
- Siebert, F. (2011). Vergleich der Bioverfügbarkeit verschiedener Zinkverbindungen beim Absetzerferkel.
- Sigel, H. (2000). Manganese and Its Role in Biological Processes. *Metal Ions in Biological Systems*, 37, 407-428.
- Singh, A.K., Ghosh, T.K. & Haldar, S. (2015). Effects of methionine chelate- or yeast proteinate-based supplement of copper, iron, manganese and zinc on broiler growth performance, their distribution in the tibia and excretion into the environment. *Biological Trace Element Research*, 164(2), 253-260.
- Sjollema, B. (1933). Kupfermangel als Ursache von Krankheiten bei Pflanzen und Tieren. *Biochemische Zeitschrift*, 267, 151-156.

- Slavik, P., Illek, J., Brix, M., Hlavicova, J., Rajmon, R., & Jilek, F. (2008). Influence of organic versus inorganic dietary selenium supplementation on the concentration of selenium in colostrum, milk and blood of beef cows. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 50, 43.
- Słowińska, M., Jankowski, J., Dietrich, G. J., Karol, H., Liszewska, E., Glogowski, J., & Ciereszko, A. (2011). Effect of organic and inorganic forms of selenium in diets on turkey semen quality. *Journal of Poultry Science*, 90(1), 181-190.
- Smith, G. W., & Foster, D. M. (2007). Short communication: Absorption of protein and immunoglobulin g in calves fed a colostrum replacer. *Journal of Dairy Science*, 90(6), 2905-2908.
- Smith, M. O., Sherman, I. L., Miller, L. C., Robbins, K. R., & Halley, J. T. (1995). Relative biological availability of manganese from manganese proteinate, manganese sulfate, and manganese monoxide in broilers reared at elevated temperatures. *Journal of Poultry Science*, 74(4), 702-707.
- Smith, S. E., & Lakson, E. (1946). Zinc toxicity hi rats. Antagonistic effects of copper and liver. *Journal of Biological Chemistry*, 163, 29-38.
- Sobhanirad, S., & Naserian, A. A. (2012). Effects of high dietary zinc concentration and zinc sources on hematology and biochemistry of blood serum in Holstein dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 177(3-4), 242–246.
- Sobowski, M. (2013). *Kupfersulfat*. Wikimedia Commons.
- Socha, M., Tomlinson, D., & Ward, T. (2006). Meeting the Mineral Needs of Dairy Cows. *Advances in Dairy Technology*, 18(1), 213–234.
- Song, Z.H., Xiao, K., Ke, Y.L., Jiao le, F. & Hu, C.H. (2015). Zinc oxide influences mitogen-activated protein kinase and TGF-beta1 signaling pathways, and enhances intestinal barrier integrity in weaned pigs. *Innate Immunity*, 21(4), 341-348.
- Spears, J. W. (1996). Organic trace minerals in ruminant nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, 58, 151–163.
- Spears, J. W., Grimes, J., Lloyd, K., & Ward, T. L. (2003). Efficacy of a novel organic selenium compound (zinc-l-selenomethionine, Availa Se) in broiler chicks. *Proceedings of the 1st Latin American Congress of Animal Nutrition, Cancun, Mexico*. 197-198.
- Spears, J. W., & Kegley, E. B. (1994). Influence of zinc proteinate on performance and carcass characteristics of steers. *Journal of Animal Science*, 72(2), 4.
- Spears, J. W., & Kegley, E. B. (2002). Effect of zinc source (zinc oxide vs zinc proteinate) and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. *Journal of Animal Science*, 80(10), 2747-2752.
- Spears, J. W., Schlegel, P., Seal, M. C., & Lloyd, K. E. (2004). Bioavailability of zinc from zinc sulfate and different organic zinc sources and their effects on ruminal volatile fatty acid proportions. *Livestock Production Science*, 90(2-3), 211–217.
- Speight, S. M., Estienne, M. J., Harper, A. F., Barb, C. R., & Pringle, T. D. (2012). Effects of organic selenium supplementation on growth performance, carcass measurements, tissue selenium concentrations, characteristics of reproductive organs, and testis gene expression profiles in boars. *Journal of Animal Science*, 90(2), 533-542.

- Spitzer, W. (1897). Die Bedeutung gewisser Nucleoproteide für die oxydative Leistung der Zelle. *Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere*, 67(11-12), 615-656.
- Stahl, J.L., Cook, M.E. & Sunde, M.L. (1986). Zinc supplementation: its effect on egg production, feed conversion, fertility, and hatchability. *Journal of Poultry Science*, 65(11), 2104-2109.
- Stanton, T. L., Kimberling, C. V., Johnson, A. B., Albin, R., & Brown, M. A. (1998). Effect of Pre-and Post-Shipment Trace Mineral Type and Level on Subsequent Feedyard Performance and Immune Function. *The Professional Animal Scientist*, 14(4), 225-230.
- Stanton, T. L., Whittier, J. C., Geary, T. W., Kimberling, C. V., & Johnson, A. B. (2000). Effects of trace mineral supplementation on cow-calf performance, reproduction, and immune function. *The Professional Animal Scientist*, 16(2), 121-127.
- Steinbrenner, H., Speckmann, B. & Klotz, L.O. (2016). Selenoproteins: Antioxidant selenoenzymes and beyond. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 595, 113-119.
- Steinhöfel, O., Fröhlich, B., Zentek, J., Kriesten, A., & Männer, K. (2013). Spurenelementversorgung bei Milchrindern. *Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie*. Heft 14/2013
- Suomi, K., & Alaviuhkola, T. (1992). Responses to organic and inorganic selenium in the performance and blood selenium content of growing pigs. *Agricultural and Food Science*, 1(2), 211-214.
- Surai, P. F., & Fisinin, V. I. (2015). Selenium in Pig Nutrition and reproduction: Boars and semen quality—A Review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(5), 730.
- Surai, P., & Dvorska, J. (2001). Is organic selenium better for animals than inorganic sources?. *Feed Mix*, 9(4/5), 8-10.
- Suttle, N. F., & Field, A. C. (1983). Effects of dietary supplements of thiomolybdates on copper and molybdenum metabolism in sheep. *Journal of Comparative Pathology*, 93(3), 379-389.
- Svoboda, M., Ficek, R., & Drábek, J. (2008). Efficacy of organic selenium from Se-enriched yeast on selenium transfer from sows to piglets. *Acta Veterinaria Brunensis*, 77(4), 515–521.
- Swinkels, J. W., Kornegay, E. T., & Verstegen, M. W. (1994). Biology of zinc and biological value of dietary organic zinc complexes and chelates. *Nutrition Research Reviews*, 7, 129–149.
- Teng, H. H., Dove, P. M., Orme, C. A., & De Yoreo, J. J. (1998). Thermodynamics of calcite growth: baseline for understanding biomineral formation. *Science*, 282(5389), 724-727.
- Theil, E. C., & Raymond, K. N. (1994). Transition-metal storage, transport, and biomineralization. *Bioinorganic chemistry*, 1-35.
- Thering, B. J., Ehrhardt, R. M., Vázquez-Añón, M., Richards, J. D., & Overton, T. R. (2007). Effects of trace mineral sources on bioavailability and function in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 90, 359-359.

- Thomas P. Colville, J. M. B. (2007). *Clinical Anatomy and Physiology for Veterinary Technicians* (2. Aufl.).
- Toni, F., Grigoletto, L., Rapp, C. J., Socha, M. T., & Tomlinson, D. J. (2007). Effect of replacing dietary inorganic forms of zinc, manganese, and copper with complexed sources on lactation and reproductive performance of dairy cows. *The Professional Animal Scientist*, 23(4), 409-416.
- Torki, M., Akbari, M. & Kaviani, K. (2015). Single and combined effects of zinc and cinnamon essential oil in diet on productive performance, egg quality traits, and blood parameters of laying hens reared under cold stress condition. *International Journal of Biometeorology*, 59(9), 1169-1177.
- Trindade Neto, M.A., Pacheco, B.H., Albuquerque, R., Schammas, E.A. & Rodriguez-Lecompte, J.C. (2011). Dietary effects of chelated zinc supplementation and lysine levels in ISA Brown laying hens on early and late performance, and egg quality. *Journal of Poultry Science*, 90(12), 2837-2844.
- Tummaruk, P., Tantilertcharoen, R., Pondeenana, S., Buabucha, P., & Virakul, P. (2003). The effect of an iron glycine chelate supplement on the haemoglobin and the haematocrit values and reproductive traits of sows. *The Thai Journal of Veterinary Medicine*, 33(4), 45-53.
- Uchida, K., Mandebvu, P., Ballard, C. S., Sniffen, C. J., & Carter, M. P. (2001). Effect of feeding a combination of zinc, manganese and copper amino acid complexes, and cobalt glucoheptonate on performance of early lactation high producing dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 93(3-4), 193-203.
- Ullrey, D.E. (1992). Basis for regulation of selenium supplements in animal diets. *Journal of Animal Science*, 70(12), 3922-3927.
- Underwood, E. J., & Suttle, N. F. (1999). Sodium and chlorine. *The Mineral Nutrition of Livestock*. 3rd ed. CABI Publishing, Oxon, 185-212.
- Van Heugten, E., & Coffey, M. T. (1992). Efficacy of a copper-lysine chelate as growth promotant in weanling swine. *Journal of Animal Science*, 70(1), 18.
- Vázquez-Añón, M., Peters, T., Hampton, T., McGrath, J., & Huedepohl, B. (2007). Case study: Supplementation of chelated forms of zinc, copper, and manganese to feedlot cattle with access to drinking water with high sulfate concentration. *The Professional Animal Scientist*, 23(1), 58-63.
- Vendeland, S. C., Butler, J. A., & Whanger, P. D. (1992). Intestinal absorption of selenite, selenate, and selenomethionine in the rat. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 3(7), 359-365.
- Vendeland, S. C., Deagen, J. T., & Whanger, P. D. (1992). Uptake of selenotrisulfides of glutathione and cysteine by brush border membranes from rat intestines. *Journal of Inorganic Biochemistry*, 47(2), 131-140.
- Veum, T. L., Carlson, M. S., Wu, C. W., Bollinger, D. W., & Ellersieck, M. R. (2004). Copper proteinate in weanling pig diets for enhancing growth performance and reducing fecal copper excretion compared with copper sulfate. *Journal of Animal Science*, 82(4), 1062-1070.

- Veum, T.L., Ledoux, D.R., Shannon, M.C. & Raboy, V. (2009). Effect of graded levels of iron, zinc, and copper supplementation in diets with low-phytate or normal barley on growth performance, bone characteristics, hematocrit volume, and zinc and copper balance of young swine<sup>1</sup>. *Journal of Animal Science*, 87(8), 2625-2634.
- Victoria Aspinall, M. C. (2013). *Veterinary Anatomy and Physiology* (Bd. 2).
- Von Lippmann, E. O. (1954). Entstehung und Ausbreitung der Alchemie I (1919), II (1931).
- Walk, C.L., Srinongkote, S. & Wilcock, P. (2013). Influence of a microbial phytase and zinc oxide on young pig growth performance and serum minerals. *Journal of Animal Science*, 91(1), 286-291.
- Walk, C.L., Wilcock, P. & Magowan, E. (2015). Evaluation of the effects of pharmacological zinc oxide and phosphorus source on weaned piglet growth performance, plasma minerals and mineral digestibility. *Animal*, 9(7), 1145-1152.
- Walsh, A. (1955). The application of atomic absorption spectra to chemical analysis. *Spectrochimica Acta*, 7, 108-117.
- Wang, F., Li, S., Xin, J., Wang, Y., Cao, Z., Guo, F., & Wang, Y. (2012). Effects of methionine hydroxy copper supplementation on lactation performance, nutrient digestibility, and blood biochemical parameters in lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 95(10), 5813–5820.
- Wang, F., Wang, L., Li, S., Wang, Y., Jin, X., & Cao, H. (2011). Evaluating methionine hydroxyl manganese and manganese sulfate sources for dairy cows during peak-and mid-lactation stage. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 6(10), 978–991.
- Wang, J., Wang, Z.Y., Wang, Z.J., Liu, R., Liu, S.Q. & Wang, L. (2015). Effects of manganese deficiency on chondrocyte development in tibia growth plate of Arbor Acres chicks. *Journal of Bone and Mineral Metabolism*, 33(1), 23-29.
- Wang, J. H., Wu, C. C., & Feng, J. (2011). Effect of dietary antibacterial peptide and zinc-methionine on performance and serum biochemical parameters in piglets. *Czech Journal of Animal Science*, 56(1), 30-36.
- Wang, J.P., Lee, J.H., Jang, H.D., Yan, L., Cho, J.H. & Kim, I.H. (2011). Effects of delta-aminolevulinic acid and vitamin C supplementation on iron status, production performance, blood characteristics and egg quality of laying hens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 95(4), 417-423.
- Wang, Y., Tang, J. W., Ma, W. Q., & Feng, J. (2010). Dietary zinc glycine chelate on growth performance, tissue mineral concentrations, and serum enzyme activity in weanling piglets. *Biological Trace Element Research*, 133(3), 325-334.
- Wang, Y. B., & Xu, B. H. (2007). Effect of different selenium source (sodium selenite and selenium yeast) on broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 144(3), 306-314.
- Wang, Z. G., Pan, X. J., Peng, Z. Q., Zhao, R. Q., & Zhou, G. H. (2009). Methionine and selenium yeast supplementation of the maternal diets affects color, water-holding capacity, and oxidative stability of their male offspring meat at the early stage. *Journal of Poultry science*, 88(5), 1096-1101.



- Ward, J.D., Gengelbach, G.P. & Spears, J.W. (1997). The effects of copper deficiency with or without high dietary iron or molybdenum on immune function of cattle. *Journal of Animal Science*, 75(5), 1400-1408.
- Ward, J. D., Spears, J. W., & Kegley, E. B. (1993). Effect of copper level and source (copper lysine vs copper sulfate) on copper status, performance, and immune response in growing steers fed diets with or without supplemental molybdenum and sulfur. *Journal of Animal Science*, 71(10), 2748–2755.
- Ward, J. D., Spears, J. W., & Kegley, E. B. (1996). Bioavailability of Copper Proteinates and Copper Carbonate Relative to Copper Sulfate in Cattle. *Journal of Dairy Science*, 79(1), 127-132.
- Ward, T. L., Asche, G. L., Louis, G. F., & Pollmann, D. S. (1996). Zinc-methionine improves growth performance of starter pigs. *Journal of Animal Science*, 74(1), 182.
- Wedekind, K. J., Hortin, A. E., & Baker, D. H. (1992). Methodology for assessing zinc bioavailability: efficacy estimates for zinc-methionine, zinc sulfate, and zinc oxide. *Journal of Animal Science*, 70, 178-187
- Wedekind, K. J., Titgemeyer, E. C., Twardock, A. R., & Baker, D. H. (1991). Phosphorus, but not calcium, affects manganese absorption and turnover in chicks. *The Journal of Nutrition*, 121(11), 1776–1786.
- Wei, K. Q., Xu, Z. R., Luo, X. G., Zeng, L. L., Chen, W. R., & Timothy, M. F. (2005). Effects of iron from an amino acid complex on the iron status of neonatal and suckling piglets. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 18(10), 1485.
- Weiss, W. P., Pinos-Rodríguez, J. M., & Socha, M. T. (2010). Effects of feeding supplemental organic iron to late gestation and early lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93(5), 2153–2160.
- Weiss, W. P., & Socha, M. T. (2005). Dietary manganese for dry and lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 88(7), 2517-2523.
- Wendt, R. H., & Fassel, V. A. (1965). Induction-Coupled Plasma Spectrometric Excitation Source. *Analytical Chemistry*, 37(7), 920-922.
- Whitaker, D. A., Eayres, H. F., Aitchison, K., & Kelly, J. M. (1997). No effect of a dietary zinc proteinate on clinical mastitis, infection rate, recovery rate and somatic cell count in dairy cows. *The Veterinary Journal*, 153(2), 197-203.
- Windisch, W. (2002). Organische contra anorganische Zink-und Kupferverbindungen in der Schweinefütterung. *KTBL Schrift*, 89-97.
- Windisch, W., & Roth, F. X. (2002). Leistungsfördernde Wirksamkeit überhöhter Kupfermengen im Ferkelfutter: Einfluss der Menge und chemischen Verbindung des Kupfers sowie der Gegenwart anderer leistungsfördernder Futterzusätze. *KTBL Schrift*, 144-148.
- Windisch, W., & Roth, F. X. (2000). Tier-und Umwelteffekte exzessiver Dosierungen von Zink und Kupfer in der Schweinefütterung. *Rodehutscord, M. et al.(Hrsg.)*, 6, 84-89.
- Wolfram, S., Anliker, E., & Scharrer, E. (1986). Uptake of selenate and selenite by isolated intestinal brush border membrane vesicles from pig, sheep, and rat. *Biological Trace Element Research*, 10(4), 293-306.

- Wolfram, S., Ardüser, F., & Scharrer, E. (1985). In vivo intestinal absorption of selenate and selenite by rats. *The Journal of Nutrition*, 115(4), 454-459.
- Wolfram, S., Berger, B., Grenacher, B., & Scharrer, E. (1989). Transport of selenoamino acids and their sulfur analogues across the intestinal brush border membrane of pigs. *The Journal of Nutrition*, 119(5), 706-712.
- Wolfram, S., Grenacher, B., & Scharrer, E. (1988). Transport of selenate and sulphate across the intestinal brush-border membrane of pig jejunum by two common mechanisms. *Quarterly Journal of Experimental Physiology*, 73(1), 103-111.
- Wolfram, S. (2000). Metabolism of nutritionally relevant inorganic and organic forms of selenium. *Übersichten zur Tierernährung*, 28(1), 65-94.
- Wrightt, C. L., & Spears, J. W. (2004). Effect of zinc source and dietary level on zinc metabolism in Holstein calves. *Journal of Dairy Science*, 87(4), 1085–1091.
- Wu, C., Tsunoda, A., Bollinger, D. W., Carlson, M. S., Veum, T. L. & Tibbetts, G. W. (2001). Reducing pharmacological levels of copper and zinc in nursery pig diets: response to zinc and copper proteinates. *Biotechnology in the Feed Industry: Proceedings of Alltech's 17th Annual Symposium*, 285-295.
- Xia, M.S., Hu, C.H. & Xu, Z.R. (2004). Effects of copper-bearing montmorillonite on growth performance, digestive enzyme activities, and intestinal microflora and morphology of male broilers. *Journal of Poultry Science*, 83(11), 1868-1875.
- Xiao, J. F., Wu, S. G., Zhang, H. J., Yue, H. Y., Wang, J., Ji, F., & Qi, G. H. (2015). Bioefficacy comparison of organic manganese with inorganic manganese for eggshell quality in Hy-Line Brown laying hens. *Journal of Poultry Science*, 94(8), 1871-1878.
- Xiao, J.F., Zhang, Y.N., Wu, S.G., Zhang, H.J., Yue, H.Y. & Qi, G.H. (2014). Manganese supplementation enhances the synthesis of glycosaminoglycan in eggshell membrane: a strategy to improve eggshell quality in laying hens. *Journal of Poultry Science*, 93(2), 380-388.
- Xie, J., Tian, C., Zhu, Y., Zhang, L., Lu, L. & Luo, X. (2014). Effects of inorganic and organic manganese supplementation on gonadotropin-releasing hormone-I and follicle-stimulating hormone expression and reproductive performance of broiler breeder hens. *Journal of Poultry Science*, 93(4), 959-969.
- Xu, S., Lee, S.H., Lillehoj, H.S., Hong, Y.H. & Bravo, D. (2015). Effects of dietary selenium on host response to necrotic enteritis in young broilers. *Research in Veterinary Science*, 98, 66-73.
- Xu, T., Gao, X. & Liu, G. (2016). The Antagonistic Effect of Selenium on Lead Toxicity Is Related to the Ion Profile in Chicken Liver. *Biological Trace Element Research*, 169(2), 365-373.
- Yan, F., & Waldroup, P. W. (2006). Evaluation of Mintrex® manganese as a source of manganese for young broilers. *International Journal of Poultry Science*, 5, 708-713.
- Yang, W., Wang, J., Liu, L., Zhu, X., Wang, X., Liu, Z., & Liu, G. (2011). Effect of high dietary copper on somatostatin and growth hormone-releasing hormone levels in the hypothalami of growing pigs. *Biological trace element research*, 143(2), 893-900.

- Yang, W., Zhao, C., Zhang, C. & Yang, L. (2016). High Dietary Copper Increases Catecholamine Concentrations in the Hypothalamus and Midbrains of Growing Pigs. *Biological Trace Element Research*, 170(1), 115-118.
- Yang, X., Zhong, L., An, X., Zhang, N., Zhang, L., Han, J., & Sun, Y. (2012). Effects of diets supplemented with zinc and manganese on performance and related parameters in laying hens. *Animal Science Journal*, 83(6), 474-481.
- Yang, Z., Liu, C., Zheng, W., Teng, X. & Li, S. (2016). The Functions of Antioxidants and Heat Shock Proteins Are Altered in the Immune Organs of Selenium-Deficient Broiler Chickens. *Biological Trace Element Research*, 169(2), 341-351.
- Yasuda, K., Roneker, K.R., Miller, D.D., Welch, R.M. & Lei, X.G. (2006). Supplemental dietary inulin affects the bioavailability of iron in corn and soybean meal to young pigs. *Journal of Nutrition*, 136(12), 3033-3038.
- Yattoo, M. I., Saxena, A., Deepa, P. M., Habeab, B. P., Devi, S., Jatav, R. S., & Dimri, U. (2013). Role of trace elements in animals: A review. *Veterinary World*, 6(12), 963-967.
- Yoon, I., & McMillan, E. (2006). Comparative effects of organic and inorganic selenium on selenium transfer from sows to nursing pigs. *Journal of Animal Science*, 84(7), 1729-1733.
- Yoon, I., Werner, T. M., & Butler, J. M. (2007). Effect of source and concentration of selenium on growth performance and selenium retention in broiler chickens. *Journal of Poultry Science*, 86(4), 727-730.
- Yost, G. P., Arthington, J. D., McDowell, L. R., Martin, F. G., Wilkinson, N. S., & Swenson, C. K. (2002). Effect of copper source and level on the rate and extent of copper repletion in Holstein heifers. *Journal of Dairy Science*, 85(12), 3297-3303.
- Yousaf, M. S., Rahman, Z. U., Sandhu, M. A., Bukhari, S. A., & Yousaf, A. (2009). Comparison of the fast-induced and high dietary zinc-induced molting: Trace elements dynamic in serum and eggs at different production stages in hens (*Gallus domesticus*). *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 93(1), 35-43.
- Yu, B., Huang, W. J., & Chiou, P. W. S. (2000). Bioavailability of iron from amino acid complex in weanling pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 86(1), 39-52.
- Yu, Y., Lu, L., Wang, R. L., Xi, L., Luo, X. G., & Liu, B. (2010). Effects of zinc source and phytate on zinc absorption by in situ ligated intestinal loops of broilers. *Journal of Poultry Science*, 89(10), 2157-2165.
- Yuan, D., Zhan, X., & Wang, Y. (2011). Effects of selenium sources and levels on reproductive performance and selenium retention in broiler breeder, egg, developing embryo, and 1-day-old chick. *Biological Trace Element Research*, 144(1-3), 705-714.
- Zacharias, B., Pelletier, W., & Drochner, W. (2007). Availability of inorganic and organic bound copper and zinc fed at physiological levels to fattening pigs. *Zemės ūkio Mokslai*, 14, 45-50.
- Zhan, X., Qie, Y., Wang, M., Li, X., & Zhao, R. (2011). Selenomethionine: An effective selenium source for sow to improve se distribution, antioxidant status, and growth performance of pig offspring. *Biological Trace Element Research*, 142(3), 481-491.

- Zhan, X., Wang, M., Zhao, R., Li, W., & Xu, Z. (2007). Effects of different selenium source on selenium distribution, loin quality and antioxidant status in finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 132(3), 202-211.
- Zhang, B., Shao, Y., Liu, D., Yin, P., Guo, Y. & Yuan, J. (2012). Zinc prevents Salmonella enterica serovar Typhimurium-induced loss of intestinal mucosal barrier function in broiler chickens. *Avian Pathology*, 41(4), 361-367.
- Zhang, H. B., Wang, M. S., Wang, Z. S., Zhou, A. M., Zhang, X. M., Dong, X. W., & Peng, Q. H. (2014). Supplementation dietary zinc levels on growth performance, carcass traits, and intramuscular fat deposition in weaned piglets. *Biological Trace Element Research*, 161(1), 69-77.
- Zhao, J., Shirley, R. B., Vazquez-Anon, M., Dibner, J. J., Richards, J. D., Fisher, P. & Giesen, A. F. (2010). Effects of chelated trace minerals on growth performance, breast meat yield, and footpad health in commercial meat broilers. *The Journal of Applied Poultry Research*, 19(4), 365-372.
- Zhao, P., Upadhaya, S. D., Li, J., & Kim, I. (2015). Comparison effects of dietary iron dextran and bacterial-iron supplementation on growth performance, fecal microbial flora, and blood profiles in sows and their litters. *Animal Science Journal*, 86(11), 937-942.
- Zhao, X. J., Li, Z. P., Wang, J. H., Xing, X. M., Wang, Z. Y., Wang, L., & Wang, Z. H. (2015). Effects of chelated Zn/Cu/Mn on redox status, immune responses and hoof health in lactating Holstein cows. *Journal of Veterinary Science*, 16(4), 439-446.
- Zhou, W., Kornegay, E. T., van Laar, H., Swinkels, J. W., Wong, E. A., & Lindemann, M. D. (1994). The role of feed consumption and feed efficiency in copper-stimulated growth. *Journal of Animal Science*, 72(9), 2385–2394.
- Zhu, C., Lv, H., Chen, Z., Wang, L., Wu, X., Chen, Z., & Jiang, Z. (2017). Dietary zinc oxide modulates antioxidant capacity, small intestine development, and jejunal gene expression in weaned piglets. *Biological Trace Element Research*, 175(2), 331-338.
- Zhu, Y. W., Xie, J. J., Li, W. X., Lu, L., Zhang, L. Y., Ji, C., & Luo, X. G. (2015). Effects of environmental temperature and dietary manganese on egg production performance, egg quality, and some plasma biochemical traits of broiler breeders. *Journal of Animal Science*, 93(7), 3431-3440.
- Zumkley, H., & Kisters, K. (1990). *Spurenelemente: Geschichte, Grundlagen, Physiologie, Klinik*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft
- Zust, J., Hrovatin, B., & Simundic, B. (1996). Assessment of selenium and vitamin E deficiencies in dairy herds and clinical disease in calves. *The Veterinary Record*, 139(16), 391.

## **Danksagung**

Mein besonderer Dank gilt zunächst meinem Doktorvater Prof. Dr. Männer der meine Arbeit stets mit viel Verständnis unterstützt hat. Für die inhaltliche Ausrichtung und die thematische Eingrenzung sei ihm an dieser Stelle gedankt. Durch seine fachlichen Hinweise und sein professionelles Lektorat hat Herr Prof. Dr. Männer wesentlich zum erfolgreichen Abschluss der Arbeit beigetragen.

Für konstruktive Anregungen danke ich ebenso Prof. Dr. Staufenbiel, der meine Doktorarbeit als zweiter Gutachter betreut hat, wie auch Prof. Dr. Amasheh, der als dritter Gutachter mir gleichermaßen wertvolle Rückmeldungen zu meiner Doktorarbeit geliefert hat.

Mein besonderer Dank gilt schließlich neben vielen Freunden meinen Eltern , die meine Arbeit mit großem Engagement unterstützt haben. Der größte Dank gebührt Jessica, ohne deren unermüdliche Unterstützung die vorliegende Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

### **Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt habe. Ich versichere, dass ich ausschließlich die angegebenen Quellen und Hilfen in Anspruch genommen habe.

Berlin, den 29.05.2019

Stefan Stuchlich











9 783863 879815  
**mbv**berlin | mensch und buch verlag

49,90 Euro | ISBN: 978-3-86387-981-5