

*) Prof. Dr. Josef Pallauf, Institut für Tierernährung der Justus-Liebig-Universität,
Senckenbergstr. 5, D-6300 GIESSEN

weißträger eingesetzt werden, enthalten sind. Sie müssen den Rationen deshalb häufig gezielt zugesetzt werden. Völlig anders ist die Situation bei Kalium, das in pflanzlichen Futtermitteln überwiegend in Konzentrationen enthalten ist, die den Bedarf der Tiere weit übersteigen.

Von den insgesamt nach heutiger Kenntnis als essentiell angesehenen 16 Spurenelementen sind Eisen, Jod, Kupfer, Mangan, Zink und Selen sowie für den Wiederkäuer auch noch Kobalt von besonderer praktischer Relevanz. Soweit die nativen Gehalte nicht ausreichen, müssen auch diese Spurenelemente über geeignete Verbindungen supplementiert werden.

Ein vereinfachtes Schema biologischer Funktionen in Abhängigkeit von der Zufuhr eines Mineralstoffes ist in Abb. 2 dargestellt. Neben dem extremen Mangel- bzw. Überschußbereich gibt es jeweils einen element- und tierspezifisch unterschiedlich weiten Be-

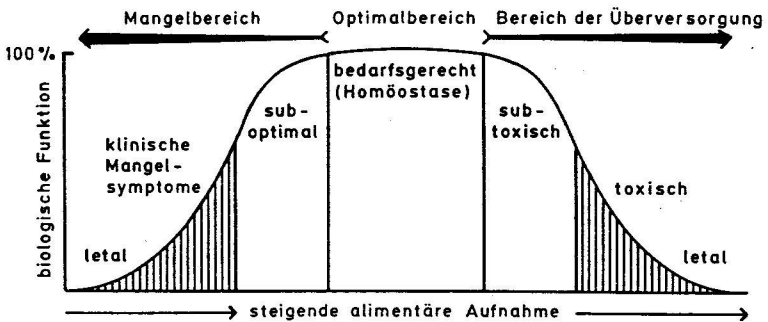


Abb. 2: Schema biologischer Funktionen in Abhängigkeit von der Zufuhr eines essentiellen Mineralstoffes

reich der Homöostase, innerhalb dessen das Tier eine schwankende Zufuhr ohne Gesundheitsschäden durch verschiedene elementspezifische Regulationsmechanismen auf der Stufe der Absorption sowie der Exkretion ausgleichen kann. Die Messung der Verwertung erfolgt dabei am besten im suboptimalen bis marginalen Bedarfsbereich, weil dort im allgemeinen die größte Empfindlichkeit der erfaßten Kriterien zu erwarten ist.

2. Methoden zur Bestimmung der Mineralstoffverwertung und Einflußfaktoren

Die Verwertung der alimentär zugeführten Mineralstoffe wird insbesondere durch die gastrointestinale Löslichkeit der einzelnen Verbindungen, durch Ligandenkonkurrenz sowie die damit zusammenhängende Absorbierbarkeit und die intermediäre Verfügbarkeit beeinflusst. Von seiten des Tieres spielen Species sowie Entwicklungsstadium und Leistungsniveau eine entscheidende Rolle für die Effizienz der Mineralstoffverwertung.

In Tab. 1 sind die wichtigsten Methoden zur Messung der Verwertung aufgeführt. Große praktische Bedeutung hat die scheinbare Verdaulichkeit als wichtiger Teilschritt der Verwertung. Genauere Aussagen ermöglicht die wahre Verdaulichkeit oder wahre Ab-

Tab. 1: Methoden zur Bestimmung der Mineralstoffverwertung

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

sorption, die die Bestimmung des endogenen Anteiles im Kot, z.B. mit der Isotopen-Verdünnungsmethode, voraussetzt. Dabei sind vor allem die minimalen, d.h. unvermeidlichen endogenen Verluste interessant, deren Quantifizierung unter anderem zur faktoriellen Bedarfsableitung erforderlich ist. Eine weitere wichtige Methode stellen Bilanzstudien dar, in denen neben den Verlusten über den Kot auch die Harnverluste erfaßt werden. Bei der vergleichenden Ganzkörperanalyse hingegen wird der Körperansatz direkt gemessen. Eine Fülle von Möglichkeiten eröffnen die sogenannten Dosis-Wirkungsversuche, die je nach Element verschiedene Vor- und Nachteile und eine sehr unterschiedliche Spezifität aufweisen.

Phosphor in der Gülle stellt bei konzentrierter Tierhaltung aufgrund seines Beitrages zur Eutrophierung von Gewässern zunehmend ein ökologisches Gefährdungspotential dar. Für die Ernährung monogastrischer Nutztiere, wie z.B. Schwein und Huhn, die in nicht unerheblichem Maße auch bodenunabhängig auf Basis von Zukaufsfutter versorgt werden, ergibt sich dabei eine besondere Problematik hinsichtlich der Verwertung des vor allem in Pflanzensamen enthaltenen Phytin-Phosphors. Abb. 3 zeigt die Strukturformel von Phytinsäure, einem Hexaphosphorsäureester des Inosits (myo-Inositol 1,2,3,4,5,6-hexakis[dihydrogen phosphat]). In Samen von Getreide, Hülsenfrüchten und Ölfrüchten liegen im Durchschnitt etwa 65 % des Phosphors als Phytin-Phosphor vor. Beim Monogaster kann dieser Phytin-P nur sehr unzureichend verwertet werden. Das zur hydrolytischen Spaltung notwendige Enzym Phytase kommt nativ in Weizen, Roggen und Triticale vor, während die Phytaseaktivitäten in Mais, Sorghum, Hafer und Soja-schrot außerordentlich niedrig sind. Beim Wiederkäuer stellen die Pansenmikroben reichlich Phytase bereit, beim Monogaster fehlt diese jedoch weitgehend. Ein weiterer ernährungsphysiologischer Nachteil des antinutritiven Faktors Phytinsäure ist die Komplexbildung von essentiellen zweiwertigen Kationen durch Phytinsäure-Chelate, wie dies im rechten Teil von Abb. 3 für Calcium und Magnesium sowie Zink und Eisen dar-

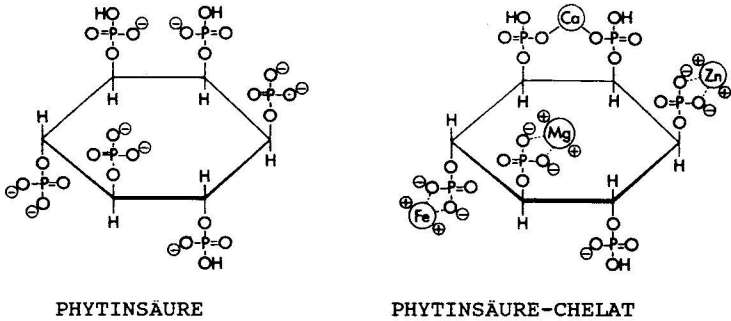


Abb. 3: **Struktur der Phytinsäure sowie eines Phytinsäure-Chelates bei neutralem pH-Wert** (nach ERDMAN 1979)

gestellt ist. Nicht zuletzt wegen dieser Problematik hat die GESELLSCHAFT für ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE (GfE) 1987 die in Tab. 2 aufgeführte "Intestinale Verfügbarkeit für Phosphor" (IVP) als Bewertungsmaßstab beim Schwein eingeführt. Die dabei unterstellte intestinale Verfügbarkeit beträgt für mineralischen Phosphor inclusive

Tab. 2: **Intestinal verfügbarer Phosphor (IVP) beim Schwein** (GfE 1987)

"Die intestinale Verfügbarkeit des P gibt denjenigen Anteil des Futterphosphors an, der vom Schwein bei knapper P-Versorgung aus dem Magen-Darmkanal höchstens absorbiert werden kann".

Berechnung:

$$\text{IVP g/kg} = 0,95x_1 + 0,8x_2 + 0,4x_3$$

x_1 = mineralischer P + tierischer P (g/kg)

x_2 = pflanzlicher Nichtphytinphosphor (g/kg)

x_3 = Phytinphosphor (g/kg)

Futter	IVP (%) des Gesamt-P
Minerale	95
FM aus Tieren	95
Getreide/Mais	55/50
Mühlennachprodukte	50
Extraktionsschrote	55
Leguminosen	55
Kartoffeln	70
Rüben	80

Phosphor aus vom Tier stammenden Futtermitteln 95 % und für pflanzlichen Nicht-phytin-Phosphor 80 %. Für Phytin-Phosphor wird pauschal eine intestinale Verfügbarkeit von 40 % unterstellt. Aus heutiger Sicht erscheint diese Pauschalierung wenig gerechtfertigt, da sie innerhalb der Getreidearten, wie die Tab. 2 zeigt, z.B. Weizen mit relativ guter Phytaseaktivität kaum von Mais differenziert, der aufgrund nahezu gänzlich fehlender Phytaseaktivität eine insgesamt nur sehr geringe P-Verfügbarkeit aufweist. Das Modell IVP ist wissenschaftlich interessant und ausbaufähig, die Umsetzung in die Fütterungspraxis ist derzeit jedoch auch aufgrund einer noch zu geringen experimentellen Datenbasis nur eingeschränkt möglich. In den Niederlanden wird daher als Parameter bevorzugt der scheinbar verdauliche Phosphor verwendet. Wie Tab. 3 zeigt, wird dabei ein erheblicher Unterschied in der P-Verdaulichkeit zwischen Sonnenblumenschrot und Mais einerseits und Sojaschrot, Gerste und insbesondere Weizen andererseits deutlich. Auch die bessere Verfügbarkeit von Phosphor aus Monocalciumphosphat gegenüber Dicalciumphosphat wird auf der Stufe der scheinbaren Verdaulichkeit klar ersichtlich.

Tab. 3: **Scheinbare P-Verdaulichkeit verschiedener Futtermittel beim Schwein** (JONGBLOED et al. 1988, JONGBLOED und KEMME 1990)

Futtermittel	Scheinbare Verdaulichkeit des Gesamt-Phosphors	
	(n)	(%)
Sonnenblumenschrot, extrahiert	4	16 ± 1
Mais	7	17 ± 5
Sojaschrot, extrahiert	3	37 ± 1
Gerste	5	39 ± 4
Weizen	5	47 ± 2
Dicalciumphosphat-Dihydrat	5	69 ± 3
Monocalciumphosphat	6	83 ± 4

Ein Vergleich der Messung der Ca- und P-Retention bei Ferkeln nach vergleichender Schlachtkörperanalyse und nach Bilanzverfahren ist in Tab. 4 wiedergegeben. Das Bi-

Tab. 4: **Ca- und P-Retention bei Ferkeln von 5 bis 22 kg LM nach Bilanzverfahren und vergleichender Körperanalyse** (WALZ und PALLAUF 1990, 1991)

	Körperanalyse		Bilanzverfahren	
	Ca	P	Ca	P
Retention (g/d)	3,32	1,71	3,03	1,89
relativ (Körperanalyse = 100)	100	100	91,3	110,5

(1,0 % Ca u. 0,66 % P im Futter; Fütterung semi ad lib.)

lanzverfahren, das in seiner Durchführung einfacher ist und auch im zeitlichen Verlauf mehrere Meßpunkte ermöglicht, lieferte mit mittleren Abweichungen von etwa minus 9 % bei Ca und plus 10 % bei P ähnliche Ergebnisse wie die Körperanalyse. Bei sorgfältiger Durchführung stellt somit das Bilanzverfahren durchaus eine geeignete Methode zur Ermittlung der Mineralstoffverwertung dar.

Zur Absorption von Ca und P bei Milchkühen aus dem Grundfutter zeigt Tab. 5 neuere Ergebnisse aus den USA. Selbst bei außerordentlich knapper Versorgung und deutlich negativer Bilanz hochlaktierender Milchkühe, eine Situation, bei der normalerweise alle

Tab. 5: Wahre Absorption von Calcium und Phosphor aus Luzerneheu und Maissilage bei hochlaktierenden Kühen (MARTZ et al. 1990)

Element	wahre Absorption in %	
	aus Luzerneheu	aus Maissilage
Calcium	23,5	51,5
Phosphor	67,3	80,0

Ca-Versorgung: 18 bzw. 15 % unter NRC-Empfehlungen (1989); negative Bilanz von 36 bzw. 26 g Ca/d
 P-Versorgung: 61 bzw. 45 % unter NRC-Empfehlungen (1989); negative Bilanz von 12 bzw. 5 g P/d

Regelmechanismen auf möglichst hohe Absorption gerichtet sind, lag die wahre Absorption von Ca aus Luzerneheu bei lediglich 23,5 %. Phosphor wurde unter diesen Bedingungen aus Luzerneheu immerhin zu 67 % absorbiert. Aus der wesentlich höher verdaulichen Maissilage wurde Ca zu 51,5 % und Phosphor zu 80 % absorbiert. Die GfE (1986) geht bei ihren derzeit in der Bundesrepublik gültigen Empfehlungen zur Mineralstoffversorgung von Milchkühen von einer mittleren Gesamtverwertung von 40 % für Calcium, 60 % für Phosphor, 80 % für Natrium sowie 20 % für Magnesium aus. Verglichen mit der in Tab. 5 aufgeführten wahren Absorption von Calcium und Phosphor erscheinen diese Größen der Gesamtverwertung angemessen. Die Löslichkeit von Ca und P im Pansen von Milchkühen ist nach jüngsten Ergebnissen (LEDOUX und MARTZ 1991) allerdings kein limitierender Faktor für die Absorption dieser Elemente.

3. Effizienz der Verwertung von Spuren- und Mengenelementen bei verschiedenen Species

Beispiele für die Verwertung einiger Spurenelemente beim Mastkühen sind in Tab. 6 aufgeführt. Die mittlere Gesamtverwertung von Eisen, Molybdän und Zink liegt danach mit 40-50 % auf sehr ähnlichem Niveau, während bei Kupfer die Verwertung bei etwa 20 % der zugeführten Menge liegt. Besonders niedrig liegt jedoch die Manganverwertung mit nur ca. 1 %. Diese geringe Verwertung ist vor allem auf eine generell niedrige Absorptionsrate des Mangans aus pflanzlichem Futter zurückzuführen, die u.a.

Tab. 6: Retention, Gesamtverwertung und Bruttobedarf einiger Spurenelemente beim Mastkücken
(WEIGAND u. KIRCHGESSNER 1981)

Spuren- element	Ansatz je kg Zuwachs (mg)	Mittlere Gesamt- Verwertung (%)	Bruttobedarf je kg Futter*) (mg)
Eisen	54	40	85
Kupfer	1,13	20	4
Mangan	0,91	1	60
Molybdän	0,72	50	0,9
Zink	27	40	45

*) faktoriell ermittelter Bedarf (Ansatz dividiert durch Gesamtverwertung) bei einer Futterverwertung von 1,6 kg Futter/kg Zuwachs. Bedarfswerte sind aufgerundet.

durch hohe Ca-Gehalte im Futter negativ beeinflusst wird. Während bei Jungtieren teilweise auch Absorptionsraten von 10 % und höher gemessen wurden, liegen diese bei adulten Tieren und beim Erwachsenen lediglich zwischen 1 und 4 % (siehe ARNHOLD und ANKE 1990).

Ein ökologisch besonders gravierendes Thema stellen überhöhte Kupfergaben bei landwirtschaftlichen Nutztieren dar (Tab. 7). Bei Schafen ist dabei die Spanne zwischen Bedarf und toxischer Schwelle mit 5 bzw. 15 ppm Cu in der Futter-Trockenmasse außerordentlich eng. Schweine hingegen sind gegenüber hohen Kupfergaben nicht nur sehr viel

Tab. 7: Problematik überhöhter Kupfergaben bei landwirtschaftlichen Nutztieren

Tierart bzw. Altersgruppe	mg Cu je kg Futter-T				Cu-Gehalt in mg/kg Gülle-T bei Max.-Gehalt lt.FMV im Futter ca.
	Bedarf	Toleranz- schwelle	toxische Schwelle	Max.-Gehalt lt.FMV (bei 88%T)	
Schafe	5	12	15-25	15	60
Mastkälber	4	20	30-40	30	180
Milchkühe	10	70	100	35	140
Ferkel	6	250	300-400	175*	875*
Mastschweine bis 16 Mo	5	250	300-400	175*	875*
über 16 Mo	4	250	300-400	35	200
Zuchtsauen	8-10	250	300-400	35	200

* bei Einsatz von Cu als Wachstumsförderer (früher 250 mg, heute max. 175 mg/kg) treten gefährlich hohe Cu-Konz. in der Schweinegülle auf

resistenter, sondern hohe Cu-Zulagen entwickeln bei Ferkeln und Mastschweinen sogar wachstumsfördernde Wirkung. Vor allem aus ökologischen Gründen ist bei Ferkeln der maximale Kupfergehalt laut Futtermittelverordnung (FMV) jedoch auf 175 mg/kg Futter begrenzt. Für Mastschweine über 16 Wochen liegt die Obergrenze bei 35 mg/kg Futter. Eine überschlägige Berechnung ergibt, daß bei 175 ppm Cu und entsprechend hoher Verdaulichkeit des Futters über 800 ppm Kupfer in der Gülle-Trockenmasse zu erwarten sind. Um sich vor einer Intoxikation zu schützen, geht die Verwertung der im extremen Übermaß zugeführten Mineralstoffmenge nahezu auf Null zurück, d.h., das Tier muß nahezu die gesamte aufgenommene Menge an Cu wieder ausscheiden. Es ist daher nicht verwunderlich, daß in Großbritannien schon sehr früh Kupfervergiftungen bei Schafen beobachtet wurden, die auf mit kupferreicher Schweinegülle gedüngten Weiden gehalten wurden. Von Kupfer beim Schwein abgesehen, sind den Bedarf erheblich übersteigende Spurenelementzulagen zum Futter ernährungsphysiologisch unwirksam und aufgrund eines Ionenantagonismus sogar schädlich. Aus ökologischen Gründen sind Überdosierungen ohnehin abzulehnen.

Ein Beispiel für die Gesamtverwertung von Ca und P beim wachsenden Schwein ist in Tab. 8 dargelegt. Danach wurden unter den geprüften praxisnahen Bedingungen 62 % des mit dem Futter aufgenommenen Calciums und 56 % des aufgenommenen Phos-

Tab. 8: Im Bilanzverfahren ermittelte Verwertung von Ca und P bei Schweinen mit 20 kg Lebendmasse (WALZ u. Pallauf 1990, 1991)

	Aufnahme (g/d)	Retention (g/d)	Retention (%)	endogene Verluste lt. ARC (1981) (g/d)	Gesamt ver- wertung (%)
Calcium	8,90	5,51	62	0,64	69
Phosphor	5,81	3,28	56	0,40	63

phors retiniert, das heißt nicht wieder mit Kot oder Harn ausgeschieden. Werden dabei die unvermeidlichen endogenen Verluste nach Literaturangaben (ARC 1981) mit berücksichtigt, so erhöht sich die Gesamtverwertung um 7 Prozentpunkte auf 69 bzw. 63 %. Die von der GfE (1987) für Ferkel mit 20 kg Lebendmasse unterstellten Verwertungszahlen von 65 % für Calcium und 60 % für Phosphor werden damit bestätigt.

Ein Vergleich der bei der Milchkuh in der Bundesrepublik (GfE), in Großbritannien (ARC) und in den USA (NRC) für Calcium und Phosphor unterstellten Verwertungsdaten ist in Tab. 9 vorgenommen. Die verschiedenen aufgeführten Parameter sind allerdings nicht identisch und daher nur eingeschränkt miteinander vergleichbar. Obwohl es Hinweise gibt, daß Phosphor bei der Milchkuh teilweise wesentlich höher als zu 60 % verwertet werden kann, sind ARC und NRC bei der Abschätzung der P-Ausnutzung aus der Ration mindestens genauso vorsichtig wie die GfE. Bei Ca liegt die neueste Zahl

Tab. 9: Für die faktorielle Bedarfsableitung unterstellte Verwertung (GfE), Absorption (ARC) bzw. Verfügbarkeit (NRC) von Calcium und Phosphor bei der Milchkuh

Element	Angaben in %				
	GfE (1986)	ARC (1965) (1980)		NRC (1978) (1989)	
Calcium	40	45	68	45	38
Phosphor	60	55	58	55	50

des NRC von 1989 mit 38 % sehr nahe an der deutschen Zahl von 40 %. Die vom ARC 1980 unterstellte wahre Ca-Absorption von 68 % ist auch in Großbritannien umstritten und durch neuere experimentelle Daten nicht uneingeschränkt belegt.

Vollständige Mineralstoffbilanzen laktierender Milchkühe sind in Tab. 10 nach jüngsten umfangreichen Untersuchungen von KIRCHGESSNER und Mitarbeitern dargestellt. Die Applikation von rekombinantem bovinem Somatotropin bewirkte durch eine signifikante Leistungssteigerung zumindest tendenziell positive Einflüsse auf die Effizienz der Mineralstoffverwertung. Der Mineralstoffgehalt der Milch blieb dabei jedoch unbeeinflusst. In Prozent der Aufnahme wurden mit der Milch bei Ca und P 27-31 %, bei Mg 6-7 %, bei K 16-18 % und bei Na 25-30 % ausgeschieden.

Tab. 10: Mineralstoffbilanzen laktierender Milchkühe (n = 2x8) bei Applikation von rekombinantem bovinem Somatotropin (bST) im Vergleich zu pair fed Kontrolltieren (K) (KIRCHGESSNER u. WINDISCH 1990, WINDISCH et al. 1991)

	Calcium		Phosphor		Magnesium		Kalium		Natrium	
	K	bST	K	bST	K	bST	K	bST	K	bST
Aufnahme über Futter u. Wasser (g/Tier/d)	84,9	86,3	62,9	63,0	31,1	31,3	167	168	26,4	27,2
Gehalt Milch (g/kg)	1,42	1,37	1,04	1,05	0,12	0,12	1,63	1,59	0,43	0,44
in % der Aufnahme										
Milch	27,2	30,6	26,9	31,7	6,1	7,0	16,0	18,3	25,0	30,2
Kot	77,0	75,8	71,1	69,2	63,3	64,2	27,4	29,7	41,3	48,9
Harn	0,1	0,1	1,1	1,3	12,2	12,1	54,4	50,3	36,4	36,4
Ansatz	-4,3	-6,5	0,9	-2,2	18,4	16,7	2,2	1,7	-2,7	-15,5
Gehalt in Gülle (g/kg Frischmasse)	1,68	1,58	1,16	1,08	0,60	0,58	3,50	3,22	0,53	0,57

Tab. 10 zeigt auch, daß die renale Exkretion von Calcium mit 0,1 % der Aufnahme bei der Milchkuh generell sehr niedrig liegt. Bei P beträgt die renale Exkretion 1,1 bzw. 1,3 % der Aufnahme. Natrium hingegen wurde zu 36 % und Kalium sogar zu über 50 % der aufgenommenen Menge im Harn ausgeschieden. Über Kot und Harn und damit in die Gülle wurden unter diesen Versuchsbedingungen im Mittel insgesamt 76-77 % des

aufgenommenen Calciums, 70-72 % des Phosphors, 76 % des Magnesiums, 80-82 % des Kaliums und 77-85 % des Natriums ausgeschieden. Auffallend ist dabei die in der bST-Gruppe mit -15,5 g je Tier und Tag deutlich negative Natrium-Bilanz.

4. Möglichkeiten zur Minderung der Phosphorexkretion

Der nachfolgende Textauszug zeigt eine Passage aus dem berühmten Buch von Justus von LIEBIG "Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agriculturchemie und Physiologie":

Die noch jetzt dauernde enorme Knochenausfuhr aus Deutschland ist wohl ein thatsächlicher Beweis, wie klein im Allgemeinen die Anzahl der Landwirthe ist, welche um den gehörigen Ersatz an Phosphaten sich bekümmern, und wenn eine einzige kleine Fabrik in Baiern (Heusfeld) an 1½ Million Pfund Knochen aus der Umgegend von München nach Sachsen ausführt, so kann dieß doch nur auf Kosten der Ausraubung der bairischen Felder geschehen.

J. LIEBIG (1862)

Die dabei beklagte Ausraubung der bayerischen Felder an Phosphaten durch den Knochenexport nach Sachsen stellt aus heutiger Sicht bekanntlich längst kein Problem mehr dar. Es sollte aber nicht vergessen werden, daß Phosphormangel in der Pflanzenernährung und in der Tierernährung vieler Entwicklungsländer noch eine sehr große Rolle spielt und weltweit einen der limitierenden Faktoren bei der Sicherung der Welternährung darstellt. Umso mehr besteht deshalb die Notwendigkeit, die begrenzten globalen P-Reserven möglichst zu schonen und auch aus diesen Gründen in der Tierernährung mineralische Phosphorträger nur in absolut erforderlichem Umfang einzusetzen. Eine Schlüsselstellung nimmt bei diesen Bestrebungen die Verbesserung der Verwertung der nativen P-Gehalte aus pflanzlichen Futtermitteln durch den Monogaster ein. In Tab. 11 sind Maßnahmen zur Verbesserung der P-Verwertung und damit letztlich zur Minde-

Tab. 11: Maßnahmen zur Verbesserung der P-Verwertung und damit zur Reduktion der P-Exkretion beim Monogaster

1. Exakte Ermittlung des P-Bedarfes und Umsetzung in praxisnahe Versorgungsempfehlungen
2. Optimale tierische Leistung zur Minderung des (unproduktiven) Erhaltungsanteiles
3. Sorgfältige Rationsberechnung und Anpassung an Bedarfsänderungen (z.B. Phasenfütterung)
4. Einsatz von Leistungsförderern, organischen Säuren und Probiotika
5. Einsatz hochverwertbarer Phosphorträger
6. Förderung der gastrointestinalen Phytinsäure-Hydrolyse
 - 6.1 Auswahl phytasereicher Komponenten wie Weizen, Roggen, Triticale oder deren Kleien als Rationsbestandteil
 - 6.2 Einsatz von Phytase mikrobieller Herkunft

rung des P-Gehaltes der Gülle zusammengefaßt. Die ersten drei Punkte gelten dabei für Wiederkäuer und Monogaster gleichermaßen. Zunächst ist die exakte Ermittlung des P-Bedarfes und die Umsetzung dieser Daten in praxisnahe Versorgungsempfehlungen ohne überzogene Sicherheitszuschläge wichtig. Dazu zählt auch die möglichst genaue Kenntnis des Phosphorgehaltes der eingesetzten Energie- und Proteinträger einschließlich dessen Verfügbarkeit. Zweitens ist die P-Ausscheidung in die Gülle je Einheit Leistungsprodukt (z.B. Eier, Geflügel- oder Schweinefleisch) niedriger, wenn das Leistungsniveau hoch ist, da dann der unproduktive Anteil für den Erhaltungsbedarf geringer ist. Ein weiterer wichtiger Schritt ist die sorgfältige Rationsberechnung und die Anpassung an z.B. wachstumsbedingte Bedarfsänderungen. So kann die Phasenfütterung beim Schwein ähnlich wie für Stickstoff auch bei der Phosphorexkretion ganz erhebliche Reduzierungen bringen. Auch der Zusatz von Leistungsförderern, organischen Säuren und Probiotika kann die P-Verwertung erheblich verbessern. Vor allem zu letzteren Zusatzstoffen sind allerdings noch weitere Untersuchungen notwendig. Soweit eine P-Ergänzung der Rationen notwendig ist, sind hochverwertbare Phosphorträger bei Huhn und Schwein eindeutig vorzuziehen. So ist, wie in Tab. 3 gezeigt, Monocalciumphosphat aufgrund seiner besseren Löslichkeit höher verwertbar als Dicalciumphosphat. Ein besonders für die Zukunft entscheidender Punkt dürfte jedoch in der Verbesserung der Verwertung des Phytin-P liegen. Zunächst stellt die Auswahl phytasereicher Mischfuttermittelkomponenten wie Weizen, Roggen, Triticale oder deren Kleien einen wichtigen Schritt in diese Richtung dar. Von besonderem Interesse dürfte zukünftig jedoch der Einsatz von Phytase mikrobieller Herkunft als Futterzusatzstoff bei Schwein und Geflügel sein. Abb. 4 zeigt dazu Ergebnisse aus den Niederlanden. Die Phytase-Zulagen von

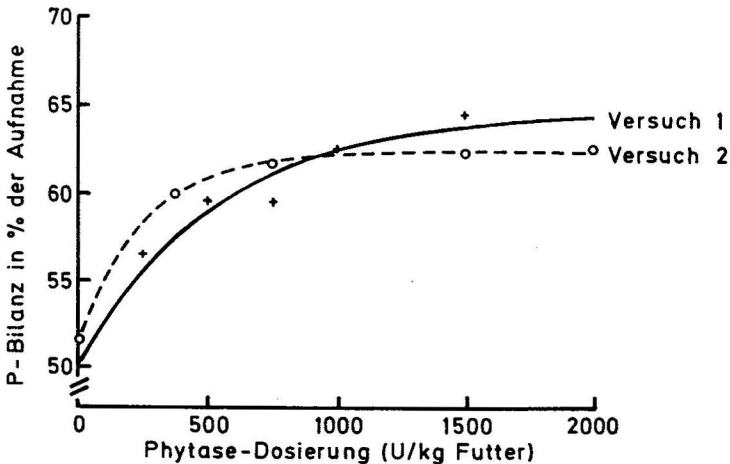


Abb. 4: Einfluß unterschiedlicher Phytase-Dosierungen in einer Mais-Sorghum-Soja-Diät (0,30 % Phytin-P; 0,45 % Gesamt-P) auf die P-Bilanz von Broilern zwischen dem 21. und 24. Lebenstag (SIMONS et al. 1990)

bis zu 1000 Einheiten je kg zu einer phytasearmen Mais-Sorghum-Soja-Diät hatten deutlich positive Wirkungen auf die Phosphorbilanz in der Geflügelmast. Ähnlich positive Effekte konnten auch für das Schwein gezeigt werden (NÄSI 1990, SIMONS et al. 1990). Tab. 12 zeigt jüngste eigene Ergebnisse (PALLAUF et al. 1991) zur Wirkung einer Zulage von mikrobieller Phytase zu einer Mais-Soja-Diät für Ferkel. Bei dem eingesetzten Phytasepräparat Natuphos^{R*} handelt es sich um das Fermentationsprodukt

Tab. 12: Verbesserung der scheinbaren Verdaulichkeit von Phosphor und Calcium einer Mais-Soja-Diät bei Ferkeln durch Zusatz mikrobieller Phytase (2 Perioden)

		Gehalte in der Diät			Phosphor		Calcium	
		Ca	P	Phytase	1.Peri- ode	2.Peri- ode	1.Peri- ode	2.Peri- ode
		(g/kg)	(g/kg)	(U/kg)	scheinbare Verdaulichkeit (%)			
Gruppe I	M	6,2	4,3	n.n.	27,5 ^a	30,4 ^a	54,3 ^a	58,6 ^a
	S				7,8	12,7	5,8	9,9
Gruppe II	M	6,1	6,2	n.n.	48,8 ^b	51,1 ^b	64,5 ^b	62,2 ^a
	S				7,5	7,5	6,4	5,2
Gruppe III	M	6,3	4,3	480	53,7 ^{bc}	56,5 ^b	72,6 ^{bc}	76,2 ^b
	S				11,1	11,0	8,4	8,0
Gruppe IV	M	6,3	4,4	1120	64,4 ^c	64,2 ^b	80,0 ^c	78,5 ^b
	S				5,7	4,5	2,3	3,0

eines speziellen Produktionsstammes des Schimmelpilzes *Aspergillus niger*, auf den ein Phytase-Gen von *Aspergillus ficum* übertragen wurde. Das in den Niederlanden hergestellte Produkt befindet sich dort bereits im praktischen Einsatz. Für die Bundesrepublik ist die futtermittelrechtliche Zulassung beantragt. Die Aktivität dieser *Aspergillus*-Phytase weist je ein pH-Optimum bei pH 2,5 und bei pH 5,5 auf, so daß eine Phytinsäure-Hydrolyse bereits in der Speiseröhre und im Anfangsteil des Magens möglich ist, ehe die peptische Verdauung des Eiweißkörpers einsetzt. In unserem Versuch wurde an 4 x 8 Ferkeln mit einer Anfangslebensmasse von 9 kg in 2 Stoffwechselperioden (ø LM 12 kg bzw. 18 kg) der Einfluß von 500 bzw. 1000 Units Phytasezulage je kg Futter geprüft. Der Ca-Gehalt aller Diäten lag einheitlich bei 6,2 g/kg. Gruppe I mit 4,3 g P/kg Futter, davon 3,8 g nativ und 0,5 g in Form von Monocalciumphosphat (MCP), diente als Negativkontrollgruppe. In Gruppe II, der Positivkontrollgruppe, wurde mit 6,2 g P, davon 3,8 g nativ plus 2,4 g P in Form von MCP, ein bedarfsdeckender P-Gehalt eingestellt. Gruppe III und IV erhielten zum niedrigen Gehalt der Negativkontrollgruppe 500 bzw. 1000 Units Phytasezulage. Die scheinbare Verdaulichkeit des Phosphors wurde dadurch von 27-30 % in Gruppe I auf rund 55 % in Gruppe III und 64 % in Gruppe IV erhöht (Tab. 12). Auch die scheinbare Verdaulichkeit des Calciums konnte durch Phytase-Zulage von 54-59 % auf 73-76 % bei 500 U Phytase bzw. 78-80 % bei 1000 U

*) Der BASF AG, Ludwigshafen, sei für die Bereitstellung des Phytasepräparates gedankt

Phytase gesteigert werden. Abb. 5 zeigt die Ergebnisse von Tab. 12 im Durchschnitt beider Perioden. Deutlich ist wiederum die außerordentlich positive Wirkung der Phytase erkennbar. Die Darstellung zeigt aber auch, daß 1000 Einheiten gegenüber 500 Einheiten

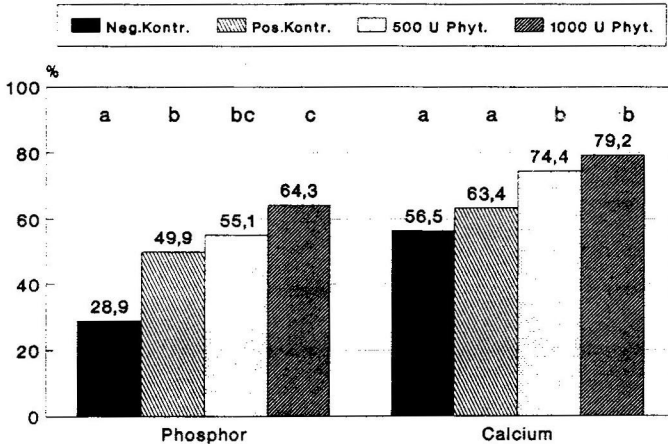


Abb. 5: Verbesserung der scheinbaren Verdaulichkeit von Phosphor und Calcium einer Mais-Soja-Diät bei Ferkeln durch Zusatz von Monocalciumphosphat (Pos.-Kontrolle) bzw. mikrobieller Phytase im Mittel zweier Sammelperioden

ten je kg Mischfutter noch eine weitere Verbesserung der Phosphorverdaulichkeit bewirkten. Gegenüber Gruppe I konnte somit unter den vorliegenden Versuchsbedingungen durch 1000 Units Phytase die scheinbare P-Verdaulichkeit von 29 % auf 64 % angehoben, d.h. mehr als verdoppelt werden. Die scheinbare Verdaulichkeit des Calciums wurde gleichzeitig um mehr als 20 %-Punkte erhöht. Daß dieses Ergebnis gravierende Auswirkungen auf die Phosphorexkretion hat, zeigt Abb. 6. In der ersten Versuchsperiode bei rund 12 kg schweren Ferkeln wurden durch eine Phytasezulage in Höhe von 1000 Einheiten statt 1,6 g P je Ferkel und Tag in der Positivkontrolle nur noch knapp 0,8 g P je Tier und Tag über den Kot ausgeschieden. Leistungsdaten wie Zunahme und Futterverwertung wurden dadurch keineswegs negativ beeinflusst. Selbst gegenüber der unzureichend mit verfügbarem P versorgten Negativkontrolle, die Leistungseinbußen zeigte, war die P-Ekretion in den Phytasegruppen ganz erheblich vermindert. Auch in der 2. Periode bei rund 18 kg schweren Ferkeln wurde die Phosphorbelastung des Kotes durch 1000 Einheiten Phytase gegenüber der Positivkontrolle halbiert. Es bestehen somit gute Aussichten, daß durch den Einsatz von mikrobieller Phytase der Zusatz von mineralischem Phosphor zum Futter verringert und die P-Belastung der Gülle erheblich reduziert werden kann. Es wäre dies auch ein erster Durchbruch des Enzymeinsatzes in der Tierernährung, der bislang trotz vielseitiger wis-

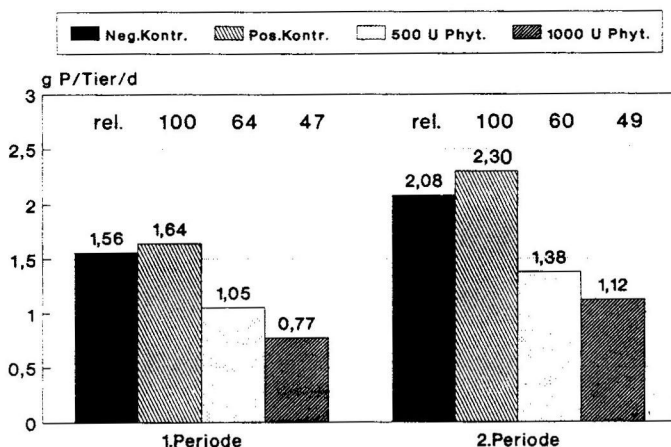


Abb. 6: Reduktion der faecalen P-Exkretion von Ferkeln bei Zusatz mikrobieller Phytase anstelle von Monocalciumphosphat zu einer Mais-Soja-Diät (2 Sammelperioden)

senschaftlicher Aktivitäten aus verschiedenen Gründen noch keine große praktische Bedeutung erlangte. Im Falle der Phytase sind allerdings auch noch einige Probleme, wie z.B. die aufgrund der Thermolabilität des Enzyms reduzierte Pelletiereignung, zu lösen.

Zusammenfassung

Der Tierernährungsforschung stehen eine Vielzahl von Methoden zur Ermittlung der Mineralstoffverwertung und deren Einflußfaktoren zur Verfügung. Ein besonderes Problem stellt jedoch die Abschätzung der Verwertung von Mengen- und Spurenelementen unter praktischen Bedingungen dar, so daß die Umsetzung des faktoriell oder über Dosis-Wirkungsbeziehungen wissenschaftlich abgeleiteten Bedarfs in praxisnahe Versorgungsempfehlungen teilweise auf Schwierigkeiten stößt.

Den Bedarf der Nutztiere deutlich übersteigende Gehalte an Mineralstoffen im Futter sind sowohl aus ernährungsphysiologischen wie auch aus ökologischen Gründen abzulehnen. Sie belasten den tierischen Organismus und die Umwelt unnötig und können über den Ionenantagonismus die Verwertung anderer essentieller Elemente negativ beeinflussen.

Am Beispiel des Phosphors, der bei konzentrierter Tierhaltung über die Gülle ein besonderes ökologisches Gefährdungspotential darstellt, lassen sich Maßnahmen zur effizienteren Verwertung durch das Tier und damit zur Reduktion der Güllebelastung aufzeigen. Neben der Verbesserung bzw. konsequenten Anwendung klassischer Kenntnisse

und Verfahren einer fachgerechten Tierernährung könnte der Einsatz von mikrobiellen Phytasen in der Zukunft eine wirksame Maßnahme zur Verbesserung der Verwertung des für den Monogaster ansonsten nur schwer verfügbaren Phytinphosphors aus Pflanzensamen darstellen.

Summary

Efficacy of the Utilization of Minerals in Animal Nutrition

Animal nutrition research has a wide range of methods for evaluating the efficacy of utilization of minerals and related factors. However an estimation of the utilization of minerals and trace elements under practical conditions poses particular problems. Difficulties arise in part from the conversion of requirements calculated factorially or from dose-response studies into supplementation recommendations for use under practical conditions.

For nutritional physiological as well as ecological reasons a mineral content in the feed clearly in excess of the animal's requirement must be rejected. This would cause unnecessary problems for the animal's organism and the environment and could have a negative influence through antagonistic effects on the utilization of other essential elements. Based on phosphorus as an example, which in the case of intensive animal husbandry poses a potential ecological threat from its presence in liquid manure, measures are demonstrated capable of ensuring a more efficient utilization by the animal and thereby a reduction of phosphorus in faeces. In addition to the consequent application of scientific findings and practices in specialized animal nutrition and improvements therein, the use of microbial phytase as a feed additive could prove in future to be a particularly efficient measure for improving the utilization of phytate-phosphorus from plant seeds which is otherwise not easily available to monogastric animals.

Literatur

- ARC (Agricultural Research Council) 1981: The Nutrient Requirements of Pigs. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough
- ARC (Agricultural Research Council) 1965: The Nutrient Requirement of Farm Livestock, No. 2 Ruminants. ARC, London
- ARC (Agricultural Research Council) 1980: The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough
- ARNHOLD, W. und ANKE, M., 1990: Die Bedeutung des Mangans für die Ernährung von Tier und Mensch. S. 95 - 109 in: 30 Jahre Mikronährstoff- und Spurenelementforschung in Jena, Jena 1990
- ERDMAN, J.W., 1979: Oilseed phytates: nutritional implications. J. Am. Oil Chem. Soc. 56, 736 - 741
- FMV (Futtermittelverordnung) vom 08.04.1981 (BGBl. I. Nr. 15 S. 352 -Anlage- vom 14.04.1981), zuletzt geändert durch 8. ÄVO zur FMV (BGBl. I. Nr. 64 S. 2540 vom 30.11.1990)

- GfE, 1986: Energie- und Nährstoffbedarf landw. Nutztiere, Nr. 3 Milchkühe und Aufzuchttrinder, Hrsg.: Ausschuß für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie der Haustiere, Frankfurt/M., DLG
- GfE, 1987: Energie- und Nährstoffbedarf landw. Nutztiere, Nr. 4 Schweine, Hrsg.: Ausschuß für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, Frankfurt/M., DLG
- JONGBLOED, A.W.; KEMME, P.A. and PEET, G.F.V. van der, 1988: Digestible P in the feeding of pigs. Rapport IVVO nr. 186, Lelystad
- JONGBLOED, A.W. and KEMME, P.A., 1990: Apparent digestible phosphorus in the feeding of pigs in relation to availability, requirement and environment. 1. Digestible phosphorus in feedstuffs from plant and animal origin. Netherlands J. Agric. Sci. 38, 567 - 575
- KIRCHGEßNER, M. und WINDISCH, W., 1990: Phosphorbilanz laktierender Milchkühe bei langfristiger Verabreichung von bovinem Wachstumshormon (bST). Agribiol. Res. 43, 209 - 216
- LEDoux, D.R. and MARTZ, F.A., 1991: Ruminal solubilization of selected macrominerals from forages and diets. J. Dairy Sci. 74, 1654 - 1661
- LIEBIG, J., v., 1862: Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie, 1. Theil: Der chemische Proceß der Ernährung der Vegetabilien, 7. Auflage, S. XVI, Braunschweig
- MARTZ, F.A.; BELO, A.T.; WEISS, M.F. and BELYEA, R.L., 1990: True absorption of calcium and phosphorus from alfalfa and corn silage when fed to lactating cows. J. Dairy Sci. 73, 1288 - 1295
- NÄSÄ, M., 1990: Microbial phytase supplementation for improving availability of plant phosphorus in the diet of the growing pigs. J. Agric. Sci. Finland 62, 435 - 443
- NRC (National Research Council) 1978, 1989: Nutrient Requirements of Dairy Cattle, National Academy of Sciences, Washington, D.C. 5th ed. 1978, 6th ed. 1989
- PALLAUF, J.; HÖHLER, D. und RIMBACH, G., 1991: Einfluß einer Zulage an mikrobieller Phytase zu einer Mais-Soja-Diät auf die Verdaulichkeit von Phosphor und Calcium beim Ferkel. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. (im Druck)
- SIMONS, P.C.M.; VERSTEEGH, H.A.J.; JONGBLOED, A.W.; KEMME, P.A.; SLUMP, P.; BOS, K.D.; WOLTERS, M.G.E.; BEUDEKER, R.F. and VERSCHOOR, G.J., 1990: Improvement of phosphorus availability by microbial phytase in broilers and pigs. Brit. J. Nutr. 64, 525 - 540
- WALZ, O.P. und PALLAUF, J., 1990: Untersuchung zum Vergleich des Bilanzverfahrens und der Tierkörperanalyse zur Messung des Protein-, Energie- und Mineralstoffansatzes von Aufzuchtferkeln. 2. Mitt.: Scheinbare Verdaulichkeit und Retention von Calcium. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 64, 103 - 112
- WALZ, O.P. und PALLAUF, J., 1991: Untersuchung zum Vergleich des Bilanzverfahrens und der Tierkörperanalyse zur Messung des Protein-, Energie- und Mineralstoffansatzes von Aufzuchtferkeln. 3. Mitt.: Retention von Phosphor und Verhältnis von Calcium zu Phosphor. J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 65, 53 - 63
- WEIGAND, E. und KIRCHGEßNER, M., 1981: Spurenelementverwertung und -bedarf in der Bröilerernährung. Arch. Geflügelk. 45, 3 - 8
- WINDISCH, W.; PAULICKS, B.R. und KIRCHGEßNER, M., 1991: Calcium-, Magnesium-, Kalium- und Natriumbilanz laktierender Milchkühe bei Applikation von rekombinantem bovinem Wachstumshormon (bST). Agribiol. Res. 44 (im Druck)