

Entwicklung der P-Versorgungsempfehlungen für landwirtschaftliche Nutztiere

Prof. Ernst Pfeffer (Bonn)

1. Einleitung

Die Suche nach quantitativen Angaben zum Bedarf landwirtschaftlicher Nutztiere an verschiedenen Nährstoffen ist eine permanente Aufgabe für Wissenschaftler, die auf dem Gebiet der Tierernährung tätig sind. Für den Bereich der mineralischen Mengenelemente ist die so genannte faktorielle Methode seit Jahrzehnten ein anerkannter Ansatz für eine deduktive Ableitung von Empfehlungen zur Versorgung der Tiere, wobei eine regelmäßige Anpassung an fortschreitende wissenschaftliche Erkenntnisse möglich ist.

Als Basis für die Ableitung wird zunächst erfasst, welche Konzentration an dem jeweiligen Mineralstoff in den relevanten Produkten angenommen werden muss, also in Milch, Körpermasse, Konzeptionsprodukten und Ei. Die Erfassung der entsprechenden Konzentrationen in Milch oder Eiern ist unproblematisch, auch für die Mineralstoffgehalte in Körpermasse bzw. im Inhalt des Uterus zu verschiedenen Zeiten der Trächtigkeit liegen inzwischen gesicherte Informationen in der Literatur vor.

Schwieriger ist es, allgemein gültige Aussagen über die Höhe der Ausscheidungen von Mineralstoffen zu machen. Unter konkreten Bedingungen gemessene Ausscheidungen können mit einem der folgenden Adjektive charakterisiert werden:

- unvermeidlich* - diese sind durch die Physiologie der Tiere bedingt und unabhängig von der Fütterung,
- unverdaulich* - diese hängen davon ab, wie vollständig jeweils der Übertritt aus dem Verdauungstrakt in das Blut erfolgen kann, sie sind also durch die Art des Futters bedingt,
- regulativ* - diese hängen ab von der Höhe der Versorgung, d. h. von dem Grad, in dem die tatsächliche Aufnahme den jeweiligen Bedarf der Tiere übersteigt.

Aus einzelnen Bilanzstudien lässt sich nicht entnehmen, in welchem Ausmaß die drei Ursachen an den gemessenen Gesamtausscheidungen beteiligt sind. Im Folgenden soll die Entwicklung für Empfehlungen zur Versorgung verschiedener Tiere mit Phosphor (P) aufgezeigt werden.

2. Entwicklung für Empfehlungen zur P-Versorgung von Rindern

Als vor etwa einem Jahrzehnt überarbeitete Empfehlungen zur P-Versorgung von Rindern mitgeteilt wurden (GfE, 1993), bestand inhaltlich die wesentlichste Änderung darin, dass die unvermeidlichen Verluste als Funktion nicht mehr der Lebendmasse, sondern der aufgenommenen Trockenmasse angesehen wurde. Dies bedeutet, dass der Begriff „Erhaltungsbedarf“ für die P-Versorgung der Wiederkäuer nicht mehr zu verwenden ist. Höhere Leistungen setzen höhere Futteraufnahmen voraus und dies verursacht Steigerungen in den P-Verlusten, unabhängig vom P-Bedarf für die spezielle Leistung.

Die ursprüngliche Vermutung, dass nämlich die unverdaulichen Bestandteile für die unvermeidlichen P-Verluste im Kot verantwortlich seien, muss inzwischen als wi-

derlegt angesehen werden, die Höhe dieser Größe ist vielmehr eng mit dem verdaulichen Anteil der organischen Substanz korreliert. Als hypothetische Erklärung für diesen Befund dient die Annahme, dass unvermeidliche P-Verluste im Kot auf mikrobiell gebundenen Phosphor zurückgehen und dass das Ausmaß des mikrobiellen Wachstums durch die verdauliche organische Substanz begrenzt wird.

Die Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (1993, 2001) leitet aus der verfügbaren Literatur folgende Annahmen zum Nettobedarf von Phosphor bei Rindern ab:

Sekretion mit der Milch	-	1,0 g je kg Milch
Intrauterine Einlagerung		
6.-4. Woche a.p.	-	2,1 g pro Tag
ab 3. Woche a.p.	-	3,0 g pro Tag
Ansatz bei Wachstum	-	7,5 g je kg Zuwachs
Unvermeidliche Verluste	-	1,0 g je kg verzehrter Futter-Trockenmasse

Bei diesen Annahmen ist jeweils ein gewisser Sicherheitszuschlag enthalten, wenn Zweifel an der allgemeinen Gültigkeit vorgetragen wurden.

Deutlich schwieriger als die Ableitung des Nettobedarfes ist die Beantwortung der Frage, welcher Anteil der mit dem Futter aufgenommenen P-Menge zur Deckung des Nettobedarfes verwertet werden kann.

Vor gut vier Jahrzehnten eröffnete der Einsatz von Isotopen in der Ernährungsphysiologie völlig neue Perspektiven und die Frage nach der Verwertbarkeit des Phosphors schien leicht zu lösen, da für dieses Element mit ³²P ein vergleichsweise leicht einzusetzendes Radioisotop zum Einsatz gebracht werden konnte. Für monogastrische Tiere sind nach der „Isotopen-Verdünnungs-Methode“ auch sehr plausible Ergebnisse erarbeitet worden.

Im Falle der Wiederkäuer muss aus physiologischen Gründen allerdings bezweifelt werden, dass mit dieser Methode aussagekräftige Werte für die Verwertbarkeit des Phosphors verschiedener Herkünfte erhalten werden können. Der Grund für diese Skepsis gegenüber der Methode ist die Existenz des „endogenen Phosphat-Kreislaufs“. Es muss davon ausgegangen werden, dass über den Speichel der Wiederkäuer regelmäßig mehr Phosphor in den Pansen gelangt als über das Futter. Ferner ist zu unterstellen, dass durch die mikrobielle Tätigkeit der gesamte Phosphor im Vormagen in einen gemeinsamen „Pool“ überführt wird, aus dem der Abfluss in den Darm erfolgt. Als Konsequenz daraus ist anzunehmen, dass bei der Absorption zwischen endogenem P aus Speichel und exogenem P aus Futter nicht unterschieden werden kann. Die nach Verabreichung des Radioisotops im Kot gemessene spezifische Aktivität des Phosphors kann demnach als Indikator für die Relation zwischen endogener Sekretion und exogener Aufnahme von Phosphor angesehen werden, sie erlaubt aber keinen Rückschluss auf die Verwertbarkeit verschiedener P-Quellen.

Als Alternative haben wir den Differenzversuch gewählt. Als Kontrolle dienten zunächst Rationen mit akutem P-Mangel, denen P-Mengen zugesetzt wurden, die den Man-

gel zwar deutlich minderten, jedoch nicht völlig behoben. Die Tiere waren also auch bei Fütterung der Zulagen bestrebt, die maximal mögliche Absorption auszuschöpfen, also regulative P-Ausscheidungen gar nicht auftreten zu lassen.

Unter diesen Umständen waren zwischen verschiedenen P-Herkünften keine Unterschiede in der Verwertbarkeit nachzuweisen. Generell ergaben sich Verwertbarkeiten in der Höhe von 90 %. Der Ausschuss für Bedarfsnormen konnte sich zu einer Übernahme dieser sehr hohen Werte nicht entschließen, vor allem weil die Ergebnisse nicht an Milchkühen, sondern an Ziegen ermittelt worden waren. Bis zum Vorliegen spezifischer Versuchsergebnisse wird deshalb generell mit einer Verwertung von 70 % gerechnet, unabhängig von der Herkunft des Phosphors im Futter.

Als Nettobedarf war abgeleitet worden, dass 1,0 g P je kg Milch einerseits und je kg verzehrter Trockenmasse andererseits anzusehen sei. Nehmen wir generell 70 % für die Verwertung an, so ist der Umrechnungsfaktor vom Nettobedarf auf die Bruttoversorgung $1:0,7 = 1,4$. Demnach lässt sich die empfohlene P-Menge für Milchkühe leicht ausrechnen als

$$P\text{-Aufnahme (g/Tag)} = 1,4 \times [\text{Milchleistung (kg/Tag)} + \text{Futterverzehr (kg T/Tag)}]$$

Tabelle 1 zeigt die Empfehlungen zur P-Versorgung von Milchkühen für verschiedene Milchleistungen zunächst als Menge pro Tag. Da der Einsatz von Totalen Mischrationen (TMR) immer größere Bedeutung für die Praxis gewinnt, werden auch die anzustrebenden Konzentrationen im Futter aufgeführt.

Tabelle 1: Empfehlungen der GfE zur Versorgung von Milchkühen mit Phosphor

Milchleistung (kg/Tag)	T-Verzehr (kg/Tag)	P-Versorgung (g/Tag)	P-Konzentration im Futter (g/kg T)
10	12,5	32	2,6
20	16,0	51	3,3
30	20,0	71	3,6
40	23,0	90	4,0
50	26,0	109	4,2

Die Empfehlungen der GfE aus dem Jahr 1993 haben sowohl in den Niederlanden als auch in den USA zu einer experimentellen Überprüfung an Milchkühen geführt. In beiden Fällen wurde mit TMR gearbeitet, die sich jeweils ausschließlich in ihren Konzentrationen an Phosphor unterschieden (Tab. 2 und 3).

Tabelle 2: Milchleistungen bei unterschiedlichen P-Konzentrationen im Futter (VALK und SEBEK, 1999)

P-Gehalt im Futter (g/kg T)			
Erste Laktation	3,3	2,7	2,3
Trockenphase	2,6	1,9	1,6
Zweite Laktation	3,4	2,8	2,4
Kuhzahl	6	8	6
Milch je Kuh (kg)			
Erste Laktation ab 17. Woche	3.616	3.555	3.443
Zweite Laktation, 2. bis 42. Woche	9.409	9.736	-

In der niederländischen Untersuchung (Tab. 2) fiel die Milchleistung bei P-Gehalten im Futter von weniger als 2,5 g/kg T so stark ab, dass diese Behandlung abgebrochen wurde. Trotzdem ist aus dieser Arbeit abzuleiten, dass eine P-Konzentration von mehr als 3 g/kg T zur Erbringung hoher Leistungen offenbar nicht benötigt wird. Diese Schlussfolgerung wird weiter bekräftigt durch die in der Tabelle 3 aufgeführten amerikanischen Untersuchungen.

Tabelle 3: Einfluss unterschiedlicher P-Gehalte in TMR auf die Milchleistung (WU et al., 2001)

P-Gehalt im Futter (g/kg T)	4,7	3,9	3,1
Kuhzahl	12	14	10
Verzehr pro Kuh (kg T/Tag)	24,6	25,0	25,6
Milch pro Kuh (kg in 308 Tagen)	12.126	11.909	13.038
Milchfett (%)	3,64	3,50	3,64
Milchprotein (%)	3,10	3,13	3,16

Aus den beiden langfristigen Untersuchungen an hochleistenden Milchkühen ist demnach abzuleiten, dass die in Deutschland gültigen Empfehlungen zur P-Versorgung mit Sicherheits-Zuschlägen ausgestattet sind, die eine erneute Überarbeitung durch den Ausschuss für Bedarfsnormen in absehbarer Zukunft rechtfertigen. Dem Ergebnis dieser Überarbeitung soll hier nicht vorgegriffen werden. Als überprüfenswert sei hier jedoch erwähnt

- die Annahme eines P-Gehaltes der Milch von 0,9 statt 1,0 g/kg,
- die Annahme unvermeidlicher P-Verluste von 1,2 statt 1,4 g/kg Futter-T,
- die Annahme einer P-Verwertung von 80 statt 70 %.

Für die Erstellung ausgeglichener Hoftor-Bilanzen dürften diese zunächst gering erscheinenden Modifikationen von erheblicher Relevanz sein.

3. Entwicklung für Empfehlungen zur P-Versorgung von Monogastriern

Analog zu dem Vorgehen für Rinder hat der Ausschuss für Bedarfsnormen (GfE, 1997) auch für Schweine nach Sichtung der relevanten Literatur zunächst Annahmen für den Nettobedarf an Phosphor abgeleitet, die im Folgenden zusammen gefasst sind:

- Sekretion mit der Milch - 1,6 g je kg Milch
- Intrauterine Einlagerung
 - bis 84. Trächtigkeitstag - 2,1 g pro Tag
 - ab 84. Trächtigkeitstag - 3,0 g pro Tag
- Ansatz bei Wachstum
 - bis etwa 80 kg LM - 5,0 g je kg Zuwachs
 - ab 80 kg LM - 4,5 g je kg Zuwachs
- Unvermeidliche Verluste - 10 mg je kg Lebendmasse und Tag

Während beim Wiederkäuer nicht mit durch das Futter bedingten Unterschieden in der Verwertbarkeit von Phosphor verschiedener Herkünfte zu rechnen ist, steht die Existenz solcher Unterschiede für monogastrische Tiere außer Zweifel. Deshalb werden auch keine Empfehlungen zur Versorgung mit Gesamt-P ausgesprochen, Basis für die Empfehlungen ist vielmehr der verdauliche Phosphor. Bei der hohen Bedeutung der Verdaulichkeit des Phosphors erschien es unbedingt notwendig, die Methode zu

deren Bestimmung genau festzulegen (GfE, 1994). Die in der Einleitung angesprochene Differenzierung von Ursachen für die Ausscheidung gilt hier uneingeschränkt und es muss auch für monogastrische Tiere unterstellt werden, dass eine regulative Ausscheidung von Phosphor primär über den Darm erfolgt. Wenn also die Ermittlung einer für ein bestimmtes Futter typischen Verdaulichkeit des Phosphors das Ziel einer experimentellen Untersuchung ist, dann muss sicher gestellt werden, dass keine regulative P-Ausscheidung statt findet. Diese Forderung kann nur dadurch erfüllt werden, dass die Höhe der Versorgung mit Phosphor suboptimal ist, das Tier also alle Möglichkeiten zur Absorption von Phosphor voll ausschöpft. Die Konsequenz aus dieser Festlegung ist, dass korrekt gemessene Nettoabsorptionen von Phosphor nur dann als P-Verdaulichkeit interpretiert werden dürfen, wenn die P-Versorgung der Versuchstiere unzureichend war; bei angemessener oder gar überreichlicher P-Versorgung muss die Nettoabsorption immer niedriger ausfallen als die durch das Futter bedingte Verdaulichkeit. Wie der Tabelle 4 zu entnehmen ist, ergeben sich für anorganische Phosphate sehr ähnliche P-Verdaulichkeiten bei Forelle und Ferkel, so dass diese Werte wohl generell für Monogastrier unterstellt werden dürfen.

Tabelle 4: P-Verdaulichkeiten bei Forellen und Ferkeln für identische Chargen verschiedener anorganischer Phosphate

P-Quelle	P-Verdaulichkeit (%)	
	Forelle	Ferkel
Mono-Natrium-Phosphat	95	96
Mono-Calcium-Phosphat	93	92
Ca-Na-Mg-Phosphat	92	94
Di-Calcium-Phosphat	77	83
Mono-Di-Calcium-Phosphat	73	76

Die Tabelle 4 zeigt auch, dass zwischen verschiedenen Phosphaten offenbar beachtliche Unterschiede in der P-Verdaulichkeit bestehen.

Während Phosphor aus organischen Futtermitteln für Wiederkäuer als ebenso gut verwertbar angesehen wird wie derjenige aus verschiedenen anorganischen Phosphaten, ergibt sich für die Verdaulichkeit des Phosphors aus pflanzlichen Futtermitteln beim Schwein eine sehr große Varianz mit Werten von weniger als 20 % bei Körnermais und mehr als 70 % bei einigen Weizensorten. Diese große Varianz macht den Wunsch verständlich, analog zu den Verhältnissen bei der Energie auch für den verdaulichen Phosphor Schätzformeln zu entwickeln, mit deren Hilfe aus leicht durchzuführenden Analysen im Labor im Einzelfall auf den Gehalt an verdaulichem Phosphor geschlossen werden kann. Die nahe liegende Annahme, dass hier die Analyse auf Phytat einerseits und auf Futter-eigene Phytase weiter helfen könnte, hat sich bisher allerdings nicht als gangbarer Weg erwiesen. Es muss also weiter gesucht werden.

Als fundamentale Neuerung des zurückliegenden Jahrzehnts ist die Zulassung mikrobiell erzeugter Phytasen als Futterzusatzstoff zu benennen. Derartige Phytasen finden in der praktischen Fütterung inzwischen auch in großem Ausmaß Verwendung. Es muss gelegentlich daran erinnert werden, dass der Zusatz von Phytase zum Futter allein noch nicht zu einer Minderung der P-Ausscheidung durch die Tiere führt. Die entscheidende Wirkung des Zu-

satzes ist, dass bei korrektem Einsatz dieses Enzyms beim Schwein die Verdaulichkeit des Phosphors aus Körnern, Ölschroten und vergleichbaren Futtermitteln in den Bereich 65 bis 70 % angehoben wird, wodurch für die Optimierung der Ration die Möglichkeit zum teilweisen oder gar vollständigen Verzicht auf anorganische Phosphate geschaffen wird. Erst die so möglich gewordene Verringerung des P-Gehaltes im Futter ist dann Ursache für die Reduktion der P-Ausscheidung durch die Tiere.

Im zurückliegenden Jahrzehnt ist die Kenntnis über den verdaulichen Phosphor beim Schwein stark erweitert worden. Die von der GfE (1997) ausgesprochenen Empfehlungen zur Versorgung von Schweinen enthalten offenbar genügend Sicherheits-Spielraum für die Praxis, so dass für gelegentlich geforderte zusätzliche P-Gaben keine Berechtigung besteht (HOVENJÜRGEN et al., 2002).

Im Bereich des Geflügels sind in diesem Zusammenhang noch verschiedene Fragen offen, aber es ist zu erwarten, dass laufende Arbeiten in Halle hier in absehbarer Zeit zu einer Abrundung des Bildes beitragen werden. Entsprechendes gilt für das Fachgebiet der Fischfütterung, mit dem sich eine Bonner Arbeitsgruppe beschäftigt.

4. Zusammenfassung

Für Rind und Schwein sind Empfehlungen zur Versorgung mit Phosphor abgeleitet worden, die geeignet sind, bisher übliche Überversorgungen abzubauen, ohne dass die physiologisch begründeten Bedürfnisse der Tiere in irgendeiner Weise unberücksichtigt bleiben. Die Übertragung dieser Empfehlungen in die Praxis dürfte in nennenswertem Ausmaß zu einer Steigerung der Umweltverträglichkeit heute üblicher Formen der tierischen Veredelung beitragen. Für weitere Tierarten sind entsprechende Ableitungen zu erwarten.

5. Literatur

- GfE [Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie] (1993): bearbeitete Empfehlungen zur Versorgung von Milchkühen mit Calcium und Phosphor. Proceedings of the Society of Nutrition Physiology 1, 108-113
- GfE [Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie] (1994): Die Bestimmung des verdaulichen Phosphors beim Schwein. Proceedings of the Society of Nutrition Physiology 2, 113-119
- GfE [Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie] (1997): Überarbeitete Empfehlungen zur Versorgung von Schweinen mit Phosphor. Proceedings of the Society of Nutrition Physiology 6, 193-200
- GfE [Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie] (2001): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 8 - Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG-Verlag, Frankfurt am Main, 136 Seiten
- HOVENJÜRGEN, M., H. JÜNGST, M. RODEHUTSCORD, E. PFEFFER (2002): Untersuchungen zur Fütterung von Zuchtsauen auf der Basis des verdaulichen Phosphors. Züchtungskunde 74, 70-78
- VALK, H., L. B. J. SEBEK (1999): Influence of long-term feeding of limited amounts of phosphorus on dry matter intake, milk production, and body weight of dairy cows. Journal of Dairy Science 82, 2157-2163
- WU, Z., L.D. SATTER, A.J. BLOHOWIAK, R.H. STAUFFACHER, J.H. WILSON (2001): Milk production, estimated phosphorus excretion, and bone characteristics of dairy cows fed different amounts of phosphorus for two or three years. Journal of Dairy Science 84, 1738-1748

Anschrift des Verfassers

Prof. Ernst Pfeffer
Institut für Tierernährung der Universität Bonn
Endenicher Allee 15, 53115 Bonn
E-Mail: ite@uni-bonn.de