

Phytase als Zusatzstoff beim Schwein zur Verbesserung der Verwertung von Phosphor und weiteren Mengenelementen sowie Spurenelementen

Von Prof. Dr. Josef PALLAUF*)

Aus ökonomischen, insbesondere aber auch aus ökologischen Gründen wird in der Tierernährung zukünftig noch mehr als bisher auf die optimale Verwertung der Inhaltsstoffe von Futtermitteln zu achten sein. Dadurch können z. B. Zusätze von Mineralstoffträgern eingeschränkt und die Belastung der Umwelt durch die tierischen Ausscheidungen reduziert werden. Bei unzureichender Enzymaktivität im Gastrointestinaltrakt von Tieren mit einhöhligen Magen (Monogaster), wie Schwein und Huhn, können spezifische Enzymzusätze zum Futter Verdaulichkeit und Absorbierbarkeit von Nährstoffen und Mineralstoffen erheblich verbessern.

Leiten Futter-Phytasen eine neue Generation von Zusatzstoffen ein?

Die Wirkung von Enzymzusätzen zum Futter landwirtschaftlicher Nutztiere wird in der ernährungsphysiologischen Forschung bereits seit vielen Jahren untersucht. Praktische Bedeutung haben in jüngster Zeit vor allem β -Glucanasen beim Einsatz von Gerste für Geflügel sowie Phytasen zur besseren Verwertung des Phytin-Phosphors bei Schwein und Huhn erreicht. Als Zusatzstoff für Schweine- und Geflügelmischfutter befindet sich Phytase seit über einem Jahr in den Niederlanden auf dem Markt und ist seit einem Jahr in der Schweiz zugelassen. Auch in der Bundesrepublik ist nunmehr der Einsatz von Phytase für Schwein und Geflügel per Ausnahmegenehmigung futtermittelrechtlich zugelassen. Damit ist ein erster Schritt getan, um Enzyme als neue hoffnungsvolle Generation von Zusatzstoffen in der Tierernährung einzusetzen.

Phytinphosphor und Phytase beim Schwein

Etwa zwei Drittel des Phosphors (P) in Samen von Getreide, Leguminosen und Ölrüchten liegen an Phytinsäure gebunden vor. Diese P-Quelle (myo-Inositol-Hexaphosphat) ist für Schwein und Huhn nur schlecht verfügbar. Im schwachsauren bis neutralen pH-Bereich liegt Phytinsäure vorwiegend in dissoziierter Form vor. Daher kommt es mit zweiwertigen Kationen (Ca, Mg, Zn, Fe, Cu) zur Bildung von Salzen, den Phytaten, wodurch über die Festlegung von P hinaus auch die Verfügbarkeit dieser essentiellen Elemente reduziert wird. In jüngster Zeit wurde der Einsatz von Phytase mikrobiellen Ursprungs als Zusatz zum Schweinemischfutter erprobt, wobei aus ökologischen Gründen eine Reduktion des P-Austrags über die tierischen Exkremente im Vordergrund des Interesses steht. Darüber hinaus könnten durch einen reduzierten Einsatz anorganischer Phosphatträger in Mischfuttermitteln die weltweit sehr begrenzten Phosphorlagerstätten geschont werden. Der mit Futter-Phosphaten teilweise verbundene Eintrag von unerwünschten Stoffen (z. B. Cadmium und Fluor) in die Nahrungskette könnte dadurch ebenfalls gemindert werden.

Hydrolyse der Phytinsäure durch Phytase

Die Verfügbarkeit des Phytin-P sowie der komplexierten Mengen- und Spurenelemente wird für das Schwein in begrenztem Umfang durch enzymatische Hydrolyse ermöglicht. Das dafür notwendige Enzym Phytase (Phosphomonoesterhydrolase) kommt weit verbreitet in Pflanzen, Tieren und verschiedenen Mikroorganismen vor. Die an der Hydrolyse im Verdauungstrakt beteiligten Phytasen können dabei aus drei verschiedenen Quellen stammen: 1. aus der pflanzlichen Nahrung, 2. von Mikroorganismen des Darmes und 3. von der Darmschleimhaut. Das Ausmaß der enzymatischen Hydrolyse scheint vor allem bei Ferkeln und Mastschweinen jedoch in allererster Linie von der nativen pflanzlichen Phytaseaktivität bestimmt zu werden. Für Weizen wird in der Literatur eine hohe native Phytaseaktivität, für Mais hingegen eine besonders geringe Phytaseaktivität angegeben. Dazwischen liegen, geordnet nach steigender Phytaseaktivität, Hafer, Gerste und Roggen. Die Phytaseaktivität des Sojaextraktionsschrotes wird als ebenso schwach wie die des Mais beschrieben. Wegen der Lokalisation von Phytin und Phytase in den Randschichten und im Keimling von Weizen und Roggen kommt es in Mühlennachprodukten (z. B. Kleie) zu einer entsprechenden Anreicherung der Phytaseaktivität. Im Maiskorn hingegen befinden sich etwa 90 % der Phytinsäure im Keimling und nur geringe Anteile in den Randschichten. In französischen Untersuchungen (POINTILLART, 1991) konnte durch den Zusatz von 20 % phytasereicher Roggenkleie zu einer Mais-Soja-Diät bei Schweinen die scheinbare Verdaulichkeit des Phosphors von 36 % auf 55 % gesteigert werden. In praktischen Rationen auf der Basis von Gerste, Mais und Sojaextraktionsschrot dürften die pflanzlichen Phytasen jedoch nur eine geringe Rolle spielen. Aktiviert werden pflanzliche Phytasen anscheinend beim Einweichen von Körnern. Auch mikrobielle Prozesse dürften dabei von Bedeutung sein. Eine hohe Phytaseaktivität tritt bei der Keimung von Getreide auf. Eine wichtige Eigenschaft des mit Hilfe eines Produktionsstammes von *Aspergillus niger* (Schwarzer Kolbenschnitzpilz) großtechnisch hergestellten mikrobiellen Phytasepräparates Natuphos® besteht in der Aktivität über einen weiten pH-Bereich mit zwei Optima (pH 2,5 und 5,5). Nach holländischen Untersuchungen ist dabei eine Phytinsäure-Hydrolyse bereits in der Speiseröhre und im Magen der Tiere möglich. Dagegen besitzt die pflanzliche Phytase lediglich ein pH-Optimum, das beispielsweise für Weizenphytase bei pH 5 liegt. Das Problem der Thermolabilität der mikrobiellen Phytase gilt derzeit noch nicht als vollständig gelöst, so daß mit einer reduzierten Aktivität bei der Einwirkung höherer Temperaturen, z. B. durch den Pelletierprozeß, zu rechnen ist.

Verfügbarkeit des Phytin-Phosphors

Von der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE 1987) wird die mittlere intestinale Verfügbarkeit des Phytin-P für das Schwein mit 40 %, die des pflanzlichen Gesamt-P einer Getreide-Soja-Ration mit 55 % angegeben. In jüngsten Untersuchungen mit Aufzuchtferkeln (PALLAUF et al., 1992

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

a und b) wurde an unserem Institut anhand einer Mais-Soja-Diät eine scheinbare Verdaulichkeit des pflanzlichen Gesamt-P von lediglich 23 % ermittelt. Die Bestimmung der Verdaulichkeit erfolgte anhand von 2 Kotsammelperioden zu je 7 Tagen an 4 x 8 männlichen kastrierten Hybridferkeln bei einer mittleren LM von 12 kg bzw. 18 kg. Für den vorliegenden Fall einer Mais-Soja-Diät beim Ferkel liegt die P-Verwertung somit weit niedriger als die von der GfE mit 55 % unterstellte intestinale Verfügbarkeit des P aus einer normalen Getreide-Soja-Ration. Der native P-Gehalt des in unseren Untersuchungen verwendeten Ferkelfutters betrug 3,5 g/kg, der Phytin-P-Gehalt lag bei 2,2 g/kg, so daß sich ein pflanzlicher Nichtphytin-P-Gehalt von 1,3 g/kg und ein Phytin-P-Anteil von 63 % errechnen. Die Annahme einer intestinalen Verfügbarkeit des pflanzlichen Nichtphytin-P von 80 % (GfE 1987) sowie die im Versuch gefundene scheinbare Verdaulichkeit des pflanzlichen Gesamt-P (23 %) führen zu dem Schluß, daß der Phytin-P weitgehend unverdaulich war. JONGBLOED und KEMME (1990) stellten ebenfalls keine Absorption von P aus dem Phytin-Anteil einer Mais-Soja-Diät fest. Eine Ausnahme unter den geprüften pflanzlichen Futtermitteln bildeten Weizen, Weizenkeime und Gerste, die aufgrund einer nativen Phytaseaktivität eine geringe Verdaulichkeit des Phytin-P ermöglichen. Die niederländischen Autoren geben die scheinbare Verdaulichkeit des Gesamt-P aus Mais mit 17 % und aus Sojaschrot mit 37 % an; die Angaben aus den USA (NRC 1988) liegen bei 15 % (Mais) bzw. 38 % (Sojaschrot) für Schweine von 15-35 kg LM. Die eigenen Ergebnisse bestätigen diese Angaben. Durch die Zulage von 2,5 g P (auf 6,0 g Gesamt-P in der Diät) aus Monocalciumphosphat (MCP) in Gruppe II (Positivkontrolle) wurde in unseren Untersuchungen die P-Verdaulichkeit der Mais-Soja-Diät von 29 % auf 50 % gesteigert (**Abb. 1**). Bei Zusatz von 500 U (Gruppe III) bzw. 1000 U (Gruppe IV) mikrobieller Phytase pro kg Diät stieg die scheinbare Verdaulichkeit auf 55 % bzw. 64 % höchstsignifikant an. Die tierindividuellen Schwankungen waren dabei in Gruppe IV am geringsten. Die Versuchsgruppen I, III und IV erhielten jeweils 4,0 g Gesamt-P/kg Diät (3,5 g nativ, 0,5 g als MCP). Die mineralische P-Zulage der Gruppen I, III und IV erfolgte im Vergleich zu den üblichen Versorgungsempfehlungen sehr knapp, die der Gruppe II

Literatur zu nebenstehendem Beitrag

1. BEERS, S., A.W. JONGBLOED (1991): 45. Tagung der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, Gießen, Kurzfassungen S. 96
2. GfE (GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE) (1987): Energie- und Nährstoffbedarf landw. Nutztiere Nr. 4, Schweine, Ausschuß für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. DLG-Verlag, Frankfurt/Main
3. JONGBLOED, A.W., P.A. KEMME (1990): Netherlands J.Agric.Science 38, 567-575
4. NÄSI, M. (1990): J. Agricultural Sci.Finland 62 (5), 435-443
5. NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL)(1988): Nutrient requirements of swine 9th ed., Natl.Acad.Sci., Washington
5. PALLAUF, J., D. HÖHLER, G. RIMBACH, H. NEUSSER (1992a): J.Anim. Physiol.a.Anim.Nutr. 67, 30-40
6. PALLAUF, J., D. HÖHLER, G. RIMBACH (1992b): J. Anim.Physiol. a.Anim.Nutr. 68, 1-9
7. POINTILLART, A. (1991): J.Anim.Sci. 69, 1109-1115
8. SIMONS, P.C.M., H.A.J. VERSTEEGH, A.W. JONGBLOED, P.A. KEMME, P. SLUMP, K.D. BOS, M.G.E. WOLTERS, R.F. BEUDEKER, G.J. VERSCHOOR (1990): Br.J.Nutr. 64, 525-540

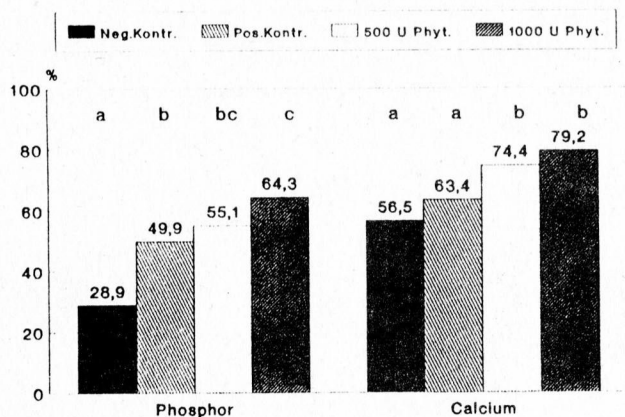


Abb. 1: Verbesserung der scheinbaren Absorption von Phosphor und Calcium einer Mais-Soja-Diät bei Ferkeln durch Zusatz von Monocalciumphosphat (Positivkontrolle) bzw. mikrobieller Phytase (500 bzw. 1000 Einheiten je kg Futter) im Mittel zweier Sammelperioden.

entsprach den Empfehlungen des NRC (1988) für Ferkel im vorliegenden LM-Bereich von 10–20 kg. Bei einem einheitlichen Ca-Gehalt aller Gruppen von 6 g Ca/kg Futter lag das Ca/P-Verhältnis in Gruppe II bei 1:1 und betrug in den übrigen Gruppen 1,5:1. Die Ergebnisse von BEERS und JONGBLOED (1991), nach denen 1000 Einheiten mikrobieller Phytase je kg Diät die scheinbare P-Verdaulichkeit auf 60 % anhoben, werden hiermit bestätigt. SIMONS et al. (1990) fanden bei der Verabreichung einer Mais-Soja-Diät an Schweine im LM-Bereich von 35–70 kg durch die Zulage von 1000 U Phytase/kg eine Steigerung der P-Verdaulichkeit von 20 auf 46 %. Anhand einer komplexeren, praxisüblichen Diät ermittelten dieselben Autoren bei Phytasezulage eine Verbesserung der P-Verdaulichkeit von 34 auf 56 %. In skandinavischen Untersuchungen (NÄSI 1990) wurde bei wachsenden Schweinen eine Verdaulichkeit des nativen P einer Mais-Soja-Diät von 16 % festgestellt, die durch die Zulage mikrobieller Phytase auf 40 % anstieg. Die P-Retention wich dabei von der scheinbaren Absorption mit 14 bzw. 39 % nur geringfügig ab, da die P-Ausscheidung über den Harn nur etwa 1–2 % der P-Aufnahme betrug.

Verbesserte Verfügbarkeit von Calcium, Magnesium und Zink durch Einsatz von Phytase

Verfügbarkeit von Calcium

In ähnlicher Weise wie die scheinbare Absorption des P konnte in der eigenen Untersuchung die scheinbare Absorption des Ca durch Phytasezulage verbessert werden (Abb. 1). Bei gleichem Ca-Gehalt sämtlicher Futtermischungen (6 g/kg) stieg die scheinbare Ca-Absorption von 56 % (Gruppe I) statistisch gesichert auf 74 % (Gruppe III) bzw. 79 % (Gruppe IV) an. Analog zur Situation bei P traten auch bei der scheinbaren Absorption des Ca in Gruppe IV (1000 U Phytase) die geringsten tierindividuellen Abweichungen auf, d. h., daß eine relativ konstante positive Wirkung der

höchsten geprüften Phytasedosierung zu verzeichnen war. Bei vergleichbarem Ca-Gehalt der Diät, jedoch Schweinen im Lebendmassebereich von 35–70 kg, stellten SIMONS et al. (1990) ebenfalls eine Steigerung der scheinbaren Ca-Absorption fest. Bei der Mais-Soja-Diät erfolgte durch die mikrobielle Phytasezulage ein tendenzieller Anstieg von 44 auf 50 % und in der komplexeren, praxisüblichen Diät ein signifikanter Anstieg von 50 auf 58 %. Auch in der Untersuchung von NÄSI (1990) lag die scheinbare Ca-Absorption der Phytasegruppe mit 52 % signifikant höher als in der Vergleichsgruppe mit 39 %.

Für die Steigerung der Ca-Verdaulichkeit sind als Wirkzusammenhang denkbar: Die mikrobielle Phytase führt zu einer Phytinsäurehydrolyse, wobei neben dem Phosphor die komplexierten Ca-Ionen freigesetzt und damit für das Tier verfügbar werden. Andererseits kommt es durch die mineralische P-Zulage (Gr. II) und durch die Phytasezulage (Gr. III und IV) zu einer erhöhten P-Mineralisation in den Knochen der Tiere. Im Vergleich zur Negativkontrolle kann damit auch mehr Ca eingelagert werden, was zu einer erhöhten scheinbaren Ca-Absorption führen dürfte.

Verfügbarkeit von Magnesium und Zink

Neben einer verbesserten Verwertung von P und Ca kann durch den Einsatz mikrobieller Phytase die Verwertung weiterer durch Phytat komplexierter Mengen- und Spurenelemente positiv beeinflusst werden. In der vorliegenden Untersuchung konnte durch den Zusatz von Phytase die scheinbare Absorption des nativen Futtermagnesiums (1,5 g Mg/kg Futter) von 19–24 % signifikant auf 32–33 % gesteigert werden. Zwischen der Dosierung von 500 und 1000 Einheiten Phytase/kg Futter zeigte sich dabei kein Unterschied.

Von besonderem ernährungsphysiologischen Interesse dürfte der Zusammenhang zwischen Phytase und Zinkverwertung sein. Aufgrund der antinutritiven Eigenschaften von Phytinsäure liegen die Versorgungsempfehlungen für Zn beim Ferkel mit 80–100 mg/kg Futter um ein Vielfaches höher als der tatsächliche Nettobedarf. Es ist seit langem bekannt, daß bei Ferkeln und Mastschweinen bei Verabreichung einer phytatfreien Diät bereits 12–20 mg Zink je kg Futter ausreichen, um optimales Wachstum zu gewährleisten. In der vorliegenden Untersuchung konnte durch Zusatz von Phytase die scheinbare Absorption des Zinks, dessen Gehalt im Futter 60 mg je kg (davon 30 mg nativ und 30 mg Zulage als Zn-Sulfat) betrug, in der ersten Stoffwechselperiode (12 kg schwere Ferkel) von 16–17 % auf 24 % (500 U Phytase) bzw. 31 % (1000 U Phytase) signifikant gesteigert werden. Bei den etwa 18 kg schweren Ferkeln wurde die Absorption des Nahrungszinks durch Phytasezulage von 25 % auf 34 % erhöht, wobei zwischen den beiden geprüften Phytasedosierungen kein Unterschied mehr erkennbar war. Die durch Phytase verbesserte Zn-Verfügbarkeit konnte auch anhand der Zn-Statusparameter Plasma-Zn-Gehalt und prozentuale freie Zinkbindungskapazität nachgewiesen werden.

Die scheinbare Absorption der Spurenelemente Eisen und Kupfer konnte durch Phytase ebenfalls tendenziell gesteigert werden. Wird von einer weitgehenden praecaecalen Hydrolyse von Phytinsäure durch mikrobielle Phytase ausgegan-

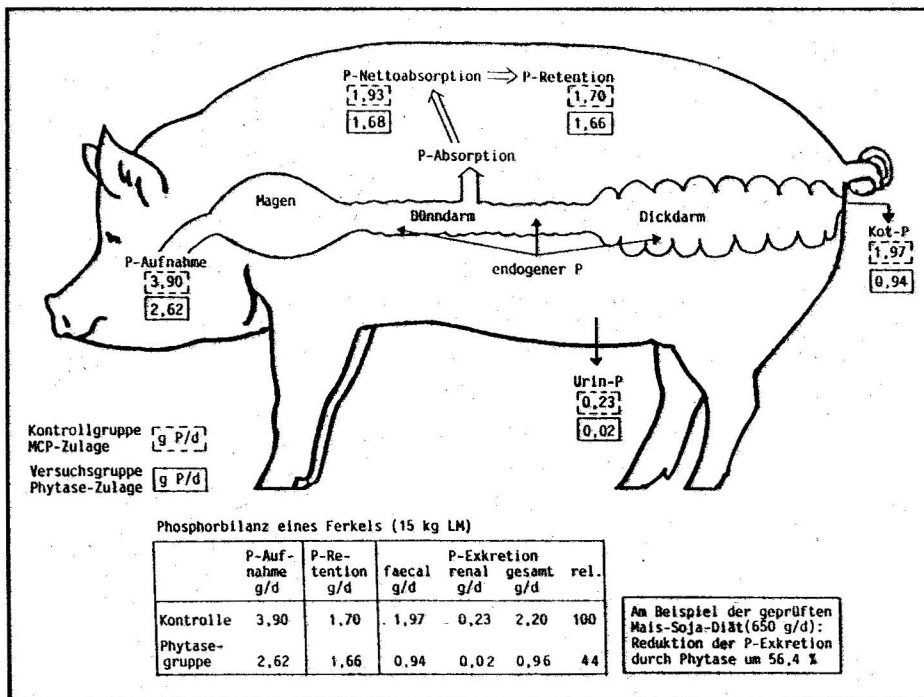


Abb. 2: Reduktion der täglichen Phosphorausscheidung bei einem Ferkel mit 15 kg Lebendmasse und 445 g Tageszunahme durch Zulage von mikrobieller Phytase zu einer Mais-Soja-Diät (1000 U/kg) anstelle einer Ergänzung mit 0,20 % P als Monocalciumphosphat (MCP).

gen, so könnten für einige Elemente die bisherigen Versorgungsempfehlungen, die für phytinreiche Rationen gelten, möglicherweise reduziert werden.

Reduktion der P-Exkretion durch Phytase und weitere Fütterungsmaßnahmen

In Abb. 2 sind die Ergebnisse des beschriebenen Phytaseversuches im Hinblick auf die Reduktion der P-Exkretion modellhaft dargelegt. Durch den Ersatz von 0,20 % mineralischem P durch 1000 Einheiten Phytase/kg Futter konnte unter den vorliegenden Versuchsbedingungen bei gleicher Wachstumsleistung der Ferkel die P-Exkretion um nicht weniger als 56 % reduziert werden. Aus verschiedenen Gründen dürfte jedoch das Ausmaß der möglichen Reduktion der P-Exkretion in der Praxis deutlich niedriger liegen. Verschiedene vorsichtige Schätzungen gehen davon aus, daß unter praktischen Bedingungen die P-Ausscheidung beim Schwein

nahezu keine Phytaseaktivität auf. Völlig unzureichend ist beim monogastrischen Tier auch die körpereigene Phytaseaktivität im Gastrointestinaltrakt. Durch die schlechte Verwertbarkeit des Phytin-P waren bislang relativ hohe mineralische P-Ergänzungen im Mischfutter für Schweine erforderlich. Der hohe Anteil an ungenutzt ausgeschiedenem Phosphor wurde jedoch zunehmend zu einer Umweltbelastung. In jüngster Zeit wird daher der Einsatz großtechnisch hergestellter mikrobieller Phytase, die im Gegensatz zu pflanzlicher Phytase über einen weiten pH-Bereich aktiv ist, diskutiert und erprobt. Wie Untersuchungen an Ferkeln und Mastschweinen zeigen, wird durch die Zulage mikrobieller Phytase die Verwertung des Phytin-P sehr deutlich verbessert. Unter Institutsbedingungen konnte bei Ferkeln am Beispiel einer Mais-Soja-Ration die P-Ausscheidung dabei ohne Leistungseinbußen um über 50 % reduziert werden. Unter Praxisbedingungen dürfte eine Verringerung der P-Ausscheidung um bis zu 30 % bei Einsatz von Phytase als Futterzusatzstoff realistisch sein. Neben der Verbesserung der P-Verwertung wird durch Phytase auch die Verfügbarkeit der ansonsten durch Phytatbildung komplexierten Mineralstoffe Calcium, Magnesium und Zink verbessert. Ähnliche positive Wirkungen sind für Eisen und Kupfer denkbar. Mit dem nunmehr auch in der Bundesrepublik futtermittelrechtlich genehmigten Einsatz von Phytase ist erstmals ein Enzympräparat per Ausnahmegenehmigung als Futterzusatzstoff zugelassen worden. Es ist anzunehmen, daß weitere Enzyme folgen werden. Im Bestreben um eine möglichst hohe Effizienz der Mineralstoffverwertung in der Tierernährung steht insbesondere bei Phosphor die Minimierung der P-Ausscheidung in die Gülle aus ökologischen Gründen im Vordergrund. Neben dem möglichen Einsatz von mikrobieller Phytase sollten dabei allerdings weitere Maßnahmen zur Optimierung der tierischen Leistung sowie die exakte Umsetzung der Versorgungsempfehlungen in die Praxis und eine bessere Anpassung an Bedarfsänderungen (z. B. Phasenfütterung in der Mast) nicht vernachlässigt werden.

Tabelle 1:
Maßnahmen der Tierernährung zur Verbesserung der P-Verwertung und damit zur Reduktion der P-Ausscheidung beim Schwein

1. Förderung der gastrointestinalen Phytinsäurehydrolyse
 - 1.1 Auswahl phytasereicher Komponenten wie Weizen, Roggen, Triticale oder deren Kleien als Rationsbestandteil
 - 1.2 Einsatz von Phytase mikrobieller Herkunft
2. Exakte Ermittlung des P-Bedarfes und Umsetzung in praxisnahe Versorgungsempfehlungen
3. Optimale tierische Leistung zur Minderung des (unproduktiven) Erhaltungsanteiles
4. Sorgfältige Rationsberechnung und Anpassung an Bedarfsänderungen (z. B. Phasenfütterung in der Mast)
5. Gezielter Einsatz von Leistungsförderern, organischen Säuren und Probiotika
6. Soweit P-Ergänzung der nativen Gehalte noch erforderlich, Einsatz hochverwertbarer mineralischer Phosphorträger