



## 18. Alpenländisches Expertenforum

Raumberg-Gumpenstein 2013

### Phosphor im Grünlandbetrieb - Bedeutung und aktuelle Problembereiche

10. Oktober 2013

Organisiert von:

Lehr- und Forschungszentrum  
für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein  
Beratungsabteilung des Bundesministeriums  
für Land- und Forstwirtschaft  
Umwelt und Wasserwirtschaft

Österreichische Arbeitsgemeinschaft  
für Grünland und Futterbau (ÖAG)



[www.raumberg-gumpenstein.at](http://www.raumberg-gumpenstein.at)

# Bericht

über die

## 18. Alpenländisches Expertenforum

zum Thema

### **Phosphor im Grünlandbetrieb - Bedeutung und aktuelle Problemlberichte**

10. Oktober 2013  
LFZ Raumberg-Gumpenstein

#### Organisation

- Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (LFZ)
- Beratungsabteilung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
- Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau (ÖAG)



## **Impressum**

### *Herausgeber*

Lehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft  
Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irdning  
des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft,  
Umwelt und Wasserwirtschaft

### *Direktion*

Prof. Mag. Dr. Albert SONNLEITNER und  
Mag. Dr. Anton HAUSLEITNER

*Für den Inhalt verantwortlich*  
die Autoren

### *Redaktion*

Univ.-Doz. Dr. Erich M. PÖTSCH  
Institut für Pflanzenbau und Kulturlandschaft

### *Layout und Satz*

Hilde EGGER und Sandra ILLMER

### *Druck, Verlag und © 2013*

Lehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft  
Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irdning

ISBN: 978-3-902559-98-2

ISSN: 1818-7722

## Vorwort

Die nachhaltige Bewirtschaftung von Grünland erfordert eine den gegebenen Standortverhältnissen gut angepasste Abstimmung zwischen Nutzungshäufigkeit und Düngungsintensität. Der Alpenraum weist hinsichtlich der Standortbedingungen eine enorme Variationsbreite von extremen Höhenlagen bis hin zu hoch produktiven Gunstlagen auf und bietet damit die Grundlage für unterschiedlichste Intensitätsstufen der Grünlandbewirtschaftung. Dies erfordert aber auch entsprechend gestaltete Vorgaben und Richtlinien für eine sachgerechte Düngung unter Berücksichtigung der standörtlichen Vielfalt. Derartige Regelwerke gewinnen durch das allgemein gestiegene Umweltbewusstsein aber auch durch zunehmende Anforderungen und Auflagen hinsichtlich Klimaschutz und Naturschutz immer mehr an Bedeutung. Um diesen steigenden Anforderungen gerecht zu werden, wurden die Düngungsrichtlinien, die den Praktikern heute zur Verfügung stehen, in den vergangenen Jahren angepasst und etwa für den Bereich der Anfallsmengen von Wirtschaftsdüngern und Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere überarbeitet.

Ein erklärtes Ziel der produktiven Grünlandbewirtschaftung ist die Bereitstellung von qualitativ hochwertigem Grundfutter in ausreichender Menge, wofür die Art und Intensität der Düngung neben der Nutzungshäufigkeit maßgeblich bestimmend ist. Die für die Pflanzen essentiellen Nährstoffe müssen über die Düngung nachgeliefert werden und bilden gemeinsam mit dem im Boden vorhandenen Nährstoffpool die Basis zur nachhaltigen Ertrags- und Qualitätssicherung von Wiesen und Weiden. Der Versorgungsgrad an Bodennährstoffen wird in vielen europäischen Ländern mittels Gehaltsklassen beurteilt und auch in die praktische Düngungsplanung miteinbezogen. Zahlreiche Untersuchungen belegen heute, dass ein beachtlicher Anteil von Grünlandböden eine niedrige bis sehr niedrige Versorgung an Phosphor zeigt, zugleich verweisen Fütterungsexperten vermehrt auf sinkende Phosphorgehalte im Grundfutter und deren Konsequenzen für die Bedarfsdeckung.

Im Rahmen des 18. Alpenländischen Expertenforums werden daher in zahlreichen Beiträgen die grundlegende Bedeutung des Phosphors für das Grünlandökosystem und den Grünlandbetrieb aufgezeigt sowie die aktuelle Situation und bestehende Problembereiche in Baden-Württemberg, Bayern und Österreich dargestellt und diskutiert. Besonderes Augenmerk gilt diesbezüglich auch der Biologischen Grünlandwirtschaft, für die nur eine begrenzte Auswahl an Phosphordüngern erlaubt ist. Nachdem Phosphor, ähnlich den fossilen Brennstoffen, als begrenzt verfügbare Ressource gilt, widmet sich die diesjährige Tagung auch Fragen des Phosphor-Recyclings aus technischer, ökologischer und ökonomischer Sicht.

Sämtliche Beiträge stehen den Tagungsteilnehmern in bewährter Weise bereits zum Zeitpunkt des Expertenforums in schriftlicher Form zur Verfügung. An dieser Stelle sei allen Referenten herzlich für die termingerechte Bereitstellung ihrer Manuskripte gedankt - ein besonderer Dank gilt vor allem Frau Brunhilde Egger und Frau Sandra Illmer für die sorgfältige redaktionelle Bearbeitung und Layoutierung der Beiträge! Dank und Anerkennung sei auch all jenen Mitarbeiterinnen des LFZ Raumberg-Gumpenstein ausgesprochen, die an der Planung, Organisation und erfolgreichen Ausrichtung des 18. Alpenländischen Expertenforums 2013 mitgewirkt haben.

MR Dipl.-Ing. Franz PALLER  
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft,  
Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien

HR Mag. Dr. Anton HAUSLEITNER  
Leiter für Forschung und Innovation  
LFZ Raumberg-Gumpenstein

Univ.-Doz. Dr. Erich M. PÖTSCH  
Abteilung Grünlandmanagement und Kulturlandschaft  
LFZ Raumberg-Gumpenstein



# Inhaltsverzeichnis

<b>Funktionen des Phosphors im Ökosystem .....</b>	<b>1</b>
Walter W. WENZEL	
<b>Einfluss von Boden und P-Düngerform auf die P-Aufnahme einiger mono- und dikotyle Pflanzenarten ...</b>	<b>5</b>
Sabine von TUCHER	
<b>Phosphorbilanzen und Phosphoreffizienz von Milchviehbetrieben in Nordwesteuropa .....</b>	<b>9</b>
Martin ELSÄSSER, Katja HERRMANN, Theresa JILG, Thomas HUMMLER und Jouke OENEMA	
<b>Phosphor im Grünland - Ergebnisse vom Ertrags- und Nährstoffmonitoring auf bayerischen Grünlandflächen und von Düngungsversuchen .....</b>	<b>17</b>
M. DIEPOLDER und S. RASCHBACHER	
<b>Pflanzenverfügbare Phosphorgehalt landwirtschaftlicher Nutzflächen in Österreich .....</b>	<b>25</b>
Andreas BAUMGARTEN und Georg DERSCH	
<b>Phosphorversorgung der OÖ. Grünlandflächen - Ergebnisse der OÖ. Landesbodenuntersuchung 2009 - Konsequenzen für die Beratung .....</b>	<b>29</b>
Franz Xaver HÖLZL	
<b>Jahreszeitlicher Verlauf der Phosphor-Konzentration im Bodenwasser eines Grünlandbodens .....</b>	<b>33</b>
Andreas BOHNER und Viktoria ROHRER	
<b>Auswirkung der Düngung auf P-Gehaltswerte im Boden und Futter sowie P-Bilanzen von Grünlandflächen .....</b>	<b>41</b>
Erich M. PÖTSCH, Reinhard RESCH und Karl BUCHGRABER	
<b>Phosphorversorgung und P-Kreisläufe auf österreichischen Bio-Grünlandbetrieben .....</b>	<b>51</b>
Stefan HÖRTENHUBER, Rainer WEISSHAIDINGER, Jürgen FRIEDEL, Thomas LINDENTHAL und Werner ZOLLITSCH	
<b>Phosphor-Recycling aus technischer, ökologischer und ökonomischer Sicht .....</b>	<b>61</b>
Matthias ZESSNER, Lukas EGLE und Helmut RECHBERGER	



# Funktionen des Phosphors im Ökosystem

Walter W. Wenzel<sup>1\*</sup>

## Einleitung

Phosphor ist wohl jener essentielle Nährstoff für Pflanzen und Tiere, dessen Verknappung bereits in relativ naher Zukunft weltweit die Produktion von Nahrungsmitteln sowie nachwachsenden Rohstoffen und Energieträgern limitieren wird. Die Produktivität von Ökosystemen ist oft eng an die Verfügbarkeit von Phosphor im Boden geknüpft. Die Verfügbarkeit von phosphorhaltigen Mineraldüngern ist ein Eckpfeiler der hohen Produktivität in der modernen Landwirtschaft. Umgekehrt wurden vor allem aquatische Ökosysteme infolge von Überdüngung landwirtschaftlicher Böden eutrophiert. Angesichts dieses Spannungsfeldes im Folgenden die Rolle des Phosphors in terrestrischen Ökosystemen kurz beschrieben und neuere Forschungsergebnisse zur Phosphorverfügbarkeit an der Grenzfläche Pflanzenwurzel - Boden, der Rhizosphäre präsentiert.

## Einige Funktionen des Phosphors in Pflanzenzellen (Hawkesford *et al.*, 2012)

Phosphor fungiert in Pflanzen als Komponente in makromolekularen Strukturen in Nukleinsäuren und ist damit ein essentieller Baustein von DNA und RNA. Somit ist Phosphor am Aufbau der Träger genetischer Informationen und von Molekülen beteiligt, welche für die Translation verantwortlich sind.

Phosphor ist in Form von Phospholipiden auch am Aufbau von Biomembranen beteiligt. Phospholipide besitzen eine lipophile und eine hydrophile Region. Letzterer kommt aufgrund ihrer elektrischen Ladung eine bedeutende Rolle bei Wechselwirkungen zwischen den Biomembranen und dem umgebenden Medium (z.B. Bodenwasser) zu. Phosphor hat eine weitere wichtige Funktion im Energietransfer und -speicherung von Pflanzenzellen. Hier spielen vor allem Phosphatester wie ATP eine zentrale Rolle.

## Phosphorverfügbarkeit im Boden als limitierender Faktor der Produktivität von Ökosystemen

Die Bioverfügbarkeit von Phosphor in Böden vieler Ökosysteme ist gering, da die Phosphorlöslichkeit

durch die Bindung in und an Oxiden des Eisens und Aluminiums sowie in Kalziumverbindungen über einen weiten pH-Bereich stark limitiert ist. Im Gegensatz zu Stickstoff gibt es keine gasförmigen Phosphorverbindungen in der Atmosphäre, sodass die Verwitterung aus Bodenmineralen die einzige wesentliche Quelle der Phosphornachlieferung darstellt. Im Zuge der Bodenentwicklung kommt es daher durch Erosion und Auswaschung in vielen terrestrischen Ökosystemen zu graduellen Phosphorverlusten.

## Phosphorbilanz für Österreich

*Abbildung 1* zeigt eine vereinfachte Phosphorbilanz für Österreich.

Die Phosphorbilanz macht deutlich, dass dem Kreislauf jährlich große Phosphormengen durch Deponie von Abfällen und Klärschlamm sowie Export in Gewässer entzogen werden. Durch die Rückgewinnung dieser Phosphormengen könnte in etwa der derzeitige Input an mineralischen Phosphordüngern substituiert werden (Rechberger *et al.*, 2013).

## Die Rolle der Rhizosphäre

An der Grenzfläche zwischen Pflanzenwurzel und Boden, der Rhizosphäre, kann die Phosphorverfügbarkeit durch Wurzelaktivitäten wie z.B. Ausscheidung von Protonen oder Citrat erhöht und somit die Effizienz der Phosphoraufnahme aus dem Boden gesteigert werden. Die tatsächlich erzielbare Phosphormobilisierung hängt von der Pflanzenart, der Sorte, aber auch wesentlich von der Zahl der Bindungsplätze an Bodenmineralen und deren Phosphorsättigung ab (Oburger *et al.*, 2009, Oburger *et al.*, 2011). *Abbildung 2* fasst wesentliche Prozesse der Regulierung der Phosphatverfügbarkeit in der Rhizosphäre zusammen.

Mit Hilfe von LA-ICPMS in Kombination mit Diffusive Gradients in Thin Films (DGT) konnte für eine Rapsorte zudem gezeigt werden, dass Phosphor speziell im Bereich des Wurzelapex auch aus Pflanzenwurzeln freigesetzt werden kann (Santner *et al.*, 2012). Die Effizienz der Nutzung von Phosphorvorräten im Boden könnte somit auch von der Fähigkeit unterschiedlicher Sorten abhängen, Phosphor in den Wurzelzellen

<sup>1</sup> Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Bodenforschung, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Konrad Lorenz Straße 24, A-3430 TULLN

\* Univ.-Prof. Dr. Walter W. WENZEL, walter.wenzel@boku.ac.at

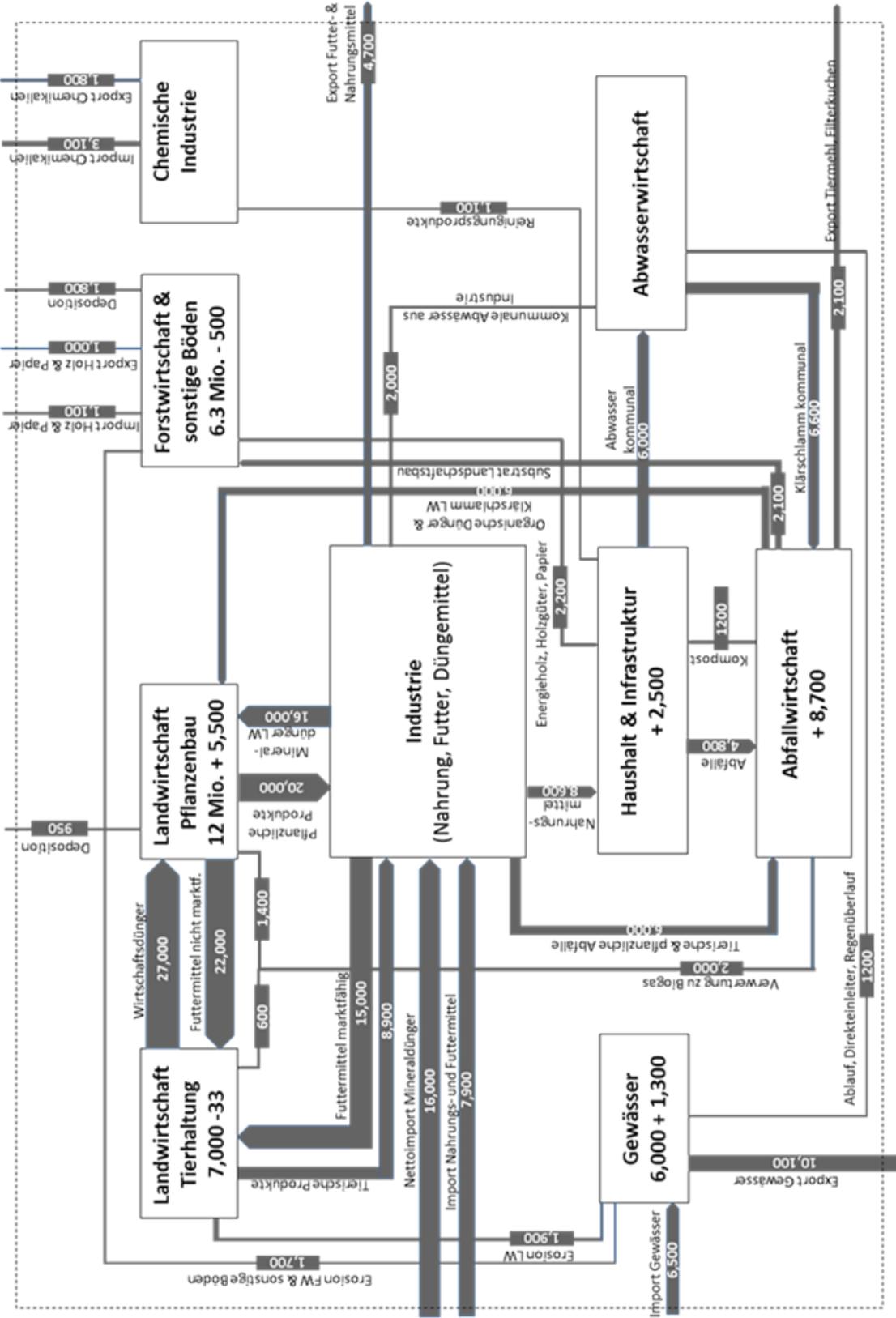


Abbildung 1: Phosphorbilanz für Österreich, vereinfacht nach Rechberger et al. (2013). Jahresmittelwerte (2004-2008) der Phosphorflüsse in t P y<sup>-1</sup>.

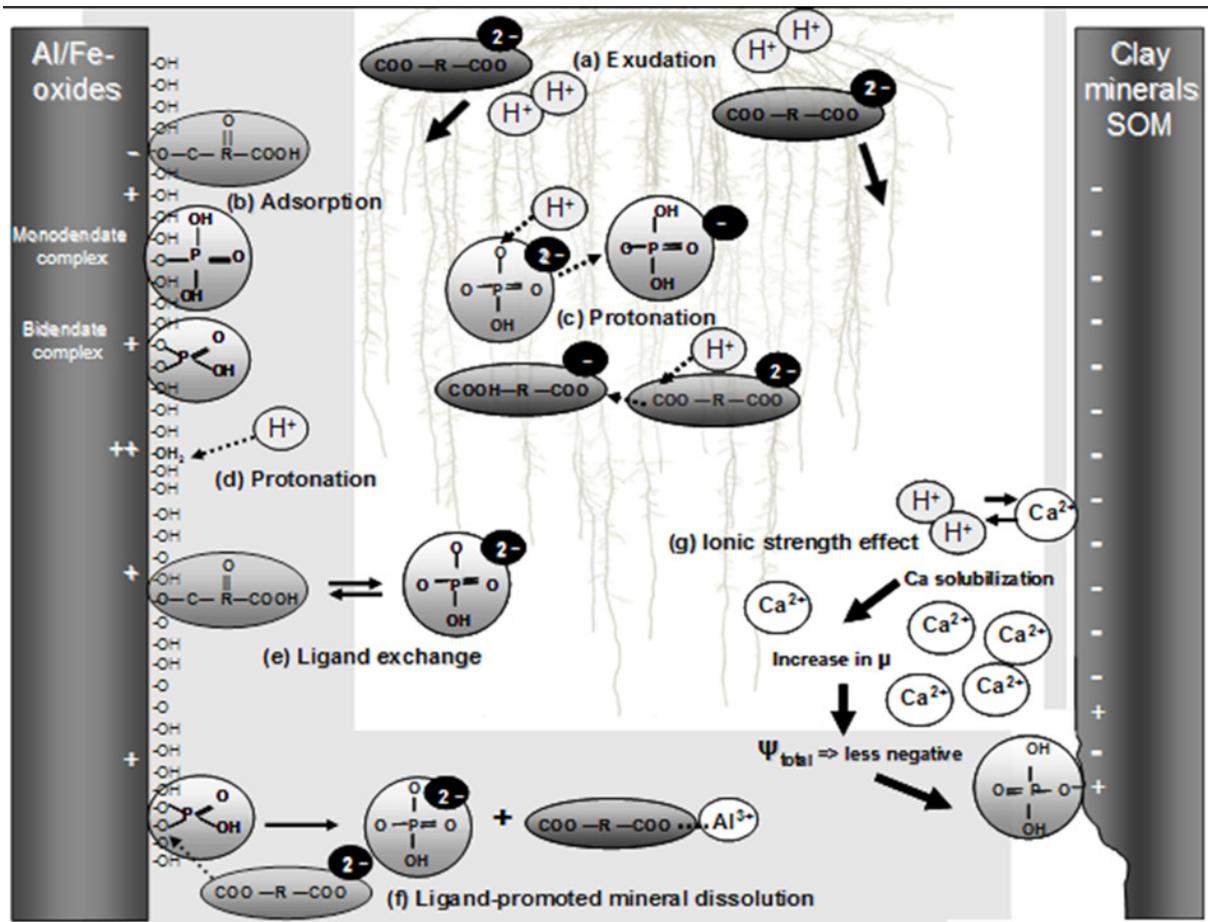


Abbildung 2: Mechanismen der Phosphatlöslichkeit in der Rhizosphäre (Oburger et al., 2011)

zu halten. Darüber hinaus kommt der Wurzelarchitektur und Wurzelmorphologie unterschiedlicher Sorten eine zentrale Rolle in der Akquisition von Phosphor durch Wild- und Kulturpflanzen zu. Gezielte Sortenwahl hinsichtlich Wurzelarchitektur und -morphologie und Wurzelaktivitäten zur Mobilisierung des Phosphors im wurzelnahen Boden können somit zu einer besseren Nutzung der im Boden vorhandenen Phosphorvorräte beitragen. In Kombination mit Strategien zur Rückgewinnung des Phosphors aus Abfällen und Klärschlamm und Minimierung des Austrags in Gewässer kann die gezielte Nutzung von Wurzel- und Rhizosphärenprozessen einen Beitrag zur Lösung des Peak-Phosphor Problems leisten.

## Literatur

Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Skrum-sager Moller, I., White, P. 2012: Functions of macronutrients. In: Marschner, P. (Hrsg.), Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3<sup>rd</sup> edition, Elsevier, Amsterdam.

Rechberger, H., Egle, L., Zessner, M., 2013: Ressource Phosphor. Verfügbarkeit, Nutzung, Optimierung. Wiener Mitteilungen Band 228, 105-120.

Oburger, E., Kirk, G.J.D., Wenzel, W.W., Puschenreiter, M., Jones, D.L., 2009: Interactive effects of organic acids in the rhizosphere. Soil Biology and Biochemistry 41, 449-457.

Oburger, E., Jones, D.L., Wenzel, W.W., 2011: Phosphorus saturation and pH differentially regulate the efficiency of organic acid anion-mediated P solubilization mechanisms in soil. Plant and Soil 341, 363-382.

Santner, J., Zhang, H., Leitner, L., Schnepf, A., Prohaska, T., Puschenreiter, M., Wenzel, W.W., 2012: High-resolution chemical imaging of labile phosphorus in the rhizosphere of *Brassica napus* L. cultivars. Environmental and Experimental Botany 77, 219-226.



# Einfluss von Boden und P-Düngerform auf die P-Aufnahme einiger mono- und dikotyler Pflanzenarten

Sabine von Tucher<sup>1\*</sup>

## Zusammenfassung

Phosphor liegt in den meisten in Böden stark gebunden vor, wobei die vorherrschenden Bindungsformen vor allem vom pH-Wert des Bodens abhängig sind. Unterschiedliche Pflanzenarten verfügen über verschiedene Fähigkeiten, die P-Verfügbarkeit zu erhöhen. Die Wirkung von P-Düngemitteln ist abhängig von der P-Form im Dünger, von den Eigenschaften des Bodens und der angebauten Pflanzenart. Düngemittel mit einem hohen Anteil an wasserlöslichem P (z.B. Superphosphat) zeigen auf allen Böden unabhängig von der Pflanzenart eine hohe P-Verfügbarkeit. Rohphosphate kommen auch nach langjähriger Anwendung nur auf Böden mit niedrigen pH-Werten zur Wirkung. Neuartige Düngemittel wie P-Recycling-Produkte aus Klärschlamm und Klärschlammmaschen erreichen eine gute Wirksamkeit, wenn sie einen hohen Anteil an wasserlöslichem P aufweisen oder Magnesiumbasierte Phosphate enthalten. Pflanzenarten mit höherer P-Effizienz wie Raps erschließen sich Düngemittel mit geringerer P-Verfügbarkeit leichter.

## Einleitung

Die Phosphat-Aufnahme von Pflanzenarten ist geprägt von der Besonderheit der Bindung von Phosphor in unterschiedlichen Böden: sehr geringe P-Konzentration der Bodenlösung, Boden abhängig starke Sorption von P an Eisen- und Aluminiumoxiden und -hydroxiden in schwach sauren bis sauren Böden, Vorliegen von Calcium-Phosphaten v.a. bei höheren pH-Werten, Vorkommen von organischen P-Verbindungen.

Pflanzenarten verfügen über eine Vielzahl von Eigenschaften und Möglichkeiten, die Verfügbarkeit von P zu verbessern und damit ihre P-Effizienz auch unter ungünstigeren Bedingungen zu erhöhen. Hierzu gehören morphologische Eigenschaften wie die Erhöhung der Wurzellängendichte, geringere Wurzelradien und die vermehrte Bildung und Länge von Wurzelhaaren, die Vergesellschaftung der Wurzel mit Mykorrhizapilzen, physiologische Eigenschaften und die Fähigkeit von Wurzeln durch die chemische Mobilisierung mit

Hilfe von Wurzelausscheidungen wie organischen Säuren direkt Einfluss auf die Konzentration an gelöstem P zu nehmen (z.B. Hinsinger, 2001). Auf Grund solcher Fähigkeiten und Eigenschaften gelten Raps v.a. durch die Abgabe von organischen Säuren (z.B. Hoffland *et al.*, 1989) aber auch Getreidearten und Gräser v.a. durch hohe Wurzellängendichten und eine hohes Wurzel/Sprossverhältnis (z.B. Föhse *et al.*, 1988) als eher P-effizient, Mais v.a. in der Jugendphase als eher P-ineffizient (z.B. Hendriks *et al.*, 1981).

Werden in dem System Pflanze-Boden P-Düngemittel eingesetzt, so treten Wechselwirkungen zwischen diesen einerseits und den Böden und Pflanzen andererseits auf. Wasserlösliche P-Düngerformen (Super-, Triplephosphate, Ammoniumphosphate) besitzen i.d.R. auf allen Böden und für alle Pflanzenarten eine hohe Verfügbarkeit. Rohphosphat-Dünger benötigen als Calcium-Phosphate jedoch saure pH-Bedingungen im Boden für ihren Aufschluss. Neuartige P-Düngemittel wie z.B. Recycling-Produkte aus Klärschlämmen oder Klärschlammmaschen weisen ein breites Spektrum an P-Wirksamkeit auf, was vor allem durch die Unterschiede im Herstellungsprozess bedingt ist (Römer, 2013). Für die Ausbringung von P-Düngern spielen auf Grund der Puffercharakteristik von P in Böden die Größe von Düngergranulaten und die räumliche Platzierung (z.B. als Banddüngung) eine wichtige Rolle.

Im Folgenden werden einige Beispiele für die P-Aufnahme von Pflanzenarten aus verschiedenen mineralischen P-Düngerformen auf unterschiedlichen Böden dargestellt.

## Material und Methoden

### Versuchsanlage

#### Langzeitexperiment zur P-Verfügbarkeit von mineralischen P-Düngemitteln

Boden 1: Bodenart Lu Ausgangs-pH-Wert  $\text{CaCl}_2$  4,7; CAL-P Gehalt in mg P/100 g Boden: „ohne P“ 0,44; „Super-“ 2,6; „Nova-P“ 2,2; „Hyper-P“ 1,8; Klärschlammmasche 1,3; „ungedüngt mit  $\text{CaCO}_3$ “ 0,68.

<sup>1</sup> Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Technische Universität München, Emil-Ramann-Straße 2, D-85350 FREISING-WEIHENSTEPHAN  
\* Ansprechpartner: Dr. Sabine von TUCHER, tucher@wzw.tum.de

Boden 2: Bodenart Lu Ausgangs-pH-Wert  $\text{CaCl}_2$  7,5; CAL-P Gehalt in mg P/100 g Boden: „ohne P“ 1,3; „Super-P“ 5,3; „Nova-P“ 3,8; „Hyper-P“ 1,5; Klärschlammasche 1,7. Gefäßversuche in 5-Liter-Mitscherlichgefäßen (6,5 kg Boden)

#### Düngemittel bzw. Behandlungen

ohne P, Superphosphat, Novaphosphat (teilaufgeschlossenes P), Hyperphosphat (Rohphosphat), Klärschlammasche, Kalkung mit  $\text{CaCO}_3$  (nur im sauren Boden)

P-Düngung 0,5  $\text{P}_2\text{O}_5$ /Gefäß und Jahr ( $\cong$  34 mg P/kg Boden)

#### Angebaute Kulturen

Getreide (Sommerweizen) - Grünkohl im Wechsel  
Anlagejahr des Versuchs 2001; dargestellte Ergebnisse zeigen den Mittelwert der Jahre 2010 und 2011 (d.h. nach 10- bzw. 11-jähriger jährlicher Düngung). Die Mineralstoffversorgung mit N, K, Mg, und S erfolgt bedarfsorientiert.

### Kurzfristige P-Wirkung von Klärschlamm- und Klärschlammasche-Produkten

#### P-Düngewirkung eines mit Säure aufbereiteten Klärschlammasche-Produktes

Boden 1: Bodenart Lu (Ap-Horizont Braunerde); pH-Wert  $\text{CaCl}_2$  5,5; CAL-P Gehalt 1,3 mg P/100 g Boden  
Boden 2: Bodenart Lu (C-Löss-Unterboden); pH-Wert  $\text{CaCl}_2$  7,3; CAL-P Gehalt 0,9 mg P/100 g Boden

#### Düngemittel bzw. Behandlungen

Prüfdünger: Klärschlammasche-Produkt aus der Aufbereitung von Klärschlammasche nach mit  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (Recophos®); 29,7% Gesamt  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; davon 69% wasserlöslich.

250 und 500 mg P/Gefäß mit 6,5 kg Boden (38 bzw. 77 mg P/kg Boden) vor der Saat

Vergleichsdünger:  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  bzw. Mischung  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2/\text{CaHPO}_4$

0, 100, 175, 250, 500 mg P/Gefäß (0, 15, 27, 38, 77 mg P/kg Boden) vor der Saat

#### Kulturen

Raps und Mais

Die Mineralstoffversorgung mit N, K, Mg, und S erfolgt bedarfsorientiert.

### P-Wirkung verschiedener Klärschlamm- und Klärschlammasche-Produkte

Boden 1: Bodenart Lu (Ap-Horizont Braunerde) pH-Wert  $\text{CaCl}_2$  4,9; CAL-P Gehalt 0,7 mg/100 g Boden

Boden 2: Bodenart Lu (C-Löss-Unterboden) pH-Wert  $\text{CaCl}_2$  7,7; CAL-P Gehalt ungedüngt 0,36 mg P/100 g nach Grunddüngung mit 25 mg P/kg Boden 1,3 mg CAL-P/100 g.

#### Düngemittel bzw. Behandlungen

Prüfdünger: Klärschlamm- und Klärschlammasche-Produkt (Tabelle 1)

500 mg P/Gefäß mit 6,5 kg Boden (77 mg P/kg Boden) vor der Saat

Referenzdünger:  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  bzw. Mischung  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2/\text{CaHPO}_4$  bzw.  $\text{KH}_2\text{PO}_4$

0, 250, 500, 1000 mg P/Gefäß (0, 38, 77, 154 mg P/kg Boden) vor der Saat

#### Kultur

Mais

Die Mineralstoffversorgung mit N, K, Mg, und S erfolgt bedarfsorientiert; auf den Boden mit pH 7,7, Gabe von Spurenelementen.

### Ermittelte Parameter

Trockenmasse-Erträge, P-Gehalte der Pflanzen (nach Druckaufschluss mit  $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ , Bestimmung mit ICP-OES), P-Aufnahme der Pflanzen.

### Ergebnisse und Diskussion

#### Langzeitexperiment zur P-Verfügbarkeit von mineralischen P-Düngemitteln

Die P-Aufnahme von Weizen nach Düngung mit verschiedenen P-Düngemitteln wird sowohl von der P-Form des Düngers als auch vom Boden beeinflusst (Abbildung 1 A). Gegenüber dem wasserlöslichen Superphosphat zeigt das teilaufgeschlossene Novaphosphat in beiden Böden eine gute Wirkung. Aus Hyperphosphat, einem nicht aufgeschlossenen Rohphosphat kann der Weizen im Vergleich zu Superphosphat auf dem sauren Boden noch etwa 75% P aufnehmen, auf dem neutralen Boden jedoch nur noch 6% im Vergleich zur P-Aufnahme aus Superphosphat. Die P-Aufnahme von Weizen aus der unbehandelten

Tabelle 1: Charakterisierung der Klärschlammasche (KSA)- und Klärschlamm (KS)-Produkte

Bezeichnung	Verfahren/Prozess/Zusatzstoffe	Ges. $\text{P}_2\text{O}_5$ (%)	Löslicher Anteil (%) am Ges. $\text{P}_2\text{O}_5$ nach DüMV				Alkal. Ammonicitrat
			pH-Wert	$\text{H}_2\text{O}$	Zitronensäure	Ameisensäure	
KSA	unbehandelte Asche, biolog. P-Elimination	21,0	9,0	0,3	42,0	56,5	12,7
KSA-P 1	$\text{MgCl}_2$ , thermisch	38,1	3,7	33,4	68,0	74,1	58,7
KSA-P 2	$\text{H}_3\text{PO}_4$	35,7	3,0	42,7	61,0	58,8	81,5
KSP-P 3	Zugabe von Kalk, K, S	22,5	8,2	0,4	36,9	41,3	10,9
KSA-P 4	Bakterieller Aufschluss	32,3	2,8	0,3	3,5	3,4	53,6
KS-P 1	Prozesswasser/P-Sorption an Calcium-Silikat-Hydrat	12,6	8,5	1,2	85,0	89,1	73,4
KS-P 2	$\text{MgO}$ , $\text{NaOH}$ , $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ (MAP)	20,2	8,0	0,9	84,1	47,3	43,2
KS-P 3	$\text{MgCl}_2$ , $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ (MAP)	27,4	7,3	2,3	82,3	88,6	21,1

Klärschlammasche liegt im sauren Boden bei etwa 60%, im neutralen Boden jedoch nur bei 20% im Vergleich zu Superphosphat.

Auch die P-Aufnahme von Grünkohl (Abbildung 1B) ist abhängig von P-Form und Boden, jedoch zeigen sich vor allem mit Hyperphosphat Unterschiede zum Weizen, da die P-Aufnahme von Grünkohl mit dem Rohphosphat im sauren Boden das Niveau des wasserlöslichen Superphosphats erreicht. Auch die Klärschlammasche wird in diesem Boden von Grünkohl mit einer etwa 20% höheren P-Aufnahme tendenziell besser genutzt als von Weizen. Wenn auch auf sehr niedrigem Niveau liegt die P-Aufnahme von Grünkohl aus Hyperphosphat auf dem neutralen Boden mit knapp 20% deutlich über der von Weizen. Dies gilt insbesondere für den Vergleich gegenüber der ungedüngten Kontrolle. Auf dem sauren Boden können beide Kulturen (Weizen knapp 2%, Grünkohl 6%) nach einer reinen Kalkung mit  $\text{CaCO}_3$  ohne P-Düngung geringe Mengen mehr P gegenüber der unbehandelten Variante aufnehmen.

Insgesamt zeigt sich, dass nicht wasserlösliche Rohphosphate nur unter sauren Bodenbedingungen P für die Pflanze zur Verfügung stellen können ggf. mit leichten Vorteilen für die dikotyle Brassica-Art. Unter nicht-sauren Bodenbedingungen kommen solche Dünger selbst nach jahrelanger Anwendung nicht zur Wirkung.

### Kurzfristige P-Wirkung von Klärschlamm- und Klärschlammasche-Produkten

#### P-Düngewirkung eines mit Säure aufbereiteten Klärschlamm-Produkt

Im Gegensatz zu unbehandelten Klärschlammaschen lässt sich durch die Aufbereitung mit Säuren eine Erhöhung der P-Verfügbarkeit beobachten. Im Fall von Mais (Abbildung 2 A) wird auf dem Boden mit pH 5,5 mit dem aufbereiteten Klärschlamm-Produkt

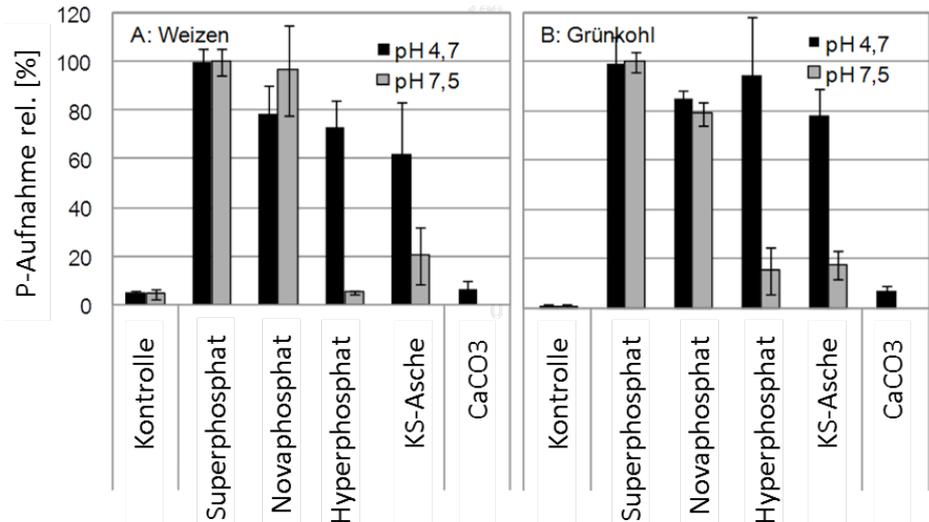


Abbildung 1: P-Aufnahme von Weizen (A) und Grünkohl (B) aus unterschiedlichen P-Düngern auf saurem und neutralem Boden (Mittelwerte aus 10- und 11-jähriger Anwendung von jährlich 34 mg P/kg Boden) sowie aus einer unbehandelten Kontrolle und einer Kalkung ohne P-Düngung. P-Aufnahme berechnet relativ zu Superphosphat jeweils für die Kultur und den Boden. Fehlerbalken stellen +/- eine Standardabweichung dar.

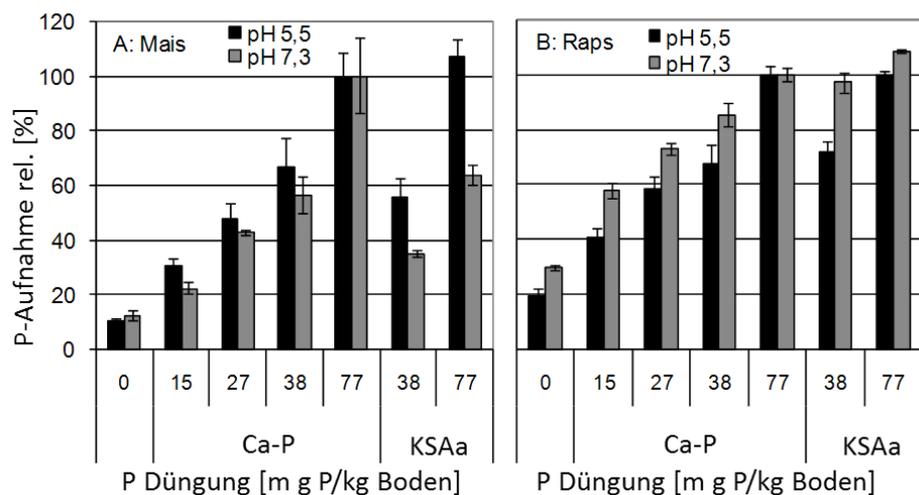


Abbildung 2: P-Aufnahme von Mais (A) und Raps (B) aus einem Klärschlamm-Produkt nach Säureaufbereitung (KSAa) auf saurem und neutralem Boden; Referenzdünger „Ca-P“:  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  bzw.  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2/\text{CaHPO}_4$ . P-Aufnahme berechnet relativ zu Ca-P der Düngestufe 77 mg P/kg Boden jeweils für die Kultur und den Boden. Fehlerbalken stellen +/- eine Standardabweichung dar.

die P-Aufnahme des vollständig wasserlöslichen Vergleichsdüngers „Ca-P“ auf beiden Düngestufen erreicht. Auf dem Boden mit pH 7,3 liegt die P-Aufnahme aus dem Klärschlamm-Produkt jedoch deutlich niedriger. Dies bedeutet, dass die etwa 70%ige Wasserlöslichkeit von P in dem Produkt in dem sauren Boden auch für den als P-ineffizient geltenden Mais für eine kurzfristig sehr gute P-Wirkung völlig ausreichend ist, in dem neutralen Boden bleibt die P-Verfügbarkeit des Asche-Produkts zu Mais jedoch deutlich unter der des Vergleichsdüngers.

Für die Kultur Raps ergibt sich ein etwas anderes Bild (Abbildung 2 B): die P-Aufnahme aus der aufbereiteten Klärschlamm-Asche erreicht auf beiden Böden und mit beiden Düngestufen mindestens die des

Vergleichsdüngers. Auf dem neutralen Boden übertrifft das Klärschlammasche-Produkt den Vergleichsdünger sogar. Dies kann einerseits damit zusammenhängen, dass das Klärschlammasche-Produkt in Granulat-Form vorliegt und es damit lokal zu einer höheren P-Konzentration der Bodenlösung im Vergleich zur gleichmäßigen Verteilung des Referenzdüngers kommen kann. Zum anderen kann ein gewisser Überschuss an Säure in dem Klärschlammasche-Produkt für die Löslichkeit in dem neutralen Boden von Bedeutung sein.

Im Vergleich der Kulturen wird aber wiederum deutlich, dass die von Raps bekannten Fähigkeiten der chemischen P-Mobilisierung wie die Exsudation von organischen Säuren auf beiden Böden von Bedeutung sind: sowohl bei pH 5,5 insbesondere aber bei pH 7,3 liegt die P-Aufnahme von Raps bereits ohne P-Düngung über der von Mais. Dies setzt sich vor allem in den unteren beiden Düngungsstufen auch nach der Düngung mit wasserlöslichem Ca-P fort.

### P-Wirkung verschiedener Klärschlamm- und Klärschlammasche-Produkte

Die Wechselwirkung zwischen Böden und P-Düngern wird auch deutlich, wenn chemisch unterschiedlich behandelte Düngerprodukte aus Klärschlammaschen verglichen werden. Zunächst zeigen sich auf dem Boden mit pH 4,9 erhebliche Unterschiede zwischen den P-Düngern (Abbildung 3). Die Trockenmasseerträge von Mais liegen zwar für die meisten Dünger auf dem Niveau des wasserlöslichen Referenzdüngers. Mit der unbehandelten Klärschlammasche (KSA) und den Klärschlammasche-Produkten (KSA-P) P 3 und P 4 sind die Erträge jedoch deutlich geringer. Diese drei Produkte enthalten kein wasserlösliches P (siehe Tabelle 1) und auch die P-Löslichkeit in Zitronensäure nach DüMV ist geringer als in den anderen Produkten. Die gute Wirkung der Klärschlamm-Produkte (KS-P) P 2 und P 3 in diesem Boden hängt mit der häufig beobachteten besseren Verfügbarkeit von Magnesium-(Ammonium-) Phosphaten zusammen (Römer, 2013). Im Boden mit pH 7,7 fällt zusätzlich die unbefriedigende Ertragswirkung des Klärschlammasche-Produkts P 2 und des Klärschlamm-Produkts P 1 gegenüber dem Referenzdünger auf. Außerdem wirken diese beiden

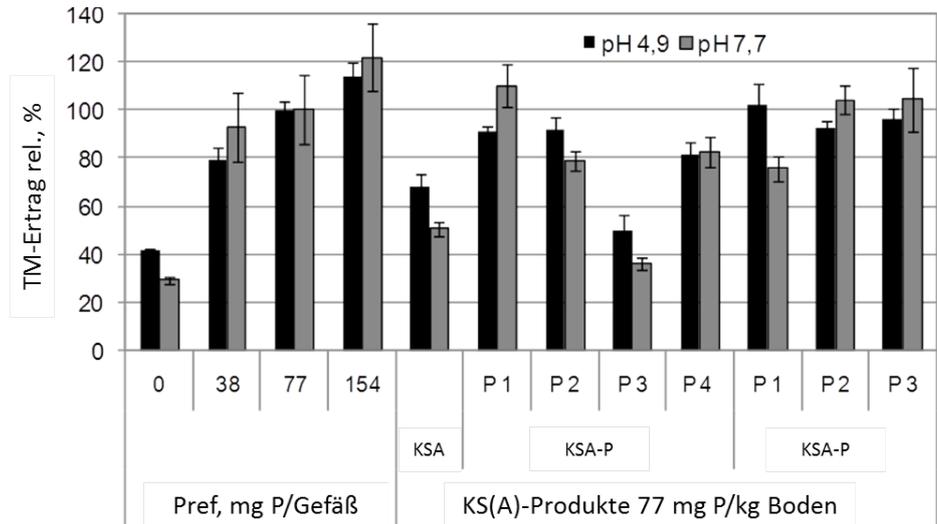


Abbildung 3: Trockenmasseertrag von Mais nach Düngung mit Klärschlammasche- und Klärschlamm-Produkten auf saurem und schwach basischem Boden. Trockenmasseertrag berechnet relativ zu Pref der Düngestufe 77 mg P/kg Boden für den jeweiligen Boden. Fehlerbalken stellen +/- eine Standardabweichung dar.

wie auch die unbehandelte Klärschlammasche und KSA-P 3 im Boden mit pH 7,7 deutlich schlechter als im Boden mit pH 4,9. Im Gegensatz dazu steht das Asche-Produkt P 1, das im Boden mit pH 7,7 erheblich besser abschneidet als bei pH 4,9.

### Schlussfolgerungen

P-Düngemittel mit einem hohen Anteil an wasserlöslichem P kommen unabhängig vom Boden und der Pflanzenart gut zur Wirkung. Unter den P-Düngern mit einer geringen Wasserlöslichkeit schneiden Magnesiumbasierte Phosphate in der Regel besser ab als solche mit Calciumphosphaten aus Klärschlammaschen oder Rohphosphaten.

Die beiden letzteren benötigen für eine Düngewirkung die Erhöhung ihrer Löslichkeit durch Anwendung in sauren Böden. P-effiziente Pflanzenarten insbesondere solche mit der Fähigkeit zur chemischen Mobilisierung können nicht wasserlösliche P-Formen besser nutzen.

### Literatur

- Föhse, D., Claassen, N., Jungk, A., 1988: Phosphorus efficiency of plants. I. External and internal requirement and P uptake efficiency of different plant species. *Plant Soil* 110, 101-109.
- Hendriks, L., Claassen, N., Jungk, A., 1981: Phosphatverarmung des wurzelnahen Bodens und Phosphataufnahme von Mais und Raps. *Z. Pflanzenern. Bodenkde.* 144, 486-499.
- Hinsinger, P., 2001: Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant Soil* 237, 173-195.
- Hoffland, E., Findenegg, G.R., Nelemans, J.A., 1989: Solubilization of rock phosphate by rape II. Local root exudation of organic acids as a response to P-starvation. *Plant Soil* 113, 161-165.
- Römer, W., 2013: Phosphor-Düngewirkung von P-Recyclingprodukten. *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 60, 202-215. DOI: 10.3242/kae2013.03.003.

## Phosphorbilanzen und Phosphoreffizienz von Milchviehbetrieben in Nordwesteuropa

Martin Elsässer<sup>1\*</sup>, Katja Herrmann<sup>1</sup>, Theresa Jilg<sup>1</sup>, Thomas Hummler<sup>1</sup> und Jouke Oenema<sup>2</sup>

### Abstract

DAIRYMAN was an EU-Interreg IVb NWE project (2009-2013) and focused on the conditions and improvement of sustainable dairy-farming. In a network of 14 partners, 8 regions and 127 dairy-farms, a. o. the ecological effects of dairy-farming were investigated and evaluated with a specific sustainability index (DSI). For this index 18 parameters were selected and scored. Nitrogen and phosphorus balances at farm-gate could be observed and the corresponding efficiencies of these nutrients were calculated for the different project regions. Feeding of concentrates is necessary in order to obtain the best milk performance and a high input of fertilizer seems to be necessary for high yielding grasslands with the risk of nitrogen leaching and phosphorus run-off. Farms running a high input strategy can reach the same efficient use of nutrients like those with low input strategy and no purchased P- fertilizers.

**Keywords:** Phosphorus balances, P-efficiency, concentrates, fertilizer use

### Einleitung

Die Milchviehhaltung ist ein wichtiger Bestandteil der Landwirtschaft in Mittel- und Nordwesteuropa. Sie bietet Arbeit und Einkommen für ca. 250.000 Milchbauern. Hinzu kommt eine große Anzahl von Beschäftigten im nachgelagerten Ernährungssektor. Probleme können u.a. daraus entstehen, dass die günstigen Boden- und Klimabedingungen sowie die exzellenten Marktbedingungen für Milchprodukte vielerorts zu vergleichsweise hohen Viehbesatzdichten bis zu 2,5 Großvieheinheiten je Hektar führen. Daraus ergibt sich häufig ein Phosphor- und Stickstoffüberschuss, der vor allem für Wasser (Verschmutzung mit Nitrat und Phosphat) und Luft (Abgasung von Ammoniak, Methan und anderen gasförmigen Stickstoffverbindungen) belastend sein kann (Hind, 2010; Gerber und Steinfeld, 2010). Milchkühe benötigen für ihr Wachstum und

die Produktion von Milch Nährstoffe, die sie aus dem Futter aufnehmen - Phosphor ist dabei ein essentieller Nährstoff. Im Zuge gestiegener tierischer Leistungen sind meist Zugaben energiereicher Kraftfuttermittel zur Ausfütterung der tierischen Leistungsfähigkeit erforderlich. Ein bewährter Grundsatz beruht auf dem Kreislaufgedanken, wonach die Exkremate der Tiere, die mit hofeigenem Futter gefüttert werden, wieder auf die Fläche zurückgeführt werden sollten. Über die reine Rückführung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft hinaus werden zudem weitere Düngemittel mit dem Ziel verabreicht, Erträge zu steigern, um in der Folge mehr Vieh halten zu können. Beide Prozesse sind zunächst nicht weiter problematisch, sofern trotz zusätzlicher Nährstoffimporte die Landwirtschaftsbetriebe eine ausgeglichene Nährstoffbilanz aufweisen und negative Auswirkungen auf die Umwelt durch Ab- und Einschwemmungen von Nährstoffen in Grund- oder Oberflächengewässer vermieden werden können. Aufgrund der weltweit extremen Knappheit der Phosphatreserven wird dringend eine generelle Verbesserung der Effizienz beim Einsatz von Phosphordüngern in der Landwirtschaft gefordert (Oenema, 2013). Das ist auch insbesondere vor dem Hintergrund des Kostendrucks bei der Milcherzeugung von großer Bedeutung (Ohm, 2013).

Vorteile bei der Verwendung von Nebenprodukten und Abfällen aus der landwirtschaftlichen Produktion sehen Oenema *et al.* (2012b) in deren Beitrag zur Steigerung der Effizienz bei der Ressourcenausnutzung, der abnehmenden Eutrophierung des Oberflächenwassers und dem damit zusammenhängenden geringeren Verlust an Artenvielfalt sowie dem abnehmenden Anteil beim P-Abbau aus dem Gestein. Der Hauptnachteil liegt den Autoren zufolge in den schwankenden Nährstoffgehalten in Beiprodukten und Abfällen und deren ungewisser P-Verfügbarkeit, den möglichen Verunreinigungen, der geringen Akzeptanz bei den Bauern und dem Fehlen einer guten Marketing- und Verteilungsinfrastruktur.

Nach Untersuchungen von Pommer (2005) belasten Milchviehbetriebe mit einem Viehbesatz von mehr

<sup>1</sup> Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei, Atzenberger Weg 99, D-88326 AULENDORF

<sup>2</sup> Wageningen University Research (WUR), Droevendaalsesteeg 4, NL-6708 PB WAGENINGEN

\* Ansprechpartner: Prof. Dr. Martin ELSÄSSER, martin.elsaesser@lazbw.bwl.de

		NL	BF	BW	IR	IN	GE	FR-BR	FR-PDL	FR-NPdC	LU
Air quality	ammonia	5	4	1	2	2	5	3	3	?-2	1
	GHG	3	4	5	5	4	4	3	3	?-1	2
Water quality	nitrate	3	5	5	1	2	2	5	4	4	4
	phosphate	5	4	2	3	5	3	4	2	1	3
	pesticides	3	2	4	1	1	1	4	4	3	2
Soil quality	erosion	1	3	3	1	1	1	2	1	5	3
	fertility	2	3	4	1	2	2	1	1	1	2
Biodiversity		2	2	3	1	3	5	3	4	3	4

Abbildung 1: Umweltprobleme in den Dairyman-Regionen (Einschätzungen nach regionalen Stakeholder-Meetings; 1 = eher unbedeutend; 5 = höchste Priorität) (De Vries et al., 2013)

als 2,0 GV/ha in intensiven Grünlandgebieten das Wasser dann nicht mit Stickstoff und Phosphor, wenn die Nährstoffe aus den Wirtschaftsdüngern optimal verwertet werden. Da dies bei den untersuchten Betrieben nur zur Hälfte zutraf, sollte die umweltschonende Düngung nach Aussagen von Pommer durch die Einhaltung von Toleranzwerten für Nährstoffüberhänge von N und P gewährleistet werden. Die Festlegung dieser Werte ist allerdings mit einigen Schwierigkeiten verbunden. Zwar belasten Betriebe mit mehr als 2,5 GV/ha die Oberflächengewässer zunehmend mit Saldenüberhängen an Phosphor (Pommer, 2005), trotzdem sind die absoluten Obergrenzen bei Viehbesatz und Saldenüberhang nicht ohne weiteres festzulegen.

## Material und Methoden

### Das Dairyman-Projekt und die beteiligten Regionen

Die hier berichteten Angaben zu Phosphorbilanzen und der P-Nutzungseffizienz entstammen dem EU-InterregIVb Projekt Dairyman, einem Projekt mit starkem Anwendungsbezug, das u.a. in einem vierjährigen Untersuchungszeitraum (2009-2013) in einem Netzwerk von 127 Milchvieh-Pilotbetrieben in neun nordwesteuropäischen Partnerregionen die Nährstoffflüsse, Treibhausgasbelastung und die ökonomischen und sozialen Gegebenheiten der Pilotbetriebe untersucht hat. Dabei ist es für die weitere Darstellung der Ergebnisse außerordentlich wichtig zu wissen, dass diese Pilotbetriebe kein repräsentatives Mittel der jeweiligen Partnerregionen darstellen, sondern die Betriebe hauptsächlich aufgrund ihrer Bereitschaft zur Mitarbeit und zur Veränderung innerhalb der Projektdauer ausgesucht wurden. Partner des LAZBW Aulendorf aus Baden-Württemberg bei Dairyman waren die Universität Wageningen mit dem Plant Research in den Niederlanden, das Institut Libramont in Wallonien, ILVO in Flandern, AFBI in Nordirland, Teagasc Moorepark in Irland, Institut de l'Élevage in Frankreich und die französischen Landwirtschaftskammern der Regionen Nord Pas de Calais, Pays de la Loire und Bretagne sowie das Lycée Technique Agricole in Luxemburg.

Der transnationale Ansatz des Projektes macht die Regionen untereinander direkt vergleichbar, wobei hinsichtlich der Phosphatproblematik und ihrer regionalen Bewertung zwischen den Partnerländern erhebliche Unterschiede bestehen. Irland (IR), Bretagne (FR-BR) und Nordirland (IN) bewerten die P-Problematik als sehr stark, wohingegen in den anderen Ländern nicht

Phosphor sondern neben der N-Problematik die Treibhausgasbelastung im Vordergrund steht (Abbildung 1). Im Netzwerk der Pilotbetriebe (Abbildung 2) beteiligten sich in Baden-Württemberg insgesamt 14 Betriebe aus den vier viehstarken Regionen Oberschwaben, Allgäu, Schwarzwald-Baar und Ostalb. Dairyman hat für alle teilnehmenden Pilotbetriebe in den Jahren 2009-2012 (2011) Nährstoffbilanzen auf der Basis von Hof-Tor-Berechnungen erstellt. Dabei zeigten sich nicht nur charakteristische Unterschiede zwischen den teilnehmenden Partnerländern sondern auch zwischen den einzelnen Betrieben in Deutschland.

### Vorgehen bei der Erstellung von Hoftorbilanzen

Im Gegensatz zu Feld-Stall-Bilanzen basiert die Hoftorbilanz auf berechneten und gemessenen Daten. Damit steigt insbesondere bei Betrieben mit Viehhaltung die Genauigkeit und Aussagekraft auch im Hinblick auf die potentielle Gefährdung der Umwelt (Wüstholz und

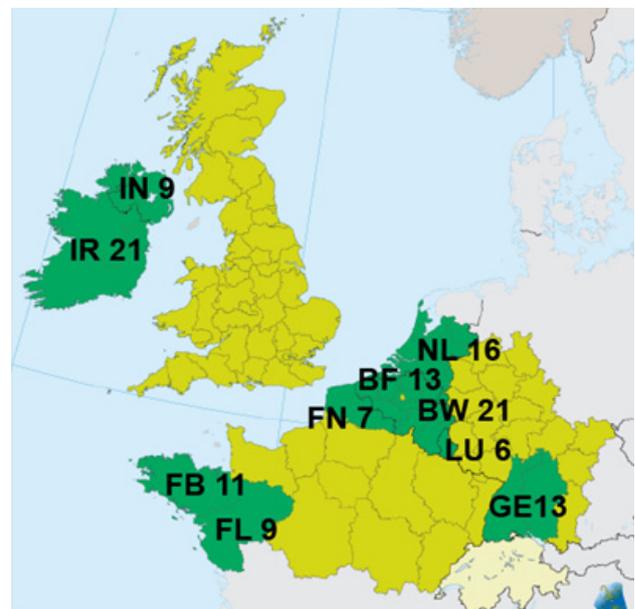


Abbildung 2: Netzwerk der Pilotbetriebe und beteiligte Regionen (127 Betriebe in 10 Regionen: Abkürzungen: Flandern = BF; Wallonien = BW; Bretagne = FB; Pays de la Loire = FL; Nord-Pas de Calais = FN; Irland = IR; Nordirland = IN; Baden-Württemberg = GE; Luxemburg = LU; Niederlande = NL)

Bahrs, 2013). Die Wissenschaftlichen Beiräte für Agrarpolitik und für Düngungsfragen beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz fordern daher in einer Kurzstellungnahme die flächendeckende Einführung von Hoftorbilanzen (Taube *et al.*, 2013). Die Ergebnisse können daher zum einen für die Umweltgefährdung als auch zur Beurteilung des Düngemanagements eines Betriebes herangezogen werden (Baumgärtel *et al.*, 2007). Bei der Erstellung der Hoftorbilanzen wurde wie folgt vorgegangen:

Zufuhr	Abfuhr
1. Kraftfutter	Milch
2. Grundfutter	Fleisch
3. Mineralischer Dünger	Organischer Dünger
4. Organischer Dünger	Pflanzliche Produkte
5. Tiere	

P-Bilanzsaldo = Zufuhr minus Abfuhr

### Ermittlung der Phosphor-Nutzungseffizienz

Die Effizienz des eingesetzten Phosphors wurde wie folgt berechnet:

$$Effizienz = \frac{\Sigma Outputs}{\Sigma Input - \Sigma Bestandesänderung}$$

### Phosphorbilanzen in den einzelnen Partnerregionen

Die durchschnittlichen Phosphorsalden je Hektar in den Pilotbetrieben schwanken sehr stark zwischen den Regionen (Abbildung 3). Sie sind im Durchschnitt am höchsten in Baden-Württemberg (GE) und in Pays de la Loire (FL) und sie sind besonders gering in Nord-Pas de Calais in Frankreichs Norden (FN) und in Irland (IR). In Irland ist dies vor allem bedingt durch eine restriktive Gesetzgebung sowie vor dem Hintergrund massiver Probleme durch P-Eintrag in Gewässer in der Vergangenheit.

Bezieht man die P-Salden nicht nur auf die Fläche, sondern auf die auf ihr produzierte Milch, ergibt sich vor allem in den Niederlanden, einer Partnerregion mit sehr hoher Milchproduktion je ha, ein anderes Bild (Abbildung 4). Zudem zeigt sich innerhalb der Projektlaufzeit eine Veränderung der Werte, die sich u.a. in Baden-Württemberg durchaus positiv entwickelten. Wenn man zudem die Verteilung der Bilanzsalden betrachtet (Abbildung 5), dann fällt auf, dass in Wallonien eine sehr große Streuung der Betriebsergebnisse existiert. Bei der Frage, wie es zu diesen unterschiedlichen Bilanzsalden kommt, fällt auf (Tabelle 1), dass zwischen den einzelnen Partnerregionen deutliche Unterschiede hinsichtlich der Phosphorzufuhr auftreten. Interessant ist, dass nur in

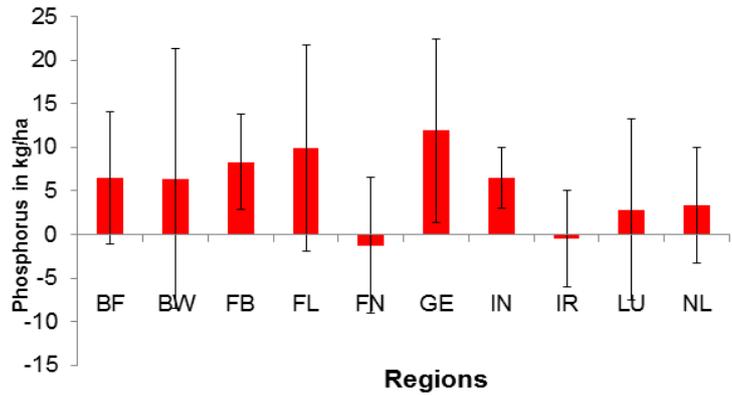


Abbildung 3: Phosphorbilanzen der Pilotbetriebe in unterschiedlichen Regionen des Dairyman-Projektes (Mittel der Beobachtungsjahre 2009-2011) (Oenema *et al.*, 2012a) Abkürzungen: B = Belgien: BF = Flandern, BW = Wallonien; F = Frankreich: FB = Bretagne, FL = Pays de la Loire, FN = Nord-Pas de Calais; GE = Deutschland Baden-Württemberg; I = Irland: IN = Nordirland, IR = Republik Irland; LU = Luxemburg; NL = Niederlande

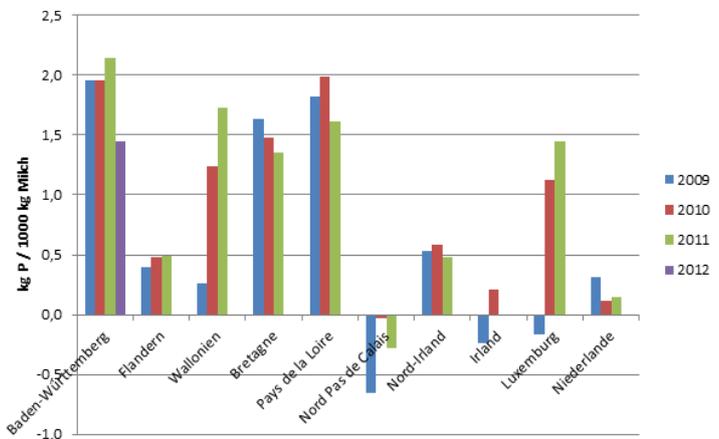


Abbildung 4: Phosphorbilanzen der Pilotbetriebe in unterschiedlichen Regionen je Tonne Milch von 2009-2011 (nur für Baden-Württemberg wurde auch das Jahr 2012 bilanziert)

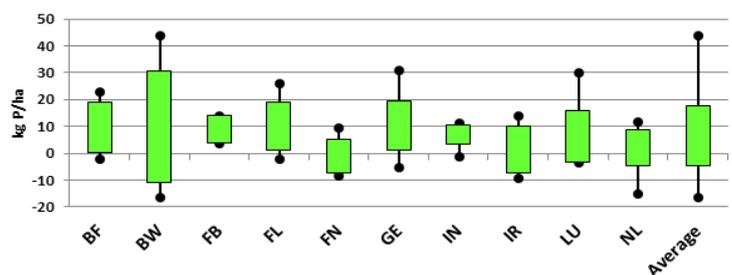
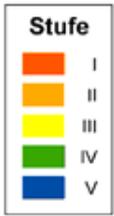


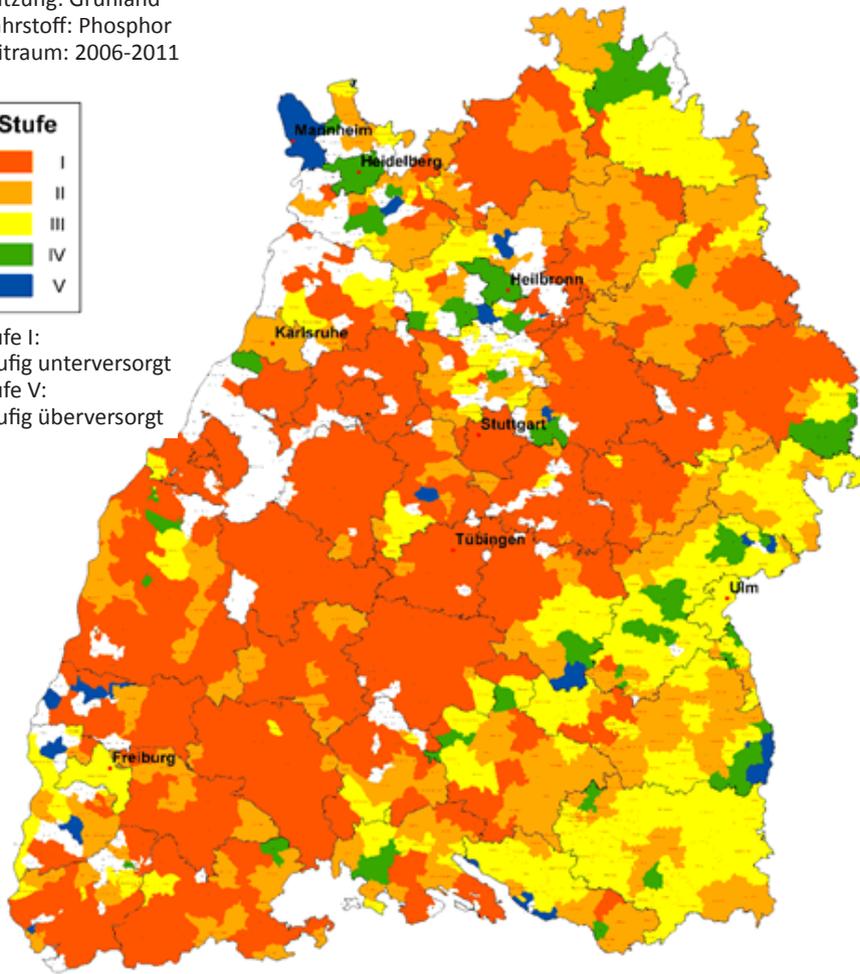
Abbildung 5: P Saldo in kg/ha in Dairyman-Pilotbetrieben (2010) ausgedrückt als Boxplots (mit Minimal- und Maximalwerten sowie 90% und 10% Quantilen) (Average = Durchschnitt)

wenigen Partnerregionen, nämlich Luxemburg, Baden-Württemberg, Irland und Wallonien, nennenswerte Mengen an P gedüngt werden. Die P-Zufuhr erfolgt bei den anderen Partnern nahezu ausschließlich über die Fütterung und hier vor allem durch Kraftfutter. Wenn also die Nährstoffbilanz bei Phosphor auf Betriebsebene verbessert werden soll, dann ist offensichtlich der Ansatz durch Reduzierung von Kraftfutter, und zwar nach Menge und den P-Gehalten im Kraftfutter, der am ehesten erfolgversprechendste.

Nutzung: Grünland  
 Nährstoff: Phosphor  
 Zeitraum: 2006-2011



Stufe I:  
häufig unterversorgt  
 Stufe V:  
häufig überversorgt



Es wurden nur Gemeinden ab 10 Untersuchungsergebnissen berücksichtigt

Abbildung 6: Situation der P-Versorgung von Grünlandböden in Baden-Württemberg (Übelhör und Hartwig, 2012)

Geht man allerdings der Frage nach, warum u.a. in Baden-Württemberg P in großem Maße gedüngt wird, dann lohnt es sich die Phosphor-Versorgung von

gen, aber derzeit noch von den P-Reserven im Boden profitieren, so dass dennoch ein ausreichender Ertrag möglich ist.

Grünlandböden zu betrachten (Abbildung 6). Im weit überwiegenden Teil der Landesfläche, mit Ausnahme des Südostens, ist eine eher geringe P-Versorgung der Grünlandböden zu beobachten. Hier stellt sich nun die Frage, ob eine mineralische P-Düngung notwendig ist oder ob es überlegenswert wäre, sich der Düngepraxis anderer Dairyman-Regionen anzupassen und die P-Düngung zu reduzieren.

### Effizienz der P-Nutzung

Die P-Effizienz steigt in einzelnen Betrieben in verschiedenen Regionen deutlich über 100% an (Abbildung 7). Hier wurde meist aufgrund strikter gesetzlicher Vorlagen deutlich mehr Phosphat abgeführt und entzogen als dem Betrieb zugeführt worden ist, was sich auch in einem negativem P-Saldo widerspiegelt.

Zudem besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen P-Saldo und P-Effizienz (Abbildung 8). Es ist davon auszugehen, dass diese Betriebe kaum bis gar keinen mineralischen P-Dünger auf die Flächen ausbringen

Tabelle 1: Quellspezifischer P-Aufwand der Dairyman-Pilotbetriebe während der Projektlaufzeit 2009-2011 (in % des jeweiligen Gesamt-P-Aufwandes)

	Kraftfutter	Andere Futtermittel	Mineraldünger	Organ. Dünger	Tiere	
Gesamtprojekt (Ø aller 10 Regionen)						
2009	63	15	12	9	1	
2010	64	16	13	7	1	
2011	61	16,5	14	8	0,5	
Mittel (2009-2011)	63	16	12,3	8	0,7	
Region	Gesamt-P-Aufwand in kg P/ha LN					
Flandern (BF)	31,7	80	8,7	6	5	0,3
Wallonien (BW)	20,5	60	6	17	17	0,6
Bretagne (FB)	21,4	54	9	8	28	1
Pays de la Loire (FP)	22,1	89	7,5	2,5	0,2	0,8
Nord-Pas de Calais (FN)	22,6	60	5	12	22	1
Baden-Württemberg (GE)	29,3	42	25	31	1,4	0,6
Irland (IR)	9,9	55	13	29	0	3
Nordirland (IN)	20,3	96,4	1	2	0	0,6
Luxemburg (LU)	12,9	60	11	24	1	4
Niederlande (NL)	37,4	61,6	33,2	3,5	1	0,7

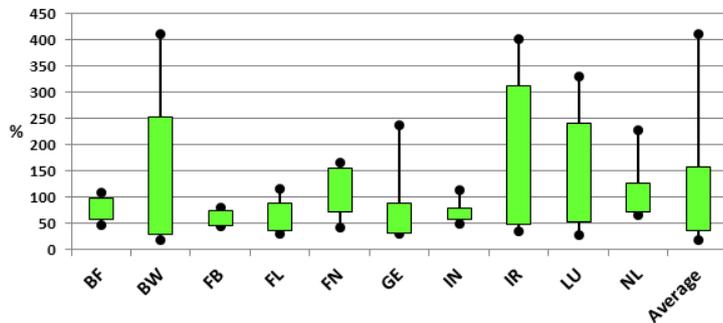


Abbildung 7: P-Effizienz (%) in Dairyman-Pilotbetrieben (2010) ausgedrückt als Boxplots (mit Minimal- und Maximalwerten sowie 90% und 10% Quantilen) (Average = Durchschnitt)

### Situation baden-württembergischer Dairyman-Pilotbetriebe - Entwicklung während der Projektdauer

Die P-Salden schwanken nicht nur zwischen den Projektregionen sondern auch innerhalb dieser Regionen sehr stark, wie sich u.a. am Beispiel der baden-württembergischen Betriebe nachvollziehen lässt (Abbildung 9).

Vielfach haben die Betriebe keine ausgeglichene Nährstoffbilanz. Die Annahme, wonach hoher Nährstoffeinsatz generell mit zu hohen Bilanzsalden einhergeht, ist allerdings zu kurz gedacht. Exemplarisch betrachtet werden sollen die Betriebe, die einen außergewöhnlich niedrigen P-Saldo von unter 3 kg P/ha aufweisen (Betrieb 3 und 15). Und ferner gibt es Betriebe (z.B. Betrieb Nr. 1), die im Laufe der 4-jährigen Projektdauer eine sehr gute Entwicklung hinsichtlich der P-Salden genommen haben. Betrieb Nr. 1 hat seine P-Bilanz im Untersuchungszeitraum von 30 kg P/ha auf 5 kg P/ha reduziert und die P-Effizienz (siehe Abbildung 10) von 25% auf 75% gesteigert und setzt damit die im Dairyman-Projekt angestrebte Entwicklung in wesentlichen Punkten äußerst positiv um.

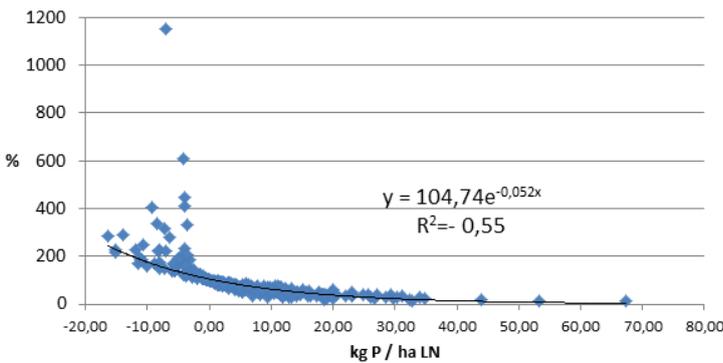


Abbildung 8: Zusammenhang zwischen P-Effizienz (%) und P-Saldo (kg/ha) (2009-2011)

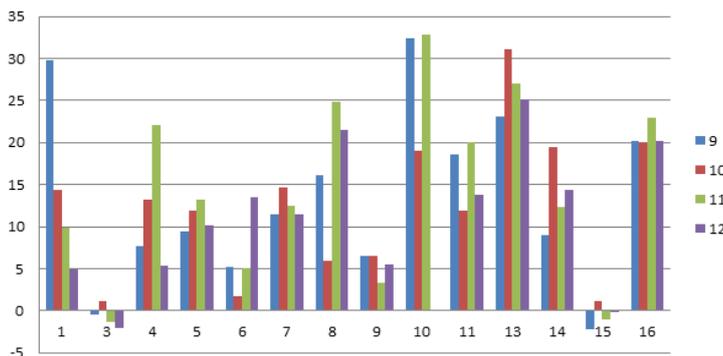


Abbildung 9: P-Salden in kg P/ha LN der Pilotbetriebe in Baden-Württemberg in den Jahren 2009-2012

### Ökonomische Auswirkungen einer verbesserten P-Effizienz

#### Bewertung der Ergebnisse mit dem Dairyman-Sustainability-Faktor (DSI)

Von Interesse ist nun, ob und inwieweit sich die P-Salden bzw. die P-Effizienz direkt auf die wirtschaftliche Situation der Pilotbetriebe auswirken. Das lässt sich u.a. mittels einer Bewertung einzelner einkommensrelevanter Größen (z.B. Steigerung der Milchleistung mit damit verbundenem veränderten Einkommen oder auch mit einer Kombination der Einkommensgrößen wie z.B. dem Dairyman-Sustainability-Index (DSI) ermitteln. Im Gegensatz zu der Berücksichtigung einzelner ökonomischer Erfolgsparameter werden hier mehrere Faktoren u.a. auch aus den Bereichen Ökologie und soziale Aspekte der Milchproduktion kombiniert (Elsäßer et al., 2013).

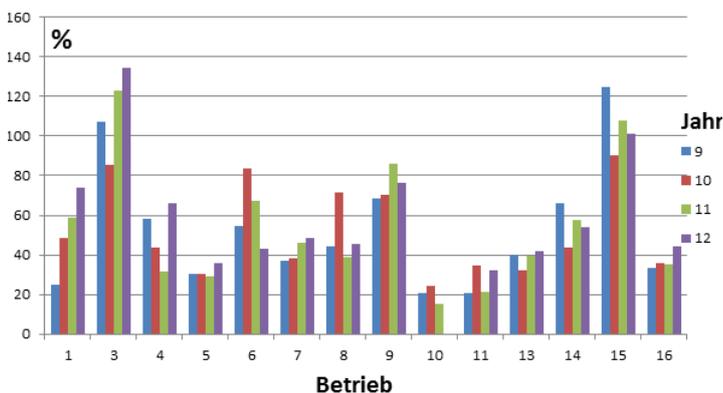


Abbildung 10: Veränderung der P-Effizienz der Pilotbetriebe in Baden-Württemberg in den Jahren 2009-2012

Wie aus Abbildung 11 ersichtlich, ist der Zusammenhang zwischen dem wirtschaftlichen Erfolg eines Milchviehbetriebes und dem P-Saldo der Betriebe allerdings nur gering.

## Diskussion

Die Frage was ein einzelner Landwirt tun kann, um seine Hoftor-P-Bilanzen zu verbessern, wirft für die Entscheidungen des einzelnen Landwirtes mehrere Aspekte auf. Sind die Gründe für gezielte Aktivitäten in dieser Richtung für ihn einsichtig? Was ist der Antrieb dafür, Anstrengungen zu unternehmen, um eine gezielte Verbesserung der Situation zu erreichen? Ökonomisch sinnvoll ist der P-Verzicht nicht generell und auch die P-Nutzungseffizienz wird nicht in erster Linie dadurch gesteigert, dass der Aufwand bei P aus Kraftfutter oder Mineraldüngung gesenkt wird (Abbildung 12). Es wird also letztlich hauptsächlich um die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben gehen, die sich an der Notwendigkeit ausrichten, einerseits dringend die Umwelt zu entlasten und andererseits verhindern soll, knappe und vor allem sehr endliche Ressourcen nicht unnötig zu vergeuden. Hierbei hilft die Erkenntnis, dass der Einsatz von Phosphor in Milchviehbetrieben zwar essentiell ist, aber eine Steigerung der Intensität des Aufwandes nicht unbedingt stets mit einem höheren Milchertrag verbunden ist. Es geht also darum, die Einzelgrößen des P-Kreislaufes zu benennen und gezielt zu verändern. Die Bilanzen werden, wie oben gezeigt, vor allem durch den Kraftfutturaufwand, den Tierbesatz je Fläche und die Milchleistung je Kuh beeinflusst. Als Maßnahmen zur Verbesserung von P-Bilanzen kommen daher in Frage (s.u.a. auch: AgriSearch, 2010; Ferris *et al.*, 2010).

- Verfütterung von Kraftfuttermitteln mit geringerem P-Gehalt
- Verfütterung von weniger Kraftfutter
- Ersatz von zugekauftem Kraftfutter durch selbst angebautes Getreide
- Senken des P-Düngeaufwandes und Düngung nur bei Bedarf
- Gülleexport
- Verringerung des Viehbesatzes

Zusätzlich sind hilfreich:

- Sorgfältiges Management bei der Düngung von Mineral- und Wirtschaftsdüngern
- Bessere und umweltfreundlichere Gülleausbringungstechnik
- Minimieren von Schäden an den Böden

Das sind alles Maßnahmen, die einen konkreten Erfolg nach sich ziehen können. Das wurde auch bei den individuellen Betriebsentwicklungsplänen den Betriebsleitern der Pilotbetriebe während des Dairyman-Projektes deutlich. Positive Entwicklungen sind demnach auch schon in kurzer Zeit möglich und sie sind nicht zwingend mit einer negativen Auswirkung

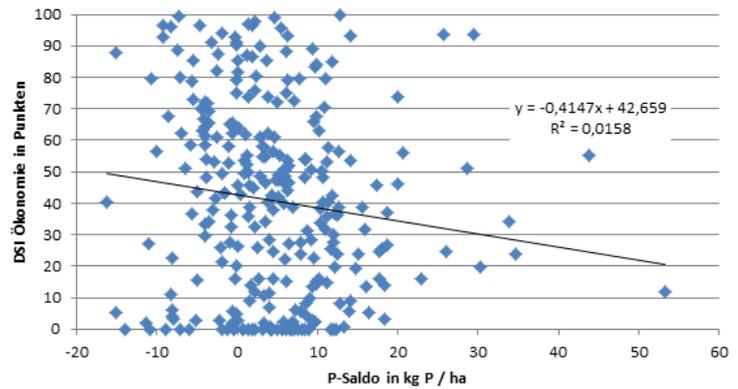


Abbildung 11: Zusammenhang zwischen Wirtschaftlichkeit und P-Saldo

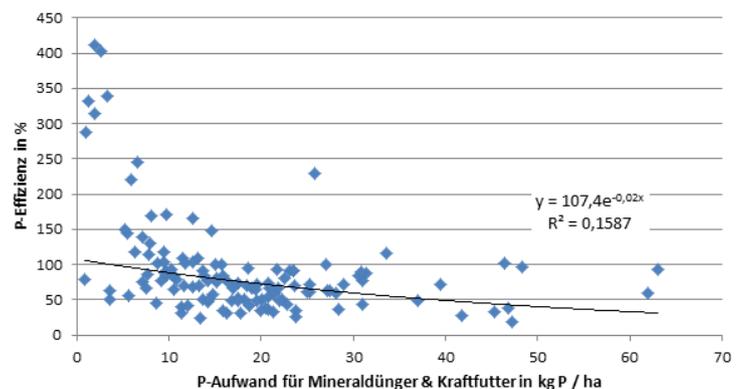


Abbildung 12: Zusammenhang zwischen P-Effizienz und Aufwand an P für Mineraldünger und Kraftfutter in kg P/ha in den Dairyman-Pilotbetrieben

auf das betriebliche Ergebnis von Milchviehbetrieben verbunden. Als geeignetes Instrument für die betrieblichen Entscheidungen hat sich auf alle Fälle die Hoftor-Bilanzierung bewährt.

## Literatur

- Baumgärtel, G., Breitschuh, G., Ebertseder, T., Eckert, H., Gutser, R., Hege, U., Herold, L., Wiesler, F., Zorn, W., 2007: Nährstoffbilanzierung im landwirtschaftlichen Betrieb, Speyer.
- De Vries, M., Debruyne, L., Aarts, F., 2013: Suitability of dairy farming and the implementation of EU environmental directives in the northwest of Europe. Report Dairyman Project, 64 pp, Plant Research International, Business Unit Agrosystem Research, Wageningen.
- Elsaesser, M., Herrmann, K., Jilg, T., 2013: The DAIRYMAN-Sustainability-Index (DSI) as a possible tool for the evaluation of sustainability of dairy farms in Northwest-Europe. Dairyman Report, Nr.3; LAZBW Aulendorf und [www.interregdairyman.eu](http://www.interregdairyman.eu).
- Ferris, C., Patterson, D., McCoy, M., 2010: Reducing phosphorus levels in dairy cow diets. Booklet AgriSearch - Farmer Funded Research, 18. Agri Food and Biosciences Institute, Hillsborough (UK).
- Ferris, C.P., Patterson, D.C., McCoy, M.A., Kilpatrick, D.J., 2010: Effect of offering dairy cows diets differing in phosphorus concentration over four successive lactations. 1. Food intake, milk production, tissue changes and blood metabolites. *Animal*, 4:4, 545-559.
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., 2010: The global environmental consequences of the livestock sector's growth. *Bulletin of the international dairy Federation*, 443, 4-12.
- Hind, T., 2010: Overview of the main environmental issues at farm level and the work that has already been done in the guide to good dairy farming practice. *Bulletin of the international dairy Federation*, 443, 3.
- Huguenin-Elie, O., Nemecek, T., Plantureux, S., Jeanneret, P., Lüscher, A., 2012: Environmental impacts of grassland management at the plot and the farm scale. *Grassland Science in Europe*, Lublin.

- Oenema, J., Boonen, J., Hennart, S., Beguin, E., 2012a: Environmental performances of pilot farms. Presentation at the Dairyman General Stakeholder Meeting, Gent (Be), 24. and 25.10.2013 ([www.interregdairyman.eu](http://www.interregdairyman.eu)).
- Oenema, O., 2013: Assessment of global nutrient use & estimation of nutrients in manure. Vortrag bei EAAP Conference, Nantes (F), 26.-30. August 2013.
- Oenema, O., Chardon, W., Ehlert, P., Van Dijk, K., Schoumans, O., Rulkens, W., 2012b: Phosphorus fertilizers from by-products and wastes. International fertilizer society, Proceedings 717, Meeting in Cambridge on 7<sup>th</sup> December 2012.
- Ohm, M., 2013: Phosphor - wichtig wie Wasser, endlich wie Öl. Agrar-Info. <http://www.agrarkoordination.de/publikationen>.
- Pommer, G., 2005: Auswirkungen der Höhe des Viehbesatzes von Milchviehbetrieben auf die Umwelt. LfL Bayern.
- Taube, F., Balmann, A., Bauhus, J., Birner, R., Bokelmann, W., Christen, C., Gault, M., Grethe, H., Holm-Müller, K., Horst, W., Knierim, U., Latacz-Lohmann, U., Nieberg, H., Qaim, M., Spiller, A., Täuber, S., Weingarten, P., Wiesler, F., 2013: Novellierung der Düngeverordnung - Nährstoffüberschüsse wirksam begrenzen. Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 219.
- Übelhör, W., Hartwig, H., 2012: Grundnährstoffversorgung von Böden in Baden-Württemberg. Landwirtschaftliches Technologiezentrum Baden-Württemberg (LTZ), Karlsruhe.
- Wüstholtz, R., Bahrs, E., 2013: Endbericht des Projektes "Weiterentwicklung von Nährstoffbilanzen in der Landwirtschaft als ergänzendes Instrumentarium zur Erreichung eines verbesserten Gewässerschutzes". Universität Hohenheim, Institut für Betriebswirtschaftslehre, 175 S.



# Phosphor im Grünland - Ergebnisse vom Ertrags- und Nährstoffmonitoring auf bayerischen Grünlandflächen und von Düngungsversuchen

M. Diepolder<sup>1\*</sup> und S. Raschbacher<sup>1</sup>

## Zusammenfassung

Vierjährige Erhebungen auf bayerischen Grünlandflächen von Praxisbetrieben zeigen mit der Nutzungsintensität ansteigende Trockenmasseerträge, P-Gehalte und P-Entzüge im Futter. Während von zweischürigen Wiesen bei durchschnittlich 50 dt TM/ha und mittleren P-Gehalten von 3,3 g/kg TM knapp 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha abgefahren werden, steigen die Werte bei Wiesen mit vier bis fünf Schnitten pro Jahr auf rund 105-115 kg TM/ha, 4,2-4,5 g P/kg TM und damit die mittleren P-Abfuhr auf etwa 105-120 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha an. Damit werden die in den derzeit gültigen Faustzahlen zur P-Bedarfsermittlung aufgeführten mittleren P-Abfuhr weitgehend bestätigt. Darüberhinaus war bei allen Intensitätsstufen eine Zunahme der P-Gehalte im Jahresverlauf erkennbar. Die durchschnittlichen P-Gehalte von bayerischen Silageproben liegen derzeit durchschnittlich bei etwa 3,1-3,7 g P/kg TM. Insgesamt ergeben sich anhand der Pflanzenanalysen bislang keine konkreten Hinweise, dass im bayerischen Grünland ein P-Mangel vorliegt. Flächendeckende Bodenuntersuchungsergebnisse in Bayern wiederum zeigen, dass bei rund 47% der Grünlandböden der P<sub>CAL</sub>-Gehalt unter 10 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (4,4 mg P) pro 100 g Boden und damit unter der in Bayern anzustrebenden Gehaltsklasse „C“ (10-20 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g Boden) liegt. Weiterer Forschungs- und Abstimmungsbedarf zur fachgerechten, standort- und nutzungsangepassten P-Düngung ist gegeben.

*Schlagwörter:* Monitoring, Bodenuntersuchung, Nutzungsintensität, P-Gehalte, P-Abfuhr, Düngungsversuche, P-Düngeempfehlungen

## Summary

Four-years lasting analysis on grassland of Bavarian farms show rising values of dry matter yield, P-content in forage and P-removal with increasing intensity of utilization. Meadows cut twice a year yielded 50 dt DM/ha on average with a medium P-content of 3.3 g/kg DM and a removal of approx. 40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, whereas meadows which were cut four to five times per year yielded 105-115 dt DM/ha with a medium P-content of 4.2-4.5 g/kg DM and a removal of approx. 105-120 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. These results are basically confirming the actual values of P-demand calculations. Furthermore, an increase of P-content in forage during the course of the year was observed at all intensity levels. The average P-content of Bavarian grass silage samples range between 3.1 and 3.7 g P/kg DM. Based on these forage analysis there is no relevant evidence for P-deficiency on Bavarian grassland. In contrast, area-wide results of soil analysis indicate that the P<sub>CAL</sub>-content of about 47% of Bavarian grassland soils is less than 10 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (4.4 mg P) per 100 g soil, which is therefore lower than the targeted category "C" (10 to 20 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g soil). Additional demand for research and coordination is necessary to achieve professional, site- and utilization-adapted phosphorus fertilization.

*Keywords:* monitoring, soil analysis, utilization intensity, P-content, P-removal, fertilization experiments, P-fertilization recommendations

## Einleitung

Im Grünland rückt die Frage einer optimalen P-Versorgung und damit fachgerechten P-Düngung wieder verstärkt in den Focus. Dies u.a. deshalb, da Phosphor essentieller Nährstoff für den pflanzlichen und tieri-

schen Organismus ist, jedoch viele Grünlandflächen in Bayern und Österreich nach den derzeit gültigen Düngungsrichtlinien suboptimale pflanzenverfügbare P-Konzentrationen im Wurzelraum aufweisen

<sup>1</sup> Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Vöttinger Straße 38, D-85354 FREISING

\* Ansprechpartner: Dr. Michael DIEPOLDER, michael.diepolder@ifl.bayern.de

(Buchgraber, 2007; Pötsch und Baumgarten, 2010, Böhner, 2011, Diepolder und Raschbacher, 2011) und somit eigentlich einer deutlich über der veranschlagten Nährstoffabfuhr liegenden P-Düngung („Aufdüngung“) bedürften. Das wiederum ist angesichts der weltweit nur sehr begrenzt vorhandenen qualitativ hochwertigen primären P-Lagerstätten sowie hoher Preise für P-Dünger und aufgrund neuerer Versuchsergebnisse (Greiner, 2006; Greiner *et al.*, 2010) zunehmend kritisch zu hinterfragen. Auch deshalb, da unter Umständen ein unkontrolliertes „Aufdüngen“ gerade bei sensiblen Bereichen unnötig zu Gewässerbelastung beitragen kann.

Der praktische Landwirt hat vor allem aufgrund der in der Regel auf seinem Betrieb nicht vorhandenen Ertragsmessung und der auch häufig fehlenden Mineralstoffuntersuchung kaum Kenntnis von der tatsächlichen P-Abfuhr bzw. dem P-Bedarf seiner Flächen. Er ist auf regionale Faustzahlen angewiesen, die es gerade in Hinblick auf die o.g. Problematik künftig noch mehr als bisher zu validieren gilt. Daher werden in diesem Beitrag Untersuchungsergebnisse zu P-Abfuhr von Grünlandflächen, P-Gehalten in den Aufwüchsen und im Boden sowie Düngungsempfehlungen und Ergebnisse von Düngungsversuchen vorgestellt und diskutiert.

## Ergebnisse zu mittleren P-Gehalten und P-Abfuhr bayerischer Dauergrünlandflächen bei unterschiedlicher Nutzungsintensität

Ziel des „Ertrags- und Nährstoffmonitorings“ (Diepolder *et al.*, 2013) bayerischer Grünlandflächen ist es, Erträge und Nährstoffentzüge von Praxisflächen in Abhängigkeit von deren Nutzungsintensität, Pflanzenbestandszusammensetzung und Boden-Klimaräumen zu quantifizieren.

Damit soll zukünftig eine auf Regionen bezogene Beratung zur Grünlandbewirtschaftung bzw. -düngung möglich sein und eine breitere Datenbasis für die Validierung von Faustzahlen zum Biomassepotenzial, zur Düngedarfsermittlung oder zur Nährstoffbilanzierung nach Düngeverordnung (DüV) geschaffen werden. Auf bayernweit 120 gezielt ausgewählten Flächen, die bereits im Zeitraum 2002-2008 erstmalig vegetationskundlich im Rahmen des „Grünlandmonitoring Bayern“ (Kuhn *et al.*, LFL, 2011) aufgenommen worden sind, wurden in den Jahren 2009-2012 mittels genau definierter Schnittproben (7x1 m<sup>2</sup> pro Schlag, Abgrenzung der Fläche durch tragbare Rahmen, Schnitt mit elektrischer Rasenkantenschere mit Höhenbegrenzung, Schnitthöhe 5-6 cm, Schnittzeitpunkt max. 2-3 Tage vor der Beerntung durch den Landwirt) die Frisch- und Trockenmasse-Erträge aller Aufwüchse sowie nasschemisch deren Nährstoffgehalte (N, P, K, Mg, Ca, S, Na, Zn) bestimmt und die Nährstoffabfuhr ermittelt. Die gewonnenen Daten inkl. zusätzlich erhobener betriebs- und schlagspezifischer Parameter werden in einer Biomasse- und Nährstoffdatenbank der LfL gespeichert. Für den Zeitraum 2012-2014 wird das Monitoring um weitere 30 Flächen erweitert. Die für diesen Beitrag analysierten Daten der Jahre 2009-2012 wurden auf Plausibilität geprüft und unvollständige Datensätze von der Auswertung ausgeschlossen. Die in *Tabelle 1* aufgeführten Mineralstoffgehalte sind als gewichtete Mittel, also unter Einbeziehung der Ertragsanteile einzelner Schnitte am Jahresertrag ausgewiesen. Um die Ergebnisse mit den offiziellen bayerischen Faustzahlen zur Düngedarfsermittlung (Wendland *et al.*, 2012) bzw. der Nährstoffbilanzierung nach Düngeverordnung (DüV) vergleichen zu können, wurden weiterhin die aus den Schnittproben ermittelten TM-Erträge auf Nettowerte umgerechnet und die Netto-Abfuhr an Nährstoffen bestimmt. In diese Umrechnung flossen neuere Erkenntnisse aus Arbeiten von Köhler *et al.* (2012) ein. Ebenfalls wurde

**Tabelle 1: Mittlere Netto-Jahreserträge, Rohprotein-(XP) bzw. Mineralstoffgehalte und Netto-Nährstoffabfuhr von bayerischen Grünlandflächen bei unterschiedlicher Nutzungsintensität** (Quelle: DIEPOLDER *et al.*, LFL, 2013)

Anzahl (vollständige Ernten 2009-2012)	Schnitte pro Jahr							
	2 39	3 60	4 101	5 79				
<b>TM-Ertrag<sub>netto</sub> [dt/ha]</b>	<b>50</b>	<b>D (0,32)</b>	<b>84</b>	<b>C (0,23)</b>	<b>107</b>	<b>B (0,21)</b>	<b>116</b>	<b>A (0,24)</b>
XP-Gehalt [g/kg TM]	133	D (0,19)	141	C (0,14)	163	B (0,09)	174	A (0,11)
N-Gehalt [% TM]	2,13	D (0,19)	2,26	C (0,14)	2,61	B (0,09)	2,78	A (0,11)
<b>P-Gehalt [g/kg TM]</b>	<b>3,29</b>	<b>D (0,23)</b>	<b>3,75</b>	<b>C (0,21)</b>	<b>4,22</b>	<b>B (0,13)</b>	<b>4,49</b>	<b>A (0,13)</b>
K-Gehalt [g/kg TM]	24,1	D (0,26)	28,7	C (0,26)	31,5	B (0,19)	34,0	A (0,19)
Mg-Gehalt [g/kg TM]	2,91	A (0,25)	2,86	A (0,23)	3,12	A (0,25)	3,00	A (0,19)
S-Gehalt [g/kg TM]	2,33	B (0,25)	2,67	A (0,32)	2,86	A (0,18)	2,85	A (0,14)
N-Abfuhr [kg N/ha]	105	D (0,35)	189	C (0,26)	279	B (0,22)	320	A (0,23)
<b>P-Abfuhr [kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha]</b>	<b>38</b>	<b>D (0,39)</b>	<b>71</b>	<b>C (0,25)</b>	<b>103</b>	<b>B (0,23)</b>	<b>119</b>	<b>A (0,27)</b>
K-Abfuhr [kg K <sub>2</sub> O/ha]	145	D (0,39)	290	C (0,32)	407	B (0,30)	478	A (0,31)
Mg-Abfuhr [kg MgO/ha]	24	C (0,33)	39	B (0,31)	55	A (0,25)	58	A (0,31)
S-Abfuhr [kg S/ha]	11	C (0,36)	22	B (0,36)	30	A (0,27)	33	A (0,27)

XP- N- und Mineralstoffgehalte angegeben als nach Ertragsanteil gewichteter Durchschnitt aller Schnitte. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede ( $\alpha = 0,05$ ) zwischen Intensitäten; Zahlen in Klammern geben den Variationskoeffizient (Standardabweichung/Mittelwert) wieder

berücksichtigt, dass bei den bayerischen Faustzahlen Standard- Nettowerte bei vorwiegender Silagenutzung (Heuanteil max. 20%) unterstellt sind.

Aus der bislang vorliegenden vierjährigen Auswertung (2009-2012) geht hervor, dass der Ertrag, die Mineralstoffgehalte von Grünlandbeständen und damit auch die Nährstoffabfuhr, maßgeblich von der Nutzungsintensität beeinflusst werden. *Tabelle 1* zeigt für TM-Erträge, P-Gehalte und P-Abfuhr einen signifikanten Anstieg der Mittelwerte von niedriger (2 Schnitte pro Jahr) bis hin zu hoher bzw. sehr hoher (4-5 Schnitte pro Jahr) Nutzungsintensität. Meist trifft dies auch für die anderen Parameter zu. Folglich ist im Grünland prinzipiell eine Klassifizierung der mittleren jährlichen bayerischen Trockenmasse-Erträge und Nährstoffabfuhr in Abhängigkeit von der Nutzungsintensität sinnvoll und gerechtfertigt.

Die teilweise hohen Streuungen um die Mittelwerte (*Tabellen 1* und *3*) sind darüber hinaus ein guter Beleg dafür, dass es fachlich sinnvoll ist, Faustzahlen mittels Korrekturfaktoren an einzelbetriebliche oder regionale Verhältnisse anpassen zu können.

Ferner zeigte sich auf Basis des bisherigen Datensatzes eine relativ gute Übereinstimmung zwischen den in den Praxisflächen gefundenen Durchschnittswerten und den aus Versuchen abgeleiteten, in der bayerischen landwirtschaftlichen Beratung verwendeten, ebenfalls nach Intensitätsstufen unterteilten Faustzahlen (Wendland *et al.*, LFL, 2012) zu Netto-Erträgen und Netto-Nährstoffabfuhr im Grünland. Teilweise waren jedoch auch deutliche Abweichungen erkennbar. Dies trifft vor allem für Kalium zu, wobei die gemessenen K-Gehalte der Praxisschläge den für Pflanze und Tier notwendigen Bedarf deutlich übersteigen. Bei der P-Abfuhr ergab sich hingegen, mit Ausnahmen der Vierschnittwiesen, deren gemessene mittlere P-Abfuhr von 103 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha deutlich über der veranschlagten P-Abfuhr von 90 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha lag, eine weitgehende Übereinstimmung mit den Faustzahlen (*Tabelle 7*).

Selbst bei gleicher Nutzungsintensität und Düngung können sich mittlere P-Gehalte und P-Entzüge in Abhängigkeit vom Standort, bzw. der Ausprägung des Pflanzenbestandes beträchtlich unterscheiden. Darauf weisen bereits Untersuchungen von Rieder (1983) in den 1970er Jahren hin (siehe *Tabelle 2*). Nach diesen weisen Wiesenfuchsschwanzwiesen (frische Glatthaferwiesen) bei ähnlichem Ertrags-

potenzial deutlich niedrigere P-Gehalte und damit P-Entzüge als weidelgrasreiche Bestände auf. Sehr kräuterreiche Grünlandbestände wiederum können trotz geringerem Ertragspotenzial, jedoch hohen P-Gehalten in den Aufwüchsen (*Tabelle 2*) ähnliche P-Entzüge wie Weidelgraswiesen haben. Daher dürfte es eine sinnvolle Ergänzung sein, bei Faustzahlen neben der Nutzungsintensität auch den Wiesentyp zu berücksichtigen. So geht seit ca. 30 Jahren vor allem aufgrund der Arbeiten von RIEDER auch der Wiesentyp in die Düngebedarfsermittlung nach bayerischen Faustzahlen ein. Künftige Auswertungen des noch bis 2014 durchgeführten „Ertrags- und Nährstoffmonitorings“ sollen zeigen, ob und inwieweit dies unter den Bedingungen der heutigen Grünlandwirtschaft noch notwendig bzw. sinnvoll ist.

### P-Gehalte im Futter

Festzuhalten bleibt, dass je nach Nutzungsintensität und Standort die P-Gehalte im Futter in weiten Grenzen schwanken können. Für eine leistungsorientierte und bedarfsgerechte Milchviehfütterung auf Basis TMR sind daher regelmäßige Mineralstoffuntersuchungen des Grobfutters eine sinnvolle Maßnahme. Aus *Tabelle 3* geht hervor, dass bei allen Intensitätsstufen die mittleren P-Gehalte im Jahresverlauf ansteigen. Nicht ganz so deutlich ist dies bei Untersuchungen bayerischer Grassilagen (*Tabelle 4*) erkennbar. Ebenfalls fällt auf, dass hier die Werte deutlich niedriger liegen als bei den weidelgrasreichen Wiesen (siehe *Tabelle 2*) oder bei 4-5maliger Nutzungsintensität (siehe *Tabellen 1* und *3*). Mögliche Erklärungen für die beschriebenen Unterschiede sowie Gesichtspunkte dafür, dass die Werte der Futterqualitäten (*Tabelle 4*) mit den Werten aus den *Tabellen 1-3* nur bedingt vergleichbar sind, werden im Folgenden aufgeführt: Eine Rolle spielt sicher die unterschiedliche Datenbasis, wobei die Stichprobenzahl der Silageuntersuchungen höher als bei den Monitoringflächen ist. Ebenfalls enthalten die in den *Tabellen 2* und *3* zugrunde gelegten Datensätze ausschließlich vollständige Jahresernten einer Fläche, erlauben also einen direkten Vergleich im Jahresverlauf. Dies ist bei den Silageuntersuchungen (*Tabelle 4*) insofern nicht der Fall, da die Proben des Ersten Schnittes und der zu einem Mittel aggregierten Folgeschnitte nicht auf identische Flächen bezogen werden können. Weiterhin wird die Futterqualität in der Praxis anhand von

*Tabelle 2: Mittlere TM-Erträge, P-Entzüge und P-Gehalte bei drei Grünlandtypen und vier Schnitten pro Jahr (nach Rieder, 1983)*

	Ertrag brutto [dt TM/ha]	P-Entzug [kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha]	P-Gehalt in Aufwuchs			
			1	2	3	4
			[g/kg TM]			
Voralpine weidelgrasreiche Wiese	123	123	4,7	4,1	4,6	4,6
Voralpine kräuterreiche Wiese	92	117	5,1	5,0	5,3	5,8
Wiesenfuchsschwanzwiese	115	86	3,4	3,5	3,6	3,3

Düngung mineralisch: je 4x50 kg N/ha, 160 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, 300 kg K<sub>2</sub>O/ha; Versuchszeitraum ca. 1974-1979

**Tabelle 3: Mittlere P-Gehalte [in g P/kg TM] und Streuung (Variationskoeffizient) von bayerischen Grünlandaufwüchsen bei unterschiedlicher Nutzungsintensität (Datenbasis wie bei Tabelle 1: Ertrags- und Nährstoffmonitoring GL Bayern)**

Aufwuchs	Schnitte pro Jahr							
	2		3		4		5	
1	3,01	(0,26)	3,35	(0,30)	3,93	(0,20)	4,17	(0,25)
2	3,81	(0,32)	3,86	(0,22)	4,03	(0,18)	4,29	(0,18)
3			4,50	(0,28)	4,47	(0,19)	4,38	(0,18)
4					4,73	(0,20)	4,92	(0,16)
5							5,18	(0,22)

Siloproben bestimmt, während bei Grünlandversuchen und dem GL-Monitoring die Untersuchungen an getrocknetem Grüngut von Schnittproben (Schiere, Balkenmäher, Futterpflanzenvollernter) vorgenommen werden und somit Bröckelverluste auf dem Feld weitgehend ausgeschlossen sind. Betrachtet man die botanische Zusammensetzung der Grünlandbestände selbst, so fällt auf, dass sich die mittleren P-Gehalte der bayerischen Grassilagen (Tabelle 4) auffallend nahe am Niveau von Wiesenfuchsschwanzbeständen (siehe Tabelle 2) bewegen. Kuhn *et al.* (2011) konnten anhand von rund 6.100 botanischen Aufnahmen von bayerischen Wirtschaftsgrünlandflächen nachweisen, dass in Bayern der Wiesenfuchsschwanz insgesamt die am weitesten verbreitete Grünlandpflanze ist und den höchsten Ertragsanteil hat. Dies trifft im Mittel auch für die 150 untersuchten Flächen des „Ertrags- und Nährstoffmonitorings“ zu. Allerdings war hier der Wiesenfuchsschwanz zwar bei den Flächen mit drei bis vier Schnitten pro Jahr der Hauptbestandbildner, während bei den Beständen mit vier und insbesondere fünfmaliger Nutzung die Weidelgräser überwogen.

Als Orientierungswerte werden bei Milchleistungen von 20 bzw. 40 kg/Tag P-Gehalte in der Gesamtration von 3,3 bzw. 4,0 g P/kg TM empfohlen (Gruber Futterwerttabelle, LFL, 2011). Der obere Wert wird im Durch-

**Tabelle 5: P-Gehaltsklassen und P-Düngeempfehlung bei Grünland (Quelle: Wendland *et al.*, LFL, 2012)**

Klasse	Bezeichnung	Bereich [mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (CAL) pro 100 g Boden]	Düngeempfehlung
A	Sehr niedrig	<5	Abfuhr + 30 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha
B	Niedrig	5-9	Abfuhr + 30 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha
C	<b>Anzustreben</b>	<b>10-20</b>	<b>Abfuhr</b>
D	Hoch	21-30	½ Abfuhr
E	Sehr hoch	>30	Keine P-Düngung

schnitt bei Dreischnittwiesen noch nicht erreicht, wie man aus Tabelle 1 entnehmen kann.

**Zwischenfazit:** Aus pflanzenbaulicher Sicht würden Gehalte unter ca. 2,0-2,5 g P/kg TM auf eine P-Unterversorgung hindeuten (Amberger, 1996; Diepolder und Hege, 2004). Andererseits scheinen nach Untersuchungen von GREINER *et al.* (2010) Gehalte von 3,0 g P/kg TM für eine Ausschöpfung des Ertragspotenzials ausreichend zu sein. Aus den Ergebnissen lässt sich somit kein Hinweis auf eine pflanzenbaulich unzureichende P-Versorgung bei einer bestimmten Intensitätsstufe ableiten.

Auch ergibt sich anhand der Futteranalysen kein Beleg für eine flächendeckende P-Problematik.

## Gehaltsklassen und veranschlagter Düngebedarf für Phosphat

Wie in Österreich, so wird auch in Deutschland/Bayern eine Unterteilung der sog. pflanzenverfügbaren Phosphatvorräte im Oberboden (0-10 cm bei Grünland) in fünf Gehaltsklassen vorgenommen. Darauf aufbauend werden Zu- oder Abschläge an der Einordnung der abfuhrorientierten Düngermenge vorgenommen (Tabelle 5).

Im Detail gibt es jedoch bezüglich der Gehaltsklassengrenzen und der Bemessung der Zu- bzw. Abschläge

**Tabelle 4: Futterqualitäten bayerischer Grassilagen in den Jahren 2012/2011/2010 (Quelle: Schuster *et al.*, LfL sowie LKV-Futtermittellabor Grub)**

Angaben pro kg TM	Ø Bayern	Erster Schnitt		Ø Bayern	Folgeschnitte	
		Ø + 25%	Ø - 25%		Ø + 25%	Ø - 25%
<b>2012</b>						
Rohfaser (g)	236	217	257	225	215	236
Rohprotein (g)	168	177	159	164	169	155
Energie (MJ NEL)	6,4	6,8	5,8	6,2	6,6	5,7
<b>Phosphor (g)</b>	<b>3,5</b>	<b>3,7</b>	<b>3,2</b>	<b>3,4</b>	<b>3,8</b>	<b>3,2</b>
<b>2011</b>						
Rohfaser (g)	214	196	239	234	221	248
Rohprotein (g)	156	157	153	147	154	135
Energie (MJ NEL)	6,83	7,32	6,20	6,21	6,69	5,69
<b>Phosphor (g)</b>	<b>3,1</b>	<b>3,2</b>	<b>3,1</b>	<b>3,3</b>	<b>3,6</b>	<b>3,1</b>
<b>2010</b>						
Rohfaser (g)	254	231	277	235	222	250
Rohprotein (g)	157	170	142	170	184	155
Energie (MJ NEL)	5,88	6,37	5,35	5,80	6,22	5,34
<b>Phosphor (g)</b>	<b>3,6</b>	<b>4,0</b>	<b>3,4</b>	<b>3,7</b>	<b>3,9</b>	<b>3,5</b>

Grau unterlegte Werte: Vergleich oberes/unteres Viertel der Proben - Schichtung nach MJ NEL je kg TM

gewisse Unterschiede. Beispielsweise reicht der Bereich der Gehaltsklasse „C“ in Deutschland/Bayern von 10-20 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g Boden (ca. 44-87 mg P/kg B.), in Österreich dagegen von 11-15 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g Boden (ca. 47-68 mg P/kg B.). Auch endet in Bayern die Klasse „A“ bei P-Gehalten unter 5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g Boden (*Tabelle 5*), damit bereits 1 mg unter der österreichischen Obergrenze (< 6 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g Boden) für diese Klasse. Ferner erfolgen in Deutschland/Bayern die Zuschläge als absolute Größe und dabei für die Gehaltsklassen „A“ und „B“ in gleicher Höhe, während nach den österreichischen Richtlinien für die Sachgerechte Düngung (BMLFUW, 2006; zit. bei Pötsch und Baumgarten, 2010) die Zuschläge nicht absolut sondern prozentual zur veranschlagten P-Abfuhr erfolgen und zudem bei Gehaltsklasse „A“ doppelt so hoch (40%) als bei Gehaltsklasse „B“ (20%) sind.

Nach gültiger Düngeverordnung müssen in Deutschland alle Acker- und Grünlandschläge ab einem Hektar die Böden mindestens alle sechs Jahre in einem zugelassenen Labor auf ihren Phosphatgehalt untersucht werden. Somit sind flächendeckende Aussagen zum P-Status der Acker- und Grünlandflächen möglich, wobei *Tabelle 6* bayerische Zahlen wiedergibt.

Ersichtlich ist, dass die P-Versorgung der bayerischen Ackerflächen wesentlich besser als die des Grünlandes ist. So weisen durchschnittliche über 80% der Ackerflächen eine optimale bis sehr hohe P-Versorgung der Böden auf, nur knapp 20% liegen unterhalb der anzustrebenden Versorgungsstufe „C“.

Dagegen liegt der P-Status von knapp der Hälfte der beprobten Grünlandflächen unter dem Optimum (10-20 mg P<sub>2</sub>O<sub>5,CAL</sub>/100 g Boden).

Trotz Berücksichtigung der Tatsache, dass natürlich immer ein gewisser Prozentsatz unter dem Optimalbereich liegen muss, da nicht das gesamte Grünland intensiv bewirtschaftet wird und naturräumliche Standortunterschiede (Ausgangsgestein, Viehbesatz) auftreten, bieten die Werte Anlass zur weiteren Diskussion. Die mittleren CAL-P-Gehalte der bayerischen Ackerflächen sind in den letzten 20 Jahren konstant geblieben. Bei Grünland sind sie dagegen von Ende der 1980er Jahre bis zum Jahr 2000 um rund 5 mg

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha abgesunken und haben sich seitdem auf einem Niveau von rund 13-14 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g eingependelt (Diepolder und Raschbacher, 2011).

Zu genereller Sorge besteht jedoch aus bayerischer Sicht momentan noch kein zwingender Grund, zumal auch die Ergebnisse bayerischer Futteranalysen (*Tabellen 1, 3, 4*) keineswegs auf eine problematische P-Versorgung des bayerischen Grünlands schließen lassen. Dennoch ist zu vermuten, dass in der Praxis, oft das seit Langem bekannte Konzept der Officialberatung zur fachgerechten Düngung nicht ausreichend umgesetzt wurde. Dies auch in vergangenen Zeiten, als P-Dünger noch vergleichsweise billig war.

In *Tabelle 7* sind Beispiele zur P-Abfuhr bei unterschiedlicher Nutzungsintensität und Nutzungsart aufgeführt, woraus eine große Spannweite bei der zu veranschlagenden P-Düngung nach den derzeitigen bayerischen Empfehlungen ersichtlich wird, gerade wenn man gedanklich noch die Zu- und Abschläge berücksichtigt.

Ein Betrieb, der unter Ausschöpfung der „170er-Regelung“ nach deutscher Düngeverordnung wirtschaftet und dabei sein Grünland insgesamt sehr intensiv nutzt, kann Gefahr laufen, dass die optimale P-Versorgung seiner Flächen langfristig abnimmt (*Tabelle 8*). Berücksichtigt man, dass die meisten Betriebe in Bayern und in Österreich weit unter der „170er-Grenze“ liegen, welche grob umgerechnet je nach Zusammensetzung des Viehbestands einem Viehbesatz von 1,8-2,0 GV/ha entspricht, wird klar, dass sich die Situation gerade für den Nährstoff Phosphor im Bereich bei hohen gewünschten Erträgen und intensiver Schnittnutzung noch zu verschärfen droht. Dies zeigt, dass es wichtig ist, sich auch über eine abgestufte Nutzungsintensität des Grünlands Gedanken zu machen, sofern aus betrieblichen Erwägungen nicht an den Einsatz mineralischer Düngemittel gedacht wird oder nur beschränkt möglich ist.

Unter heutigen ökonomischen und ökologischen Bedingungen stellt sich dabei die Frage, ob und inwieweit Bodenuntersuchungsergebnisse als maßgebliches Kriterium für die Bemessung einer fachgerechten P-Düngung dienen können bzw. ob die derzeit noch

**Tabelle 6: Phosphatversorgung bayerischer Acker- und Grünlandböden** (Quelle: LfL, <http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/032397/index.php>)

Gehaltsklasse	Acker		Grünland	
	Ø Bayern	Spannweite Regionen <sup>1)</sup>	Ø Bayern	Spannweite Regionen
A	<3%	2-6%	16%	9-34%
B	14%	11-20%	32%	28-38%
C	45%	43-47%	36%	25-43%
D	23%	19-25%	10%	6-14%
E	15%	12-19%	6%	4-9%

<sup>1)</sup> Mitterer Anteil einzelner Gehaltsklassen und Spannweite zwischen den 7 bayer. Regierungsbezirken Probenahme von 2006-2011; Acker 959.671, Grünland 466.242 Proben; P gemessen als CAL-P 1 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g Boden = 4,37 mg P/1000 g Boden

**Tabelle 7: Beispiele zum Netto-Ertrag und zur Netto-P-Abfuhr von Grünlandflächen unterschiedlicher Nutzungsintensität und Nutzungsart nach bayerischen Faustzahlen** (Quelle: Wendland et al., LfL, 2012)

Nutzungsart und -intensität	Ertrag netto (dt TM/ha)	P-Abfuhr netto (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha)
Wiese, 2-schürig, vorwiegend Heu	45-50	35-40
Wiese, 3-schürig, vorwiegend Silage	75	70
Wiese, 4-schürig, vorwiegend Silage	90	90
Wiese, 5-schürig, vorwiegend Silage	110	110
Mähweide intensiv	90	60
Mähweide extensiv	60	35
Weide intensiv	80	40
Weide extensiv	50	20

empfohlenen Zuschläge bei niedrigem P-Status des Bodens sinnvoll sind.

**Tabelle 8: Phosphat- und Kaliabfuhr von Grünland mit Schnittnutzung im Vergleich zu PK-Zufuhr bei Gülledüngung in Höhe von 170 kg Gesamt-N**

Schnitte/Jahr	Ertrag (dt/ha)	Abfuhr	
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha) <sup>1)</sup>	K <sub>2</sub> O (kg/ha) <sup>1)</sup>
3	75	50-70	180-220
4	90	60-90	215-270
5	110	75-110	265-330
Gülle <sub>170 N/ha</sub> (ca. 70 m <sup>3</sup> /ha bei 5 % TS)		Nährstoffzufuhr <b>65-70</b>	245-265

<sup>1)</sup> Erklärung der Spannweiten bei der Nährstoffabfuhr von Phosphat und Kali: Bei der Bemessung der Untergrenze wurden in Anlehnung an neuere Forschungsergebnisse (Greiner u.a., 2006) für das Pflanzenwachstum ausreichende Gehalte von 3,0 g P/kg TM bzw. 20 g K/kg TM unterstellt, die Obergrenzen stellt die Nährstoffabfuhr nach bayer. Faustzahlen (Wendland *et al.*, 2012) dar.

## Ergebnisse von P-Düngungsversuchen

Zweifelsohne führt der völlige Verzicht auf P-Düngung in der Regel zu einem Absinken der Erträge, zu abnehmenden P-Gehalten im Boden und zu einer Verschlechterung des Pflanzenbestandes und dessen Futterqualität. Dies geht aus langjährigen statischen Düngungsversuchen hervor, wie z.B. der „Weiherwiese“ in Steinach, dem ältesten Grünlandversuch Bayerns (Diepolder *et al.*, 2005) mit einem Ertragsrückgang von ca. 25% (siehe *Tabelle 9*) bei fehlender P-Düngung gegenüber NPK-Volldüngung oder dem ca. 50-jährigen Rotthalmünsterer Grünlanddauerversuch (Schnellhammer und Sirch, 2013) mit einem Ertragsrückgang von rund 15% bei ausgesetzter P-Düngung.

Auch erste Ergebnisse eines mehrjährigen P-Düngungsversuchs (Diepolder und Raschbacher, 2011) auf einem Standort im Allgäuer Alpenvorland (siehe *Tabelle 10*) zeigen erwartungsgemäß eine positive Wirkung regelmäßiger P-Zufuhr auf den Ertrag und den durchschnittlichen P-Gehalt im Futter. Interessant ist jedoch der Vergleich der einzelnen Varianten mit P-Düngung, bei denen sich bisher trotz der relativ niedrigen Phosphatgehalte im Oberboden, unabhängig von der Höhe

der P-Düngung, keine gesicherten Mehrerträge und nur sehr geringfügige Effekt hinsichtlich der P-Gehalte im Futter abzeichneten. In Bezug auf die Düngerform deuteten sich leicht erhöhte P-Gehalte im Futter bei Verwendung von leicht löslichem Super-phosphat an.

Mehrjährige Grünland-Düngungsversuche in Mitteldeutschland (Greiner, 2006) ergaben, dass zwar bei eingeschränkter oder völligem fehlender P-Düngung bei Standorten, wo nicht bereits zu Versuchsbeginn ein starker P-Mangel vorlag, die P-Gehalte im Boden sanken und damit ein enger Zusammenhang zu negativen P-Bilanzsummen bestand. Sie zeigten aber auch, dass hohe P-Düngungszuschläge (50% über Standardentzug) und damit in acht Versuchsjahren stark positive P-Bilanzsummen die P-Gehalte nach Standardbodenuntersuchung nur auf einem Niedermoorstandort, nicht jedoch auf mineralischen Standorten anheben konnten. Auch wurden auf solchen Standorten, die bereits zu Beginn in den Gehaltsklassen „A“ und „B“ lagen, durch P-Düngezuschläge keine Mehrerträge erzielt. Greiner *et al.* (2006, 2010) stellten insbesondere fest, dass eine Düngung, die sich am Standardentzug von 3 g P/kg TM (bzw. 20 g K/kg TM) orientiert, für die Ausschöpfung des standorttypischen Ertragspotenzials ausreichend war. Greiner (2006) verweist allerdings auch darauf, dass extensiv bewirtschaftete Grünland ohne N-Düngung ausreichend mit P und K versorgt sein muss - dies ist auch aus *Tabelle 9* ersichtlich - und dass leguminosenreiche Pflanzenbestände höhere Ansprüche an die P- und K-Versorgung als grasbetonte Pflanzenbestände stellen.

## Fazit und Ausblick

Der P-Bedarf von Grünland schwankt in weiten Grenzen. Leider hat der Landwirt in der Regel keine Kenntnis über die reale Nährstoffabfuhr seine Flächen. So sind ausreichend differenzierte Faustzahlen auch künftig ein notwendiges Instrument zu Bemessung der Düngung. Es scheint daher sinnvoll, Faustzahlen zu Erträgen und Nährstoffabfuhr noch weiter zu validieren. Mittels der chemischen Bodenanalyse kann le-

**Tabelle 9: Wirkung von unterschiedlicher mineralischer Düngung auf Ertrag, Nährstoffversorgung des Bodens und Pflanzenbestand einer frischen dreischürigen Glatthaferwiese (Wiesenfuchsschwanzwiese)<sup>1)</sup>**

	Düngungsvariante				
	NPK <sup>2)</sup>	NPK <sup>2)</sup>	N K	PK <sup>2)</sup>	NP <sup>2)</sup>
N/P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /K <sub>2</sub> O-Düngung (kg/ha)	120/100/210	120/50/210	120/-/210	-/100/210	120/100/-
Ertrag (dt TM/ha)	108	105	79	93	68
pH <sub>CaCl2</sub> 5,8	5,3	4,6	5,4	6,2	
CAL-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100 g Boden)	22	10	3	24	25
CAL-K <sub>2</sub> O (mg/100 g Boden)	10	10	22	13	5
Gräser (% im 1. Aufwuchs)	80	81	62	56	79
Kräuter	12	13	35	14	19
Klee	8	6	3	30	2
Ø Futterwertzahl (max. 8.0)	6,4	6,4	5,1	6,4	5,5

<sup>1)</sup> Standort Steinach, hier Mittel 1985-2001; Parzellen jedoch mindestens seit 1971 wie beschrieben gedüngt

<sup>2)</sup> P-Düngung mit Thomasphosphat (enthält auch basisch wirksamen Kalk)

**Tabelle 10: Wirkung von unterschiedlicher P-Düngung bei einer weidelgrasreichen Wiese im Allgäu mit vier Schnitten pro Jahr<sup>1)</sup>**

Parameter	Ohne P	Düngungsvariante				
		Leichtlösliches P (Superphosphat)		Weicherdiges Rohphosphat	Gülle (4x25 m <sup>3</sup> /ha)	
N-Düngung [kg/ha]	200	200	200	200	200	205
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Düngung [kg/ha]	-	50	100	50	100	115
K <sub>2</sub> O-Düngung [kg/ha]	300	300	300	300	300	270
Ertrag [dt TM/ha]	102	110	113	110	112	110
P-Entzug [kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha]	69	97	108	86	91	93
Ø P-Gehalt [g P/kg TM]	3,0	3,8	4,2	3,4	3,6	3,7
CAL-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> [mg/100 g Boden]						
0-10 cm Tiefe	6	9	11	7	9	9
10-20 cm Tiefe	4	4	5	3	4	4
über 20 cm Tiefe	<1	<1	<1	<1	<1	<1

<sup>1)</sup> Spitalhof/Kempton, Mittel 2003-2008; Quelle: Diepolder und Raschbacher, 2011

diglich der potenziell verfügbare Nährstoffgehalt, nicht jedoch seine tatsächliche Verfügbarkeit festgestellt werden. Damit kann vom P-Status der Böden eines Betriebes oder einer Region alleine nicht automatisch auf Ertrag und Qualität des Wirtschaftsgrünlandes bzw. dessen Düngebedarf geschlossen werden, da dieser ohne Berücksichtigung von weiteren Standort- und Bodeneigenschaften nur sehr grob abgeschätzt werden kann (Bohner, 2010). Es ist daher in Übereinstimmung mit Greiner (2006) speziell bei Grünland zu überlegen, neben den sicher notwendigen Bodenanalysen sowie betrieblichen Schlagbilanzen, die Mineralstoffgehalte der Pflanzen über Futteranalysen stärker als bisher für eine sachgerechte, d.h. effiziente und ressourcenschonende Düngung zu berücksichtigen. Daher ist weiterer Forschungs- und länderübergreifender Abstimmungsbedarf gegeben.

## Literatur

Amberger, A., 1996: Pflanzenernährung, 4. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 2011: Gruber Tabelle zur Fütterung der Milchkühe, Zuchtrinder, Schafe, Ziegen. 34. Auflage, LfL Information.

Bohner, A., 2010: Phosphorgehalte und Phosphorverfügbarkeit in Grünlandböden unter besonderer Berücksichtigung des Biolandbaues. Vortrag bei den Hefterhofer Umweltgesprächen „Phosphorbilanz im Biolandbau“ am 25.02.2010 an der Kammer für Land- und Forstwirtschaft Salzburg.

Buchgraber, K., 2007: Phosphorversorgung beim Grünland. Der fortschrittliche Landwirt, Heft 5/2007, 14-15.

Diepolder, M., Hege, U., 2004: Mineralstoffgehalte im Grünland. Schule und Beratung, Heft 07/04, Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, III: 20-23.

Diepolder, M., Schneider, B., Jakob, B., 2005: Ergebnisse von der Weiherwiese, dem ältesten Grünlandversuch Bayerns. Schule und Beratung, Heft 2/05, Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, III: 11-17.

Diepolder, M., Raschbacher, S., 2011: Bei Phosphor dranbleiben. dlz-Agrarmagazin, Heft 4, 64-69.

Diepolder, M., Raschbacher, S., Heinz, S., Kuhn, G., 2013: Erträge, Nährstoffgehalte und Pflanzenbestände bayerischer Grünlandflächen. Tagungsband der Wissenschaftstagung der LfL „Agrarforschung hat Zukunft“ am 04. Juli in München; LfL-Schriftenreihe 4/2013, ISSN 1611-4159, 185-194.

Greiner, B., Schuppenies, R., Hertwig, F., Hochberg H., Riehl, G., 2010: Ergebnisse aus zwölfjährigen Phosphor- und Kaliumdüngungsversuchen auf Grünland. VDLUFA-Kongressband; Kiel 2010, 157-168.

Greiner, B., 2006: Bei Phosphor und Kali sparen - aber nicht zu viel. top agrar, Heft 3, 102-104.

Köhler, B., Thurner, S., Diepolder, M., Spiekers, H., 2012: Ertragsermittlung vom Grünland mittels manueller Schnittprobe. In: VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 68, Kongressband 2012 Passau, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 375-379.

Kuhn, G., Heinz S., Mayer F., 2011: Grünlandmonitoring Bayern - Ersterhebung der Vegetation 2002-2008. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (Hsg.) 3/2011, 161 S., ISSN 1611-4159.

Pötsch, E., Baumgarten, M., 2010: Phosphorproblematik im Grünland. Der fortschrittliche Landwirt, Heft 18, 30-31.

Rieder, J.B., 1983: Dauergrünland. BLV-Verlags-gesellschaft, München.

Schellhammer, R., Sirch, J., 2013: Statischer Dauerdüngungsversuch. In: 45. Versuchsbericht der Höheren Landbauschule Rotthalmünster 2012, 226-229.

Schuster, H., Moosmeyer, M., Schuster, M., 2010: Durchwachsen wie das Wetter - Grassilage-Qualität 2010: Erster Schnitt mit niedrigen Energiegehalten. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt 45, S. 34.

Schuster, H., Moosmeyer, M., Schuster, M., 2011: 2011 - ein außergewöhnliches Jahr - Grassilagequalität 2011: viel Energie aber wenig Eiweiß und Struktur. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt 44, 22-23.

Schuster, H., Moosmeyer, M., Schuster, M., 2012: 2012 - mit guter Grassilage Kraftfutter sparen. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt 44, 31-33.

Wendland, M., Diepolder, M., Capriel, P., 2012: Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland - Gelbes Heft. 10. unveränderte Auflage 2012, LfL-Information, Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan.



## Pflanzenverfügbare Phosphorgehalte landwirtschaftlicher Nutzflächen in Österreich

Andreas Baumgarten<sup>1\*</sup> und Georg Dersch<sup>1</sup>

### Einleitung

Die Versorgung von Böden mit Phosphor steht derzeit wieder vermehrt im Mittelpunkt von Diskussionen. Während in vergangenen Jahrzehnten vor allem die Ertragswirkung im Vordergrund stand, ist es nunmehr einerseits die Problematik der Verfügbarkeit als Ressource, andererseits aber auch negative Umweltauswirkungen wie Eutrophierung durch Phosphatverluste. Aussagen zum Versorgungsstatus österreichischer Böden sind daher eine wesentliche Voraussetzung für zukünftige Strategien im Umgang mit diesem wichtigen Rohstoff.

Die Richtlinien für die sachgerechte Düngung gelten in Österreich als fixer Bestandteil der guten landwirtschaftlichen Praxis, die Empfehlungen bauen überwiegend auf den Ergebnissen von Bodenuntersuchungen auf. Die Durchführung von Bodenanalysen erfolgt in Österreich allerdings zum Unterschied zu benachbarten Ländern wie Deutschland oder Tschechien ausschließlich auf freiwilliger Basis.

Seit Beginn der Bodenuntersuchungsaktionen in Österreich war die Teilnahme konstant rückläufig. Durch Anreize wie Förderungen im Rahmen des ÖPUL oder der oberösterreichischen Landes-Bodenuntersuchung war es dennoch möglich, eine relativ hohe Anzahl von neueren Ergebnissen zu erhalten, die die Basis für die vorliegende Auswertung bilden.

### Material und Methoden

Als Datengrundlage standen einerseits die Ergebnisse der Untersuchungen der AGES und ihrer Vorläuferorganisationen zur Verfügung, darüber hinaus konnten auch Daten der LK Steiermark, Burgenland und Kärnten berücksichtigt werden. Insgesamt wurden

etwa 450000 Datensätze aus dem Zeitraum von 1991 bis 2011 ausgewertet. Der Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphor wurde nach der ÖNORM L 1087 im CAL-Extrakt analysiert. Die Arbeiten wurden im Rahmen eines Auftrages des BMLFUW zur Evaluierung der Maßnahmen des ÖPUL durchgeführt.

### P-Versorgung weinbaulich genutzter Böden

Für die Teilnahme an der ÖPUL-Maßnahme Integrierte Produktion im Weinbau sind Bodenuntersuchungen vorgeschrieben. Aufgrund der sehr hohen Teilnehmerate sind die Ergebnisse fast flächendeckend. Bei weinbaulich genutzten Böden stand lange das Prinzip der Vorratsdüngung im Vordergrund. Dem entsprechend war die Versorgung der Böden auch noch Anfang der 1990er Jahre insgesamt sehr hoch. Im Vergleich zur Periode 2006-2009 ist eine signifikante Abnahme der Gehalte sowohl im Ober- als auch im Unterboden festzustellen. Beispielhaft soll hier das nordöstliche Flach- und Hügelland erwähnt werden, für das der Anteil der Gehaltsstufen D und E von 75% der Fläche

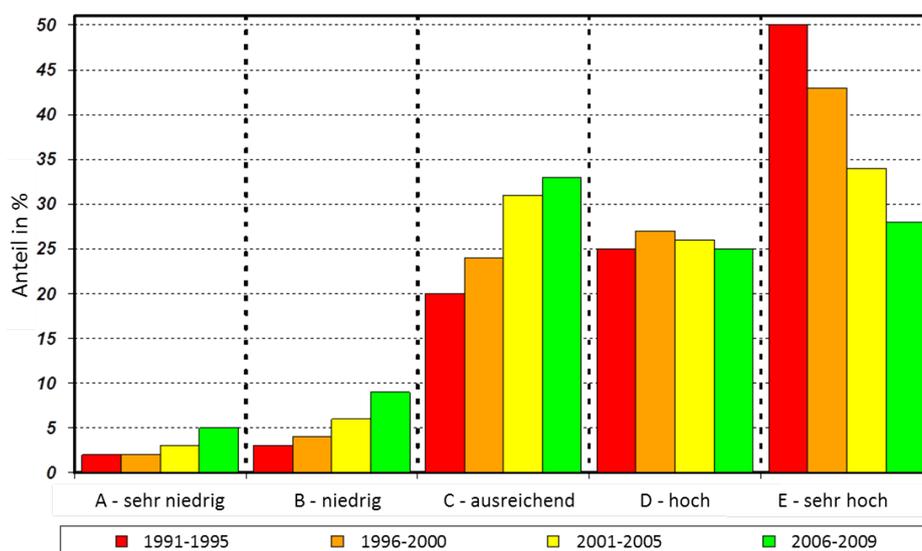


Abbildung 1: Zeitliche Entwicklung der Phosphorgehalte in den Weingärten im Nordöstlichen Flach- und Hügelland

<sup>1</sup> AGES Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Institut für nachhaltige Pflanzenproduktion, Abteilung Bodengesundheit und Pflanzenernährung, Spargelfeldstraße 191, A-1220 WIEN

\* Ansprechpartner: Dr. Andreas BAUMGARTEN, andreas.baumgarten@ages.at

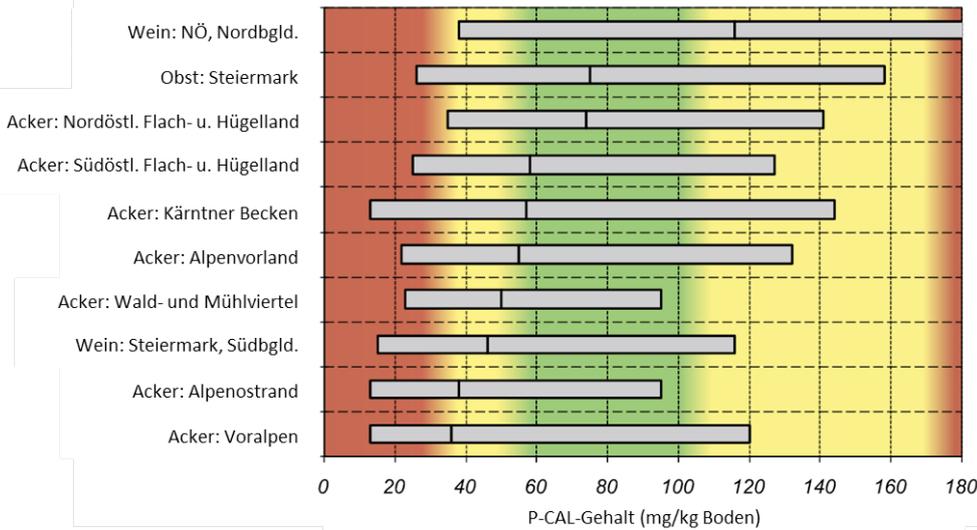


Abbildung 2: Aktuelle Versorgung wein- und ackerbaulich genutzter Böden österreichischer Hauptproduktionsgebiete mit pflanzenverfügbarem Phosphor

auf 50% reduziert werden konnte. Der Anteil der Gehaltsklassen A und B stieg von 5 auf 14%. In der Tendenz ist diese Entwicklung für alle weinbaulich genutzten Böden ähnlich, die P-Versorgung ist demnach als sehr gut einzustufen, Düngungsmaßnahmen sind nur in wenigen Fällen erforderlich (Abbildung 1). Im Gegensatz dazu weist im südöstlichen Flach- und Hügelland die Hälfte der Weingärten eine niedrige und sehr niedrige Phosphor-Versorgung auf. Die Proben mit hohen Gehalten sind rückläufig, eine hohe Versorgung ist bei 12% der Proben gegeben (Abbildung 2).

### P-Versorgung ackerbaulich genutzter Böden

Für ackerbaulich genutzte Böden zeichnet sich ein ähnlicher Trend wie im Weinbau ab. In diesem Fall ist allerdings der ursprüngliche Anteil hoch versorgter Standorte deutlich geringer, dementsprechend ist auch die Abnahme dieser Gehaltsklassen nicht so stark ausgeprägt. Grundsätzlich ist eine überwiegende Anzahl der Standorte im optimal versorgten Bereich der Gehaltsklasse C, allerdings sind regionsspezifische

Unterschiede deutlicher ausgeprägt (Abbildung 3). So ist etwa im Alpenvorland ein wesentlich höherer Anteil der Böden im niedrig versorgten Bereich als im intensiven Produktionsgebiet des nordöstlichen Flach- und Hügellandes. Hier halten sich hoch und niedrig versorgte Standorte die Waage (je 20%). Im Nordöstlichen Flach- und Hügelland sind 60% der beprobten Ackerflächen ausreichend mit Phosphor versorgt. Der Anteil hoch versorgter Standorte

(Stufen D und E) ist wie erwähnt von 25 auf 20% zurückgegangen, die Flächen mit niedrigen P-Gehalten (Stufen A und B) von 14 auf 20% angestiegen.

Im Alpenvorland gab es ebenfalls eine Verschiebung zu den niedrig versorgten Stufen (von 35 auf nunmehr 40%). Die Anteile höher versorgter Klassen, aber auch die optimale Stufe C haben entsprechend abgenommen. Derzeit sind 45% der Flächen optimal versorgt, um 4% weniger als vor 1995. Im Waldviertel liegt der Anteil niedrig versorgter Standorte bei 45%, vor 1995 waren es 37%. In der ausreichenden Stufe C befinden sich knapp 50% der untersuchten Flächen, eine hohe Versorgung zeigen 6%. Die im Boden vorliegenden Phosphor-Reserven wurden in den vergangenen beiden Jahrzehnten genutzt. Auf Ackerland ist das Ziel, die P-Versorgung möglichst umweltverträglich zu gestalten und die hohen Versorgungsstufen zu reduzieren, schon auf 80 bis 94% der Flächen erreicht.

Auf vielen Standorten (20 bis 45% je nach Region) ist allerdings bereits darauf zu achten, dass die P-Gehalte zumindest stabil gehalten bzw. wieder leicht angehoben werden.

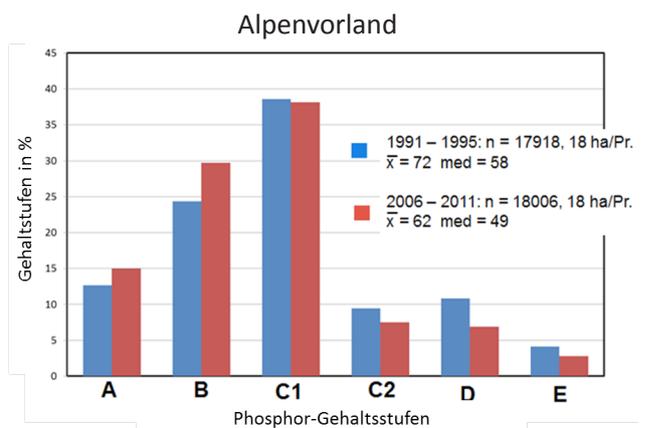
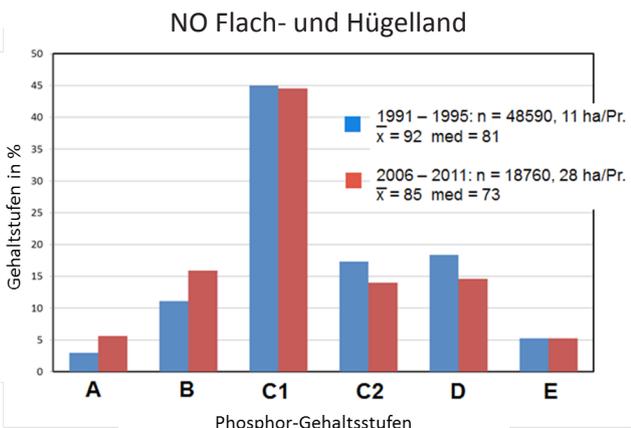


Abbildung 3: Versorgung ackerbaulich genutzter Böden mit pflanzenverfügbarem Phosphat im nordöstlichen Flach und Hügelland sowie im Alpenvorland

Tabelle 1: Österreichische P-Bilanz (Umweltbundesamt, 2008)

	1995	1999	2003	2005	2007
input (kt P)	67,5	62,5	56,9	53,3	55,2
output (kt P)	68,6	71,9	57,9	73,9	65,5
input - output balance (kt P)	-1,0	-9,1	-1,1	-20,6	-10,3
Balance in kg/ha	-0,3	-2,7	-0,3	-6,4	-3,2

## P-Versorgung von Grünlandstandorten

Im Gegensatz zum Ackerland überwiegen im Grünland die niedrig versorgten Standorte. So liegen auch in den intensiv bewirtschafteten Produktionsgebieten bereits etwa 80% der Böden nur mehr in den Versorgungsklassen A und B. 10-15% gelten als ausreichend versorgt und 10% der Flächen sind in der höheren Gehaltsklasse D (Abbildung 4).

Es wurde daher schon mehrmals diskutiert, eine neuerliche Evaluierung der Einstufungen durchzuführen und darauf aufbauend entsprechende Maßnahmen für eine Verbesserung der Versorgungssituation abzuleiten. Allerdings

ist anzumerken, dass zumindest bei den Standorten in Gehaltsstufe B zumeist keine Beeinträchtigungen des Wachstums oder der Futterqualität gegeben sind. Der Beitrag des organischen Phosphorpool auf den humusreicheren Grünlandböden wird mit der Bodenuntersuchung nicht erfasst, die Versorgungslage für die Grünlandpflanzen dürfte daher günstiger sein.

Dennoch sollte die weitere Entwicklung der Versorgungslage in jedem Fall beobachtet werden. Für Böden in der Gehaltsklasse A sollte auf die Möglichkeit einer zusätzlichen P-Düngung hingewiesen werden.

## Resume

Die höchsten Nährstoffgehalte liegen bei den Dauerkulturen Wein und Obst vor, insbesondere auf den Flächen, die bereits seit mehreren Jahrzehnten derart genutzt werden. Die hohen Nährstoffvorräte im Weinbau im Nordöstlichen Flach- und Hügelland gehen aufgrund des reduzierten Düngeraufwandes

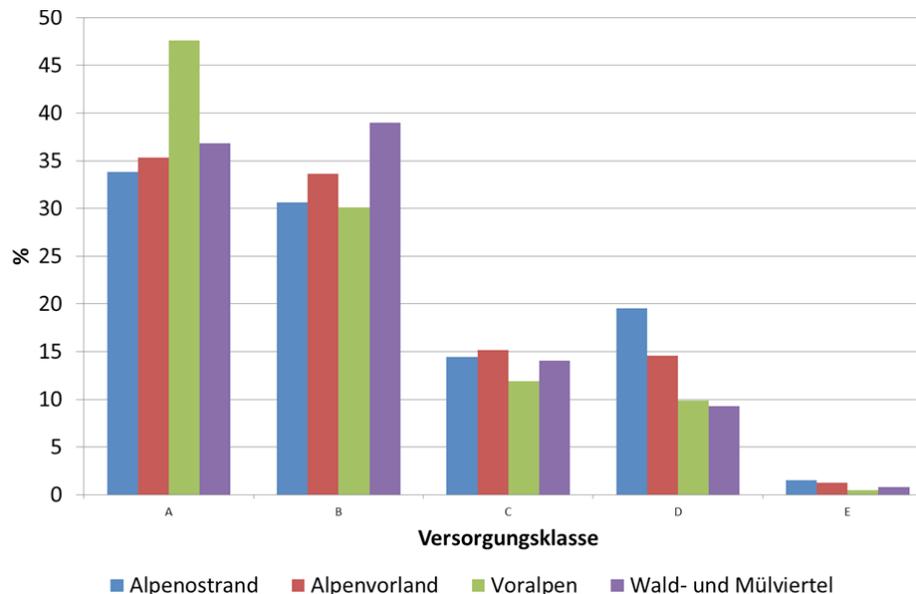


Abbildung 4: Aktuelle Anteile der P-Versorgungsklassen im Grünland

deutlich zurück. Vergleichsweise niedrig sind die P-Gehalte in den Weingärten im Südosten.

Auf Ackerland weisen die Standorte im Nordöstlichen Flach- und Hügelland die höchsten Nährstoffgehalte auf. Dies ist auf den verstärkten Einsatz von mineralischen Düngergaben in der Vergangenheit zu den P- und K-bedürftigen Kulturen Zuckerrübe, Kartoffeln und Feldgemüse in dieser Region zurückzuführen. Bereits deutlich niedrigerer, jedoch überwiegend im ausreichenden Bereich, sind die Nährstoffvorräte in den weiteren großen Ackerbauregionen im Südöstlichen Flach- und Hügelland, im Alpenvorland und im Kärntner Becken. In den alpinen Randlagen (Alpenostrand, Voralpen), wo die Ackernutzung eine geringe Bedeutung hat, liegen die Mediane der Phosphorgehalte bereits unterhalb der ausreichenden Stufe C. Die Grünlandstandorte sind überwiegend nur gering versorgt, allerdings dürfte hier der organische Phosphatpool eine wesentliche Rolle in der Pflanzenernährung spielen. Die generell abnehmenden Gehalte stehen im Einklang mit der negativen österreichischen P-Bilanz (Tabelle 1).



# Phosphorversorgung der OÖ. Grünlandflächen - Ergebnisse der OÖ. Landesbodenuntersuchung 2009 - Konsequenzen für die Beratung

Franz Xaver Hölzl<sup>1\*</sup>

## Einleitung

Ausgelöst durch den Klimawandel und die geforderten Klimaschutzmaßnahmen, der Entwicklung von geeigneten Anpassungsstrategien, strittigen Diskussionen um abnehmende Humusgehalte, zunehmender Konkurrenz von Nahrungsmittel- und Bioenergieproduktion und steigenden Betriebsmittelpreisen, insbesondere bei Phosphordüngern, gewinnen konkrete und repräsentative Basisdaten zum Status der Bodenqualität an Bedeutung. Aus diesen Gründen wurde ein Beratungsprojekt im Jahr 2009 („Landesbodenuntersuchung“) mit einem finanziellen Zuschuss für die Betriebe bei der Durchführung von Bodenuntersuchungen angeboten. Eine nachhaltige und umweltgerechte Pflanzenproduktion hat neben der wieder rapid an Bedeutung gewinnenden Produktionsfunktion auf einen effizienten Düngereinsatz und eine ausgewogene Nährstoffversorgung, sowie auf optimale Humusgehalte und Säuregrade der Böden besonders Bedacht zu nehmen.

Im Rahmen eines ÖPUL-Evaluierungsprojektes wurden die für Oberösterreich verfügbaren Bodendaten unter Federführung der AGES (Dr. Georg Dersch) und in Kooperation der Bodenschutzberatung der Landwirtschaftskammer OÖ einer detaillierten Auswertung unterzogen.

## Datengrundlage

Im Rahmen der OÖ Landesbodenuntersuchung 2009 wurden 4.654 Grünlandflächen analysiert. Davon werden 3.610 Flächen konventionell und 1.035 biologisch bewirtschaftet. Nachdem von den Bodenproben der Landesbodenuntersuchung 2009 die dazugehörige Betriebsnummer vorlag, war es möglich auch die jeweiligen betriebsbezogenen INVEKOS-Daten (Betriebsgröße nach Acker- und Grünland, Kulturarten

auf dem Ackerland, Viehbestand, ÖPUL-Teilnahmen auf Acker- und Grünland) den Bodendaten gegenüberzustellen. Somit erzielten die Datensätze eine Informationsdichte, die bislang von österreichischen Bodendaten nicht vorlag.

Zusätzlich gingen weitere aktuelle Bodendaten aus der Praxis, die vom CEWE-Labor in Nussbach, OÖ, in den Jahren 2008 bis 2011 untersucht worden sind, in die Auswertungen ein.

Für eine Bewertung der vorangegangenen Bewirtschaftung sind besonders die Veränderungen von Bedeutung. Dafür standen einerseits die Ergebnisse der Bodenzustandsinventur (BZI) des Landes OÖ von 1993, mit einer deutlich geringeren Probenzahl, jedoch mit einem repräsentativen Beprobungsraaster, zur Verfügung. Andererseits wurden Ergebnisse von Bodenuntersuchungen verfügbar gemacht, die in der Periode 1991-1995 von der LK-OÖ bei der damaligen Bundesanstalt für Bodenkunde beauftragt wurden. Diese Daten stammen von der interessierten Praxis, die damals ohne finanzielle Anreize bzw. eingegangene Verpflichtungen durch ein Agrarumweltprogramm Bodenanalysen durchführen ließ.

## Bodenproben von Grünlandstandorten

Mehr als 4.600 Bodenproben von Grünlandflächen stehen zur Verfügung, im Mittel wurde pro 49 ha Grünland eine Probe gezogen (*Tabelle 1*).

Bezogen auf den Bioanteil von 17% im Grünland sind die Bodenproben von Biobetrieben mit über 22% etwas überrepräsentiert. Dabei wird darauf verwiesen, dass 420 Proben von Biobetrieben stammen, die erst in der Periode 2002-2009 umgestellt haben.

Auf der Ebene der Kleinproduktionsgebiete (KPG) ist in *Tabelle 3* ersichtlich, dass der Bioanteil mit den ungünstigeren topografischen und klimatischen Be-

*Tabelle 1: Beprobungsdichte bei Grünland nach Bewirtschaftungsform*

Beprobungsdichte Grünland	ha	%	Anzahl Bodenproben	%	1 Bodenprobe pro ... ha GL
Grünland (GL) in OÖ	228.101	100,00	4.645	100,0	49
konventionell	189.107	82,9	3.610	77,7	52
biologisch	38.994	17,1	1.035	22,3	38

<sup>1</sup> Boden.Wasser.Schutz.Beratung, Landwirtschaftskammer OÖ., Auf der Gugl 3, A-4021 LINZ

\* Ansprechpartner: DI Franz Xaver HÖLZL, franz.hoelzl@lk-ooe.at

Tabelle 2: Beprobungsdichte bei Grünland nach HPG und Bewirtschaftungsform

Hauptproduktionsgebiet	GL in ha	biolog. bewirt. GL (in %)	Proben von biolog. GL (%)	1 Bodenprobe pro ... ha biolog. GL	1 Bodenprobe pro ... ha konvent. GL
Voralpen	46.864	20,0	29,2	60	99
Mühlviertel	91.206	22,0	25,9	27	34
Alpenvorland	90.031	10,6	11,0	69	72

Tabelle 3: Beprobungsdichte bei Grünland nach KPG und Bewirtschaftungsform

Kleinproduktionsgebiet	GL in ha	biolog. bewirt. GL (in %)	Proben von biolog. GL (%)	1 Bodenprobe pro ... ha biolog. GL	1 Bodenprobe pro ... ha konvent. GL
Äußeres Salzkammergut	13.351	18,7	27,8	166	278
Inner. Salzkammergut, Eisenw.	33.513	20,6	29,4	49	78
Mittellagen d. Mühlviertels	53.443	19,9	22,8	25	30
Hochlagen des Mühlviertels	37.763	24,8	31,7	29	41
Oberes Innviertel	20.616	13,0	12,4	51	48
Altheim-Obernberger-Gebiet	2.731	7,6	19,2	41	120
Rieder Gebiet	24.920	8,3	6,2	109	80
Vöcklabrucker Gebiet	16.099	11,6	6,8	233	129
Grieskirchen-Kremsmünster	18.581	10,5	10,1	70	67
Oberösterr. Zentralraum	7.084	11,3	24,3	31	78

dingungen wie der Höhenlage zunimmt (Mittel- und Hochlagen des Mühlviertels, Inneres und Äußeres Salzkammergut). Der niedrigste Bioanteil liegt im Altheim-Obernberger und Rieder Gebiet vor. Wegen unzureichender Datenlage wurde auf KPG-Ebene vom Äußeren Salzkammergut, Altheim-Obernberger Gebiet, Vöcklabrucker- und Rieder Gebiet keine Vergleichsauswertungen durchgeführt.

## Ergebnisse

### P-Gehalte am Grünland nach Hauptproduktionsgebieten

Die pflanzenverfügbaren Phosphorgehalte in den Hauptproduktionsgebieten sind generell als niedrig bis sehr niedrig einzustufen (Voralpen - MW: 25 mg P/1.000 g FB; Mühlviertel - MW 34 mg; Alpenvorland - MW: 33 mg P). Die extensivere Nutzungsintensität zeigt sich auch in den signifikant niedrigeren P-CAL-Gehalten in den Voralpen.

### P-Gehalte am Grünland nach Kleinproduktionsgebieten

Hinsichtlich der Nährstoffversorgung sind die P-Gehalte sowohl in den Mittellagen als auch in den

Hochlagen des Mühlviertels im Mittel als niedrig (Stufe B 27-46 mg P/kg) einzustufen (MW: 34 mg P/1000 g FB). In den Voralpen sind die durchschnittlichen P-Gehalte an der Grenze zwischen Stufe A und Stufe B (Äußeres Salzkammergut - MW 24 mg P/1000 g FB, Inneres Salzkammergut - MW 26 mg P/1000 g FB). Im Alpenvorland liegt die P-Versorgung im Mittel im unteren bis mittleren Bereich der niedrigen Stufe B (Altheim-Obernberger Gebiet - MW: 27 mg/kg; Vöcklabrucker Gebiet - MW: 28 mg/kg; Oberes Innviertel, Grieskirchner-Kremsmünster Gebiet und OÖ Zentralraum - MW: 32 mg/kg; Rieder Gebiet: MW 36 mg/kg)

### Tierhaltung und pflanzenverfügbarer Phosphorgehalt des Grünlandes

Auf Grünland werden fast ausschließlich Wirtschaftsdünger aus der Rinderhaltung ausgebracht. Dementsprechend moderat ist der Effekt auf die P-Gehalte im Boden. Relevant sind wegen der Probenzahlen nur die Zeilen mit einem GVE-Bestand von im Mittel 1-2 GVE/ha. Im Alpenvorland und Mühlviertel steigen die P-Gehalte um 3-8 mg/kg, in den Voralpen deutlich stärker, ausgehend von einem viel niedrigeren Niveau (Tabelle 4). Auch bei sehr hohem Rinderbestand verbleiben die P-Gehalte im Mittel in der niedrigen Stufe B (26-46 mg P/kg).

Tabelle 4: GVE-Bestand und P-CAL-Gehalt (mg/kg) auf Grünland nach HPG

Grünland GVE-Klassen	alle Daten			Alpenvorland (b)			Mühlviertel (b)			Voralpen (a)		
	Mittel	s	n	Mittel	s	n	Mittel	s	n	Mittel	s	n
GVE bis 0,25	37 bc	34	83	31 a	16	28	40 ab	40	55			
GVE 0,25 - 0,75	29 a	19	186	29 a	21	25	32 a	19	131	16 a	9	30
GVE 0,75 - 1,25	30 a	19	1686	29 a	23	296	32 a	18	1121	20 ab	13	269
GVE 1,25 - 1,75	33 ab	22	2038	33 a	25	665	34 a	20	1191	30 ab	25	182
GVE 1,75 - 2,25	36 abc	30	612	37 a	22	225	35 a	32	337	42 b	43	50
GVE über 2,25	42 c	22	40	39 a	21	20	47 b	25	17	35 ab	16	3
Gesamt	32	23	4645	33	24	1259	34	22	2852	25	23	534

**Tabelle 5: P-CAL-Gehalt (Mittelwert, Standardabweichung, 5 Perzentile) von konventionellen u. seit 2001 biologisch bewirtschafteten Grünlandflächen in ausgewählten HPG und KPG in OÖ**

mg P/kg (CAL)		n	MW	s	Q10	Q25	Q50	Q75	Q90	
Alpenvorland	Konv	1152	33	b	25	16	22	31	39	52
	Bio	73	28	a	16	13	17	22	35	53
Voralpen	Konv	378	28	b	26	13	17	22	31	48
	Bio	105	19	a	11	9	13	17	22	26
Mittellagen des Mühlviertels	Konv	1448	34	b	22	15	22	31	39	54
	Bio	236	30	a	18	13	17	26	35	52
Hochlagen des Mühlviertels	Konv	719	34	a	24	17	22	30	39	52
	Bio	208	32	a	16	14	22	30	39	55

### Vergleich der Bewirtschaftungsform: Konventionell vs. Biologisch

In drei der vier ausgewählten Regionen sind die mittleren P-CAL-Gehalte (Mittelwert, Median) auf den „Bio“-Flächen signifikant um 4-9 mg/kg niedriger, in den Hochlagen des Mühlviertels liegt kein relevanter Unterschied vor, auch der Median ist mit 30 mg P/kg bei beiden Systemen ident (Tabelle 5). Insbesondere in den Voralpen sind die Gehalte sehr niedrig, die meisten Flächen sowohl „Bio“ als auch „Konv“ befinden sich in dieser Gehaltsstufe A (kleiner 26 mg P-CAL/kg). Beim Vergleich der Bewirtschaftungssysteme ist zu bedenken, dass ein erheblicher Anteil des konv. bewirtschafteten Grünlandes an der Maßnahme Verzicht ertragssteigernder Betriebsmittel oftmals seit 1995 teilnimmt.

### Entwicklungstrends der Bodenparameter auf Basis aller verfügbaren Daten zwischen 1991-1995 und 2008-2011

Die pflanzenverfügbaren Phosphorgehalte sind generell auf Grünland niedrig. Das wird auch durch die CAL-Methode mit verursacht, weil damit der

organische P-Pool nicht erfasst wird. Diese niedrige Versorgungslage wurde bereits in der Vergangenheit und aktuell auf den OÖ. Grünlandflächen gefunden. Der Mittelwert und der Median der aktuellen Daten liegen um 5 bzw. um 4 mg P/kg niedriger als bei den Vergleichsdatensätzen von vor 1995 (Abbildung 1). Die CAL-Methode spiegelt jedoch recht gut die in den letzten Jahren konstatierte negative P-Bilanz auch auf Grünland wieder.

### Zusammenfassung der Ergebnisse

Das in Verwendung stehende Extraktionsverfahren (CAL-Methode) hat für die Bewertung des Düngedarfes den Nachteil, dass der organische P-Pool des Bodens nicht erfasst wird (Steffens *et al.* 2010). Wegen der intensiven Durchwurzelung durch eine dichte Grasnarbe und des synchronen Verlaufs des P-Bedarfes des Grünlandes mit der P-Mineralisierung aus dem Bodenpool während der Vegetation dürfte daher mit diesem Verfahren die P-Pflanzenverfügbarkeit für Grünland unterschätzt werden.

Auf Grünland ist die P-Versorgung in den Voralpen mit 25 mg P-CAL/kg sehr niedrig (Stufe A <26 mg/kg) und liegt in den anderen beiden Regionen Alpenvorland und Mühlviertel mit 33-34 mg im unteren Bereich der niedrigen Versorgungsstufe B (27-46 mg/kg).

Auf Grünland sind die pflanzenverfügbaren Phosphor-Gehalte bei „Bio“ niedriger, bei einer generell niedrigen P-Versorgung aller Grünlandflächen: Im Mühlviertel -1 mg/kg, im Alpenvorland -5 mg/kg und in den Voralpen -9 mg/kg. Die hohe Teilnehmerate an der Maßnahme „Verzicht auf ertragssteigernde Betriebsmittel auf Grünland“ von zumindest 50% ist dabei zu bedenken. Bei Grünland ist im GVE-Bereich von 1 auf 2 GVE/ha eine P-CAL-Zunahme von 6 mg/kg festzustellen. Diese geringen Zunahmen tragen dazu bei, dass die P-CAL-Gehalte in der Mitte der niedrigen Stufe B liegen.

Die pflanzenverfügbaren Phosphorgehalte sind zumeist deutlich rückläufig: auf Grünland im Alpenvorland um 4-6 mg, in den Voralpen um 9 mg CAL-P/kg; nur auf den Mühlviertler Grünlandstandorten blieb die P-Versorgung stabil.

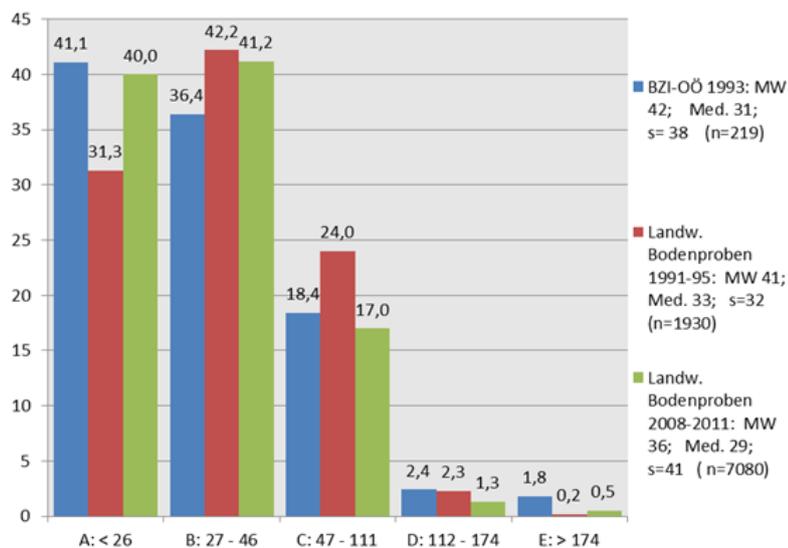


Abbildung 1: Pflanzenverfügbare P-Gehalte auf Grünland in OÖ lt. BZI 1993, landwirtschaftliche Proben 1991-1995 und 2008-2011 nach Gehaltsstufen in %

Auf Grünland tragen die höheren Tierbestände (von etwa 1 auf 2 GVE/ha) nur unwesentlich zu einer höheren CAL-P-Versorgung von etwa 6 mg/kg bei, die Gehalte verbleiben in der Mitte der niedrigen Stufe B.

## Konsequenzen für die Beratung

Bei der Suche nach Verursachern der P-Eutrophierung in Gewässern kommen die landw. Grünlandflächen aufgrund der niedrigen P-Gehalte eher nicht in Betracht, unter der Annahme einer sachgerechten Anwendung und Ausbringung der betrieblichen Wirtschaftsdünger.

Zumindest hinsichtlich der P-Versorgung decken sich diese Ergebnisse nicht mit der Aussage von Strauch (2011), dass zwischen den Produktionsflächen des OÖ. Alpenvorlandes und weiten Teilen der Böhmisches Masse nur weniger als 500 ha als wirklich nährstoffarme Grünlandflächen (also Halbtrockenrasen, Bürstlingsrasen, magere Rotschwengel- und magere Feuchtwiesen) seitens des Naturschutzes gelten.

Phosphor ist für das Grünland und die Fütterung ein essenzieller Nährstoff. Kalkung und Phosphordüngung führen zu besseren und stabileren Pflanzenbeständen. Phosphor ist wichtig für den Energietransfer in den Zellen, dient als Eiweißbaustein und fördert die symbiotische N-Fixierung. Besonders P-bedürftig sind

Leguminosen. Phosphor und Calcium verbessern die Bodenstruktur, die Durchlüftung und das Wurzelwachstum.

Die Bodenuntersuchung ist ein wertvolles Hilfsmittel, auch wenn die CAL-Methode die P-Gehalte am Grünland unterschätzen sollte. Für die Ableitung einer ausgewogenen Phosphor-Düngestrategie ist eine möglichst exakte Bewertung der P-Rücklieferung über die Wirtschaftsdünger von enormer Bedeutung.

Aufgrund der stets steigenden gesetzlichen Mindestanforderungen und der Förderungsvoraussetzungen im Österreichischen Umweltprogramm (siehe Phosphor-Mindeststandard) wird eine Absenkung der Gehaltsklassen als nicht zielführend angesehen. In der Beratungspraxis kann ein P-Gehalt ab 35 mg P pro kg Boden als ausreichend bezeichnet werden.

## Literatur

Dersch, G., Spiegel, H., Hösch, J., Haslmayr, H.-P., Baumgarten, A., 2013: „Humusgehalt, Säuregrad und pflanzenverfügbare Phosphor- und Kaliumgehalte auf Acker- und Grünland in Oberösterreich: Aktueller Status auf Basis der Landesbodenuntersuchungsaktion 2009 in Abhängigkeit von Region, Betriebstyp (Tierhaltung und/oder Marktfruchtbetrieb), Bewirtschaftungsform (konventionell vs. biologisch) und weiterer ÖPUL-Maßnahmen sowie Ableitung von Entwicklungstrends seit Einführung des ÖPUL auf Basis von Bodendaten aus der Praxis von den Perioden 1991-1995 und 2008-2011 und der Bodenzustandsinventur OÖ 1993“.

## Jahreszeitlicher Verlauf der Phosphor-Konzentration im Bodenwasser eines Grünlandbodens

Andreas Bohner<sup>1\*</sup> und Viktoria Rohrer<sup>1</sup>

### Zusammenfassung

Von einer ressourcenschonenden und umweltverträglichen Grünlandbewirtschaftung wird erwartet, dass die Düngung an den zeitlichen und mengenmäßigen Nährstoffbedarf der Vegetation angepasst ist. Um dieses Ziel zu erreichen, sind Kenntnisse über den jahreszeitlichen Verlauf der Phosphor-Konzentration im Bodenwasser des Hauptwurzelraumes notwendig. In der vorliegenden Studie wurde daher an einem repräsentativen Grünlandstandort mit einem ausgeglichenen Bodenwasserhaushalt die Phosphor-Konzentration im Bodenwasser im Jahresverlauf untersucht. Zur Gewinnung von Bodenwasser wurden auf der Untersuchungsfläche zehn Saugkerzen in der Bodentiefe 10-15 cm installiert. Im Zeitraum 1.1.2007 bis 31.12.2010 konnte an 69 Terminen bei einer Saugspannung von 300 hPa eine ausreichende Menge an Bodenwasser für die chemische Analyse gesammelt werden. Die Phosphor-Konzentration im Bodenwasser wies im Jahresverlauf starke zeitliche Schwankungen auf. Die Variabilität war auch zwischen den Jahren sehr groß. Hauptverantwortlich dafür dürften die Witterungsverhältnisse während des Jahres, die Witterungsunterschiede zwischen den Jahren und die saisonabhängige Phosphor-Aufnahme durch die Grünlandpflanzen sein. Die Phosphor-Konzentration im Bodenwasser war während der Vegetationsperiode meist sehr niedrig. Sie nahm in den Herbstmonaten (Oktober bis Dezember) tendenziell zu. Während dieser Zeit wurde im Grünlandboden mehr Phosphor mobilisiert als von den Pflanzen aufgenommen werden konnte. Eine Phosphor-Düngung sollte daher im Frühling kurz vor Beginn der Vegetationsperiode und während der Hauptwachstumszeit der Grünlandvegetation erfolgen.

*Schlagwörter:* Saugkerzen, Phosphor-Fraktionen, Phosphor-Dynamik, Phosphor-Speicherkapazität, Düngeempfehlungen

### Summary

Fertilizer applications should be adapted to the temporal and quantitative nutritional requirement of the grassland vegetation. In order to reach this target, knowledge of the temporal variation of the phosphorus concentration in the soil solution of the main root zone is necessary. Thus, we investigated the phosphorus concentration in the soil solution throughout the year. The present study was made in a representative grassland ecosystem in Styria, Austria. The soil type was a freely drained, deep, carbonat-free Cambisol. The soil solution was sampled with ten suction cups using a tension of 300 hPa. The suction cups were installed at 10 to 15 cm soil depth. During the sampling period, which lasted from 1.1.2007 to 31.12.2010, an adequate amount of soil water for chemical analysis could be collected at 69 dates. The phosphorus concentration in the soil solution varied considerably in the course of the year. There was also a high degree of variability between the years. The different weather conditions within a year and between the years as well as the seasonal phosphorus uptake by plants may be primarily responsible for the temporal variation. The phosphorus concentration in the soil solution was very low during the vegetation period. There was a tendency to increased concentrations mainly in autumn (October to December). During this time, the released amount of phosphorus exceeded the requirement of the plants. Thus, phosphoric fertilizer should be applied to grassland soils in spring at the beginning of the vegetation period and during the main growing season of the grassland vegetation.

*Keywords:* suction cups, phosphorus fractions, phosphorus dynamic, phosphorus sorption capacity, fertilizer recommendations

<sup>1</sup> LFZ Raumberg-Gumpenstein, Abteilung Umweltökologie, Raumberg 38, A-8952 IRDNING

\* Dr. Andreas BOHNER, andreas.bohner@raumberg-gumpenstein.at

## Einleitung

Die Nährstoffverfügbarkeit im Boden hängt vom Intensitäts-, Kinetik-, Kapazitäts- und Quantitätsfaktor ab. Für die Pflanzenernährung ist die Nährstoffkonzentration in der Bodenlösung (Intensitätsfaktor) entscheidend, denn die Pflanzen nehmen die Nährstoffe direkt aus der Bodenlösung auf. Die Nährstoffkonzentration in der Bodenlösung ist daher ein direktes Maß für den Gehalt an pflanzenverfügbaren Nährstoffen im Boden.

Der Intensitätsfaktor ist auch für die Beurteilung des Nährstoff-Austragsrisikos von Grünlandflächen relevant, denn die im Bodenwasser gelösten Nährstoffe können direkt mit dem Sickerwasser im Boden verlagert und aus dem Boden ausgewaschen werden. Der Kinetikfaktor hat für die Nährstoffaufnahme der Pflanzen eine große Bedeutung. Man versteht darunter die Rate, mit der die Bodenlösung durch die Bodenfestphase mittels Mineralisations-, Desorptions- und Auflösungsprozessen wieder aufgefüllt wird. Der Kapazitätsfaktor hingegen ist ein Maß für die mobilisierbaren Nährstoffreserven im Boden und der Quantitätsfaktor repräsentiert den Gesamtelementgehalt eines Nährstoffs im Boden (Marschner, 1998; Scheffer und Schachtschabel, 2002).

Die routinemäßige Bestimmung des Phosphor-Gehaltes in landwirtschaftlich genutzten Böden erfolgt in Österreich mit Hilfe der Calcium-Acetat-Lactat-Methode (CAL-Methode). Damit wird der CAL-lösliche Phosphor-Gehalt im Boden erfasst. Dieser entspricht annähernd dem Kapazitätsfaktor. Der CAL-lösliche Phosphor-Gehalt im Oberboden (0-10 cm Bodentiefe) dient in der Landwirtschaft sowohl als Grundlage für die Ermittlung des Phosphor-Düngebedarfs als auch zur Ableitung und Begründung einer Phosphor-Düngeempfehlung. Die mit der CAL-Extraktionsmethode gemessenen Phosphor-Gehalte liefern allerdings keine Informationen über den Intensitäts- und Kinetikfaktor. Sie können daher auch nicht als „pflanzenverfügbar“ bezeichnet werden (Knauer, 1968). Der CAL-lösliche Phosphor-Gehalt im Boden stellt eine „Momentaufnahme“ dar und gilt streng genommen nur für den Zeitpunkt der Probenahme. Standorte mit ähnlichen Kapazitätsfaktoren können allerdings verschiedene Kinetikfaktoren aufweisen (Flossmann und Richter, 1982). Unterschiedliche Pflanzenerträge auf Böden mit gleichen Gehalten an CAL-löslichem Phosphor können daher das Ergebnis verschiedener Freisetzungs- und Nachlieferungsgeschwindigkeiten der Bodenphosphate sein. Eine Beurteilung der Phosphor-Verfügbarkeit im Boden und die quantitative Ableitung der benötigten Phosphor-Düngermenge, um einen bestimmten Ertrag oder Phosphor-Gehalt in den Pflanzen zu erzielen, sind somit allein auf der Basis von CAL-löslichen Phosphor-Gehalten nicht möglich (Jungk, 1993). Auch die Phosphor-Nachlieferungsrate aus dem verfügbaren Vorrat sowie die Transportrate durch Massenfluss und Diffusion mit und in der Bo-

denlösung zur Pflanzenwurzel müssen berücksichtigt werden (Scheffer und Schachtschabel, 2002).

Die Düngung ist neben der Regulierung der Bodenwasserverhältnisse das wirksamste Mittel, um die Grünlanderträge zu erhöhen und die Futterqualität zu verbessern (Witter, 1966). Von einer ressourcenschonenden und umweltverträglichen Grünlandbewirtschaftung wird erwartet, dass die Düngung den Phosphor-Bedarf der Pflanzen deckt, gleichzeitig aber die Phosphor-Verluste durch Erosion, Abschwemmung und Auswaschung so gering wie möglich gehalten werden (Frossard *et al.*, 2004). Daher ist es notwendig, die Düngung an den zeitlichen und mengenmäßigen Nährstoffbedarf der Vegetation anzupassen (Werner *et al.*, 1991). Um dieses Ziel zu erreichen, muss einerseits der saisonabhängige Phosphor-Bedarf der Pflanzen bekannt sein und andererseits die Phosphor-Dynamik im Boden berücksichtigt werden. Die Phosphor-Dynamik im Boden ist von vielen Bodeneigenschaften abhängig. Entscheidend sind vor allem pH-Wert, Bodenwasserhaushalt (Redoxpotenzial), Bodentemperatur und mikrobielle Aktivität (Phosphataseaktivität) im Boden (Scheffer und Schachtschabel, 2002).

Im Grünland entfallen 80 bis 90% der gesamten Wurzelmasse auf die Tiefenstufe 0 bis 10 cm (Kmoch, 1952). Nach Klapp (1971) kommen im Grünland unterhalb von 30 bis 40 cm Bodentiefe nur mehr wenige Prozent der gesamten Wurzelmasse vor. Die Grünlandpflanzen nehmen deshalb ihre Nährstoffe überwiegend aus den obersten 30 cm des Bodens auf. Für die Optimierung von Phosphor-Düngemaßnahmen sind daher Kenntnisse über den jahreszeitlichen Verlauf der Phosphor-Konzentration im Bodenwasser des Hauptwurzelraumes notwendig. Davon hängt die Ausnutzbarkeit und Ertragswirksamkeit der Phosphor-Dünger und somit die bedarfsgerechte Menge und der optimale Zeitpunkt der Phosphor-Düngung ab. Über den jahreszeitlichen Verlauf der Phosphor-Konzentration im Bodenwasser des Hauptwurzelraumes von österreichischen Grünlandböden ist bisher noch wenig bekannt. Die Thematik ist allerdings von großer praktischer Relevanz, denn Phosphor ist nicht nur ein lebensnotwendiges Nährelement für alle Lebewesen, sondern auch für die Eutrophierung der Gewässer hauptverantwortlich (Kummert und Stumm, 1989). Außerdem beeinflusst der Phosphor-Gehalt im Oberboden die Pflanzenartenvielfalt im Dauergrünland (Bohner, 2005). Phosphor gehört zu den knappen Rohstoffen (Finck, 1992). Die derzeit bekannten weltweiten Phosphor-Lagerstätten reichen bei pessimistischer Prognose für 30-40 Jahre und bei optimistischer Prognose für 60-90 Jahre (Leifert *et al.*, 2009). Die Preise für mineralische Phosphor-Dünger werden deshalb in Zukunft vermutlich steigen. Ein effizienter Einsatz mineralischer Phosphor-Dünger ist daher sowohl aus Gründen des Natur- und Umweltschutzes als auch aus Kostengründen notwendig.

Das primäre Ziel dieser Studie ist es daher, Grundlagen zu schaffen für eine bedarfsgerechte und umweltverträgliche Phosphor-Düngung. Einige Untersuchungsergebnisse wurden bereits publiziert (Bohner, 2008).

## Material und Methoden

### Untersuchungsgebiet und Untersuchungsfläche

Die Untersuchungen wurden am Versuchsgelände des LFZ Raumberg-Gumpenstein (Irdning, Mittleres Steirisches Ennstal, Österreich) durchgeführt. Die Untersuchungsfläche befindet sich auf einer Terrassenverebnung einer Eisrandterrasse in 718 m Seehöhe. Sie weist eine Parzellengröße von 120 m<sup>2</sup> (15 m x 8 m) auf. Das Untersuchungsgebiet gehört geologisch zur Grauwackenzone. Die Juli-Temperatur beträgt im langjährigen Mittel (1953-2005) 16,4 °C, die Jänner-Temperatur -3,5 °C und die Jahresmittel-Temperatur 6,9 °C. Der Jahres-Niederschlag macht im Durchschnitt 1035 mm aus. Die Niederschläge sind relativ gleichmäßig über das Jahr verteilt. In der Vegetationsperiode (April bis September) fallen etwa 63% des Jahres-Niederschlages. Der Juli ist im langjährigen Mittel der niederschlagreichste Monat gefolgt vom August; im

Februar fallen die geringsten Niederschlagsmengen. Die Schneedeckenperiode beträgt im langjährigen Mittel 101 Tage im Jahr und die frostfreie Zeit erstreckt sich über 173 Tage. Das Untersuchungsgebiet weist somit ein winterkaltes, sommerkühles, relativ niederschlag- und schneereiches, kontinental beeinflusstes Talbeckenklima auf (Pilger, 2005). Die relativ niedrige Lufttemperatur und die kurze Vegetationsperiode sind die begrenzenden klimatischen Faktoren.

Der Boden auf der Untersuchungsfläche ist eine tiefgründige, carbonatfreie Braunerde aus fluvioglazialen Sedimenten. Die Humusform ist Mull und die Bodenart ist lehmiger Sand. Der locker gelagerte und stark durchwurzelte Oberboden weist eine krümelige Struktur auf. Makromorphologisch ist keine Bodenverdichtung erkennbar. Redoxmerkmale wie Roströhren, Rostflecken oder Nassbleichung fehlen. Der Wasserhaushalt ist frisch (ausgeglichen). In den *Tabellen 1 bis 4* sind ökologisch relevante bodenchemische Kennwerte des untersuchten Grünlandbodens angeführt. Der Oberboden (0-10 cm Bodentiefe) befindet sich gerade noch im Silikat-Pufferbereich. Der Humusgehalt ist - verglichen mit anderen Grünlandböden in der Region - nicht sehr hoch. Der Oberboden weist eine niedrige elektrische Leitfähigkeit und ein enges C:N-Verhältnis auf. Der Gehalt an CAL-löslichem Phosphor und Kalium ist - beurteilt nach den Richtlinien für die sachgerechte Düngung (BMLFUW, 2006) - niedrig; der Grünlandboden muss jeweils der Gehaltsstufe B zugeordnet werden. Der Oberboden weist einen relativ hohen Gehalt an wasserlöslichem Phosphor und eine geringe effektive Kationenaustauschkapazität auf. Die Basensättigung ist mit 93% ziemlich hoch; die Calcium-Sättigung beträgt 75%. Der Gesamtgehalt an Phosphor ist mit 1652 mg pro kg Feinboden sehr hoch.

Der Anteil des organisch gebundenen Phosphors am Phosphor-Gesamtgehalt beträgt 63%. Der organisch gebundene Phosphor ist somit im Oberboden der größte Phosphor-Pool. Auch der Gehalt an oxalatextrahierbarem Phosphor ist sehr hoch. Der oxalatlösliche Phosphor entspricht der Menge des hauptsächlich an pedogene Aluminium-, Eisen- und Mangan-Oxide adsorbierten Phosphates (Leinweber *et al.*, 1997).

Der Anteil des CAL-löslichen und wasserlöslichen Phosphor-Gehaltes am Phosphor-Gesamtgehalt beträgt lediglich 2,4% und 0,7%. Nur ein sehr kleiner Teil des gesamten Phosphor-Vorrates im Oberboden ist somit wasserlöslich oder mit der CAL-Methode extrahierbar. Die Verhältnisse C<sub>org</sub>:P<sub>t</sub> und C<sub>org</sub>:P<sub>o</sub> sind im Oberboden mit 18:1 und 29:1 extrem eng. Auch das N<sub>t</sub>:P<sub>t</sub>-Verhältnis ist sehr niedrig. Der untersuchte Grünlandboden weist in den obersten 10 cm eine große Phosphor-Speicherkapazität auf. Ursache hierfür sind vor allem die hohen Gehalte an oxalatextrahierbarem Eisen und Aluminium. Der Phosphor-Sättigungsgrad ist - bedingt durch den hohen Gehalt an oxalatextrahierbarem Phosphor - mit 28% relativ hoch.

Tabelle 1: Allgemeine Bodenkennwerte (0-10 cm Bodentiefe)

CaCl <sub>2</sub>	μS cm <sup>-1</sup>	%		mg kg <sup>-1</sup>			
pH	eL	Humus	N <sub>t</sub>	C <sub>org</sub> :N <sub>t</sub>	CAL-P	CAL-K	H <sub>2</sub> O-P
5,1	60	5,6	0,3	10,0	40	66	11

eL = elektrische Leitfähigkeit; N<sub>t</sub> = Gesamtgehalt an Stickstoff  
 C<sub>org</sub> = Gesamtgehalt an organischem Kohlenstoff  
 CAL-P und CAL-K = CAL-löslicher Phosphor- und Kalium-Gehalt  
 H<sub>2</sub>O-P = wasserlöslicher Phosphor-Gehalt

Tabelle 2: Allgemeine Bodenkennwerte (0-10 cm Bodentiefe)

		cmol kg <sup>-1</sup>					%		%		
Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	KAK <sub>eff</sub>	BS	S	Z	T
5,7	1,1	0,2	0,1	0,2	0,0	0,3	7,6	93,4	50	44	6

KA<sub>eff</sub> = effektive Kationenaustauschkapazität (BaCl<sub>2</sub>-Extrakt)  
 BS = Basensättigung, S = Sand, Z = Schluff, T = Ton

Tabelle 3: Allgemeine Bodenkennwerte und ausgewählte Phosphor-Fraktionen (0-10 cm Bodentiefe)

mg kg <sup>-1</sup>									
Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	Mn <sub>ox</sub>	P <sub>ox</sub>	P <sub>t</sub>	P <sub>i</sub>	P <sub>o</sub>	C <sub>org</sub> :P <sub>t</sub>	C <sub>org</sub> :P <sub>o</sub>	N <sub>t</sub> :P <sub>t</sub>
2841	6755	666	1016	1652	610	1042	18	29	2

Al<sub>ox</sub>, Fe<sub>ox</sub>, Mn<sub>ox</sub>, P<sub>ox</sub> = oxalatextrahierbares Aluminium, Eisen, Mangan, Phosphor  
 P<sub>t</sub> = Gesamtelementgehalt an Phosphor  
 P<sub>i</sub> = Gesamtgehalt an anorganischem Phosphor  
 P<sub>o</sub> = Gesamtgehalt an organischem Phosphor

Tabelle 4: Phosphor-Fraktionen, Phosphor-Speicherkapazität und Phosphor-Sättigungsgrad

P <sub>o</sub>	P <sub>ox</sub>	in % von P <sub>t</sub>		mmol kg <sup>-1</sup>	%
		CAL-P	H <sub>2</sub> O-P	PSC	DPS
63	62	2,4	0,7	119	28

Der Pflanzenbestand muss der Frauenmantel-Glatthaferwiese (*Alchemillo monticolae-Arrhenatheretum elatioris*) zugeordnet werden. Überdüngungs- und Übernutzungszeiger fehlen oder kommen nur vereinzelt vor. Das Gräser-Kräuter-Leguminosenverhältnis beträgt im Durchschnitt 42% Gräser, 38% Kräuter und 20% Leguminosen. Die Düngungs- und Nutzungsvorgeschichte des Pflanzenbestandes ist nicht bekannt. Eine düngerbedingte Phosphor-Anreicherung im Oberboden ist auf Grund des hohen Phosphor-Gesamtgehaltes und der engen C:P- und N:P-Verhältnisse anzunehmen. Die Dauermähwiese wurde im Untersuchungszeitraum 2007 bis 2010 viermal pro Jahr gemäht. Der Jahresertrag betrug durchschnittlich 81 dt Trockenmasse pro Hektar; dies entspricht dem allgemeinen Ertragsniveau im Untersuchungsgebiet. Gedüngt wurde jährlich im Herbst mit Stallmistkompost. Die Düngungstermine waren 5.11.2007, 15.10.2008, 22.10.2009 und 14.10.2010. Die jährliche ausgebrachte Düngermenge entsprach der zulässigen Höchstmenge für Wirtschaftsdünger (170 kg Stickstoff pro Hektar und Jahr) gemäß EU-Nitratrichtlinie. Die Phosphorzufuhr mit dem Stallmistkompost variierte von Jahr zu Jahr und betrug im Durchschnitt 64 kg Phosphor pro Hektar und Jahr.

Die Untersuchungsfläche repräsentiert in klimatischer, pedologischer und vegetationskundlicher Hinsicht einen charakteristischen österreichischen Grünlandstandort. Die Untersuchungsergebnisse können daher auf zahlreiche andere typische Grünlandgebiete in Österreich übertragen werden.

### Methoden

Im Herbst 2006 wurden zur Gewinnung von Bodenwasser zehn Saugkerzen aus Siliziumcarbid der Firma UMS GmbH, Modell SIC 20-30, auf der Untersuchungsfläche in der Bodentiefe 10-15 cm installiert. Diese Untersuchungstiefe wurde gewählt, um den jahreszeitlichen Verlauf der Phosphor-Konzentration im Hauptwurzelraum zu erfassen. Mit Hilfe der Saugkerzen wurde bei einer Saugspannung von 300

hPa schwach gebundenes Porenwasser abgesaugt. Die Wasserproben wurden nicht tiefgefroren, sondern sofort analysiert. Die Bestimmung der Phosphor-

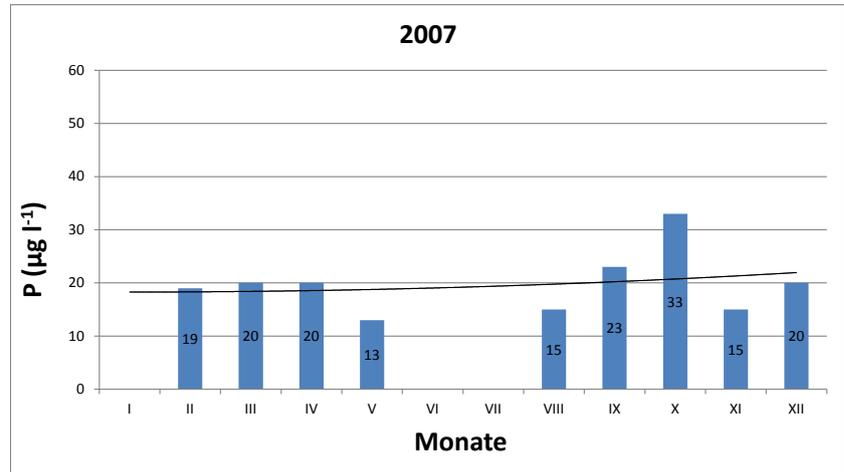


Abbildung 1: Phosphor-Konzentration im Bodenwasser (10-15 cm Bodentiefe) im Jahresverlauf (Zeitraum: 1.1.2007-31.12.2007)

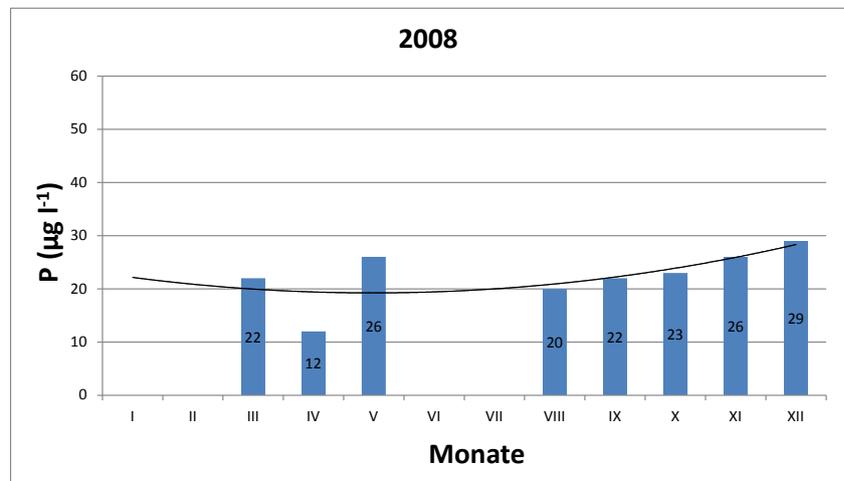


Abbildung 2: Phosphor-Konzentration im Bodenwasser (10-15 cm Bodentiefe) im Jahresverlauf (Zeitraum: 1.1.2008-31.12.2008)

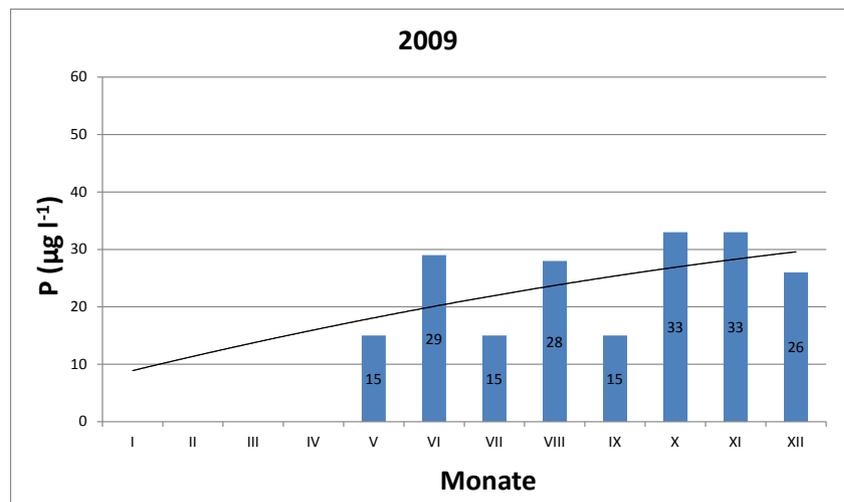


Abbildung 3: Phosphor-Konzentration im Bodenwasser (10-15 cm Bodentiefe) im Jahresverlauf (Zeitraum: 1.1.2009-31.12.2009)

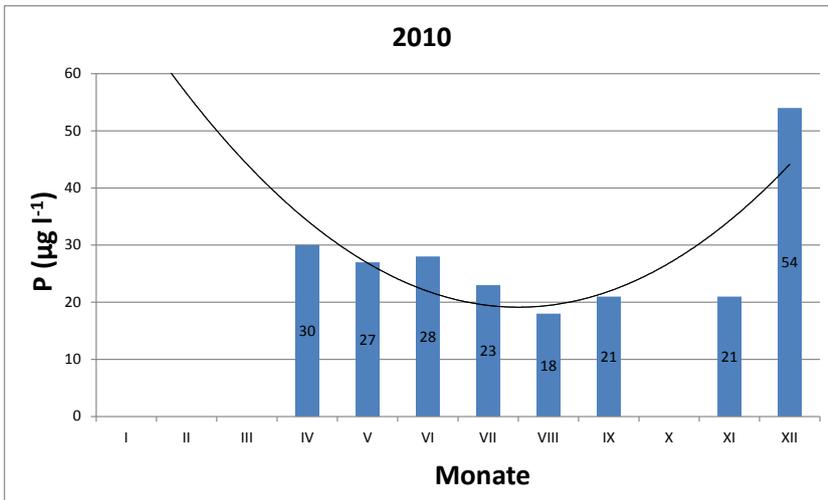


Abbildung 4: Phosphor-Konzentration im Bodenwasser (10-15 cm Bodentiefe) im Jahresverlauf (Zeitraum: 1.1.2010-31.12.2010)

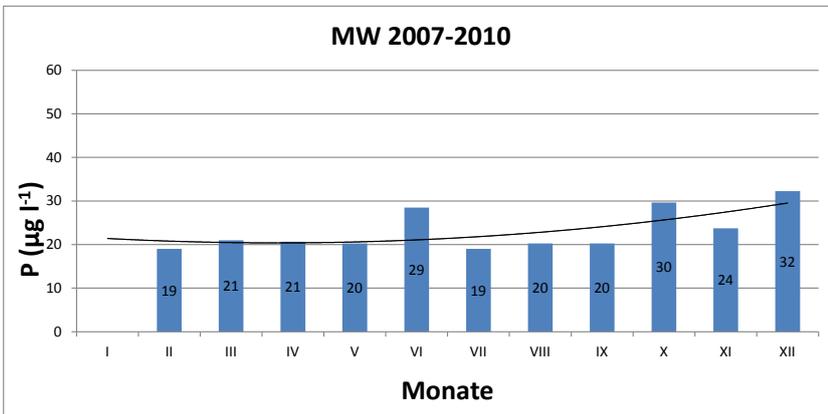


Abbildung 5: Phosphor-Konzentration im Bodenwasser (10-15 cm Bodentiefe) im Jahresverlauf (Zeitraum: 1.1.-31.12.; arithmetischer Mittelwert aus den Jahren 2007-2010)

Konzentration (Ortho-Phosphat) im Bodenwasser erfolgte photometrisch nach ÖNORM EN ISO 6878 (2004). Im Zeitraum 1.1.2007 bis 31.12.2010 konnte an 69 Terminen eine ausreichende Menge an Bodenwasser für die chemische Analyse gesammelt werden. Allerdings variierte die von den einzelnen Saugkerzen abgesaugte Menge an Bodenwasser sehr stark. Deshalb konnte der Gehalt an gelöstem Phosphor häufig nicht in den zehn Einzelproben separat sondern nur in Mischproben gemessen werden. Somit stehen 69 Analysewerte (jeweils arithmetischer Mittelwert aus zehn Einzelproben- oder Mischprobenmesswerten) für die Ermittlung des jahreszeitlichen Verlaufes der Phosphor-Konzentration im Bodenwasser zur Verfügung.

### Ergebnisse und Diskussion

In den Abbildungen 1-5 ist die Phosphor-Konzentration (Ortho-Phosphat) im Bodenwasser in 10-15 cm Bodentiefe im Jahresverlauf für den Zeitraum 1.1.2007 bis 31.12.2010 dargestellt. Während längerer Trockenperioden vor allem in den Sommermonaten oder bei langanhaltendem Bodenfrost im Winter konnte keine ausreichende Menge an Bodenwasser gesammelt wer-

den. In dieser Zeit erfolgt auch kein Phosphor-Austrag mit dem Sickerwasser. Die Phosphor-Konzentration im Bodenwasser wies im Jahresverlauf starke zeitliche Schwankungen im Oberboden auf. Die Variabilität war auch zwischen den Jahren sehr groß. Hauptverantwortlich dafür dürften die Witterungsverhältnisse während des Jahres und die Witterungsunterschiede zwischen den Jahren sein. Die Witterung beeinflusst die Bodentemperatur und den Bodenwassergehalt, somit auch die Aktivität der Bodenmikroorganismen und die Mineralisation von organisch gebundenem Phosphor im Boden (Dalal, 1977). Da der organisch gebundene Phosphor im Oberboden den größten Phosphor-Pool darstellt, dürfte er bei den Phosphor-Freisetzungprozessen eine entscheidende Rolle spielen.

Die witterungsabhängige Mineralisation von organisch gebundenem Phosphor im Boden dürfte daher für die starken zeitlichen Schwankungen der Phosphor-Konzentration im Bodenwasser sowohl innerhalb eines Jahres als auch zwischen den einzelnen Untersuchungsjahren hauptverantwortlich sein. Die Witterung beeinflusst aber nicht nur alle biologischen Prozesse im Boden,

sondern auch die chemischen. Für die Adsorption und Festlegung von Phosphat haben vor allem die amorphen Aluminium-, Eisen- und Mangan-Oxide (inklusive Hydroxide und Oxihydroxide) eine große Bedeutung (Keller und Van der Zee, 2004). Im untersuchten Grünlandboden ist der Gehalt an oxalateextrahierbarem Phosphor sehr hoch. Ein großer Anteil des im Oberboden gespeicherten Phosphors liegt somit in adsorbierter Form vor. Unter reduzierenden Bedingungen treten infolge reduktiver Auflösung Phosphorhaltiger Mangan (III, IV)- und Eisen (III)-Oxide erhöhte Phosphor-Gehalte in der Bodenlösung auf. Eine starke Phosphor-Freisetzung aus Eisen (III)-Oxiden beginnt bei pH 5 unterhalb von +300 mV (Welp *et al.*, 1983).

Der volumetrische Bodenwassergehalt in der Bodentiefe 10 cm variierte im Untersuchungszeitraum von 7 bis 36 Vol.-%, das Redoxpotenzial schwankte zwischen +300 und +580 mV. Eine kurzfristige Zunahme der Phosphor-Konzentration im Bodenwasser nach Starkregen, bei Dauerregen oder während intensiver Schneeschmelze durch reduktive Auflösung amorpher Mangan- und Eisen-Oxide ist daher wahrscheinlich. Die höchste Phosphor-Konzentration wurde am

13.12.2010 mit 54 µg Phosphor pro Liter Bodenwasser gemessen. Die niedrigste Phosphor-Konzentration wurde am 2.4.2008 mit 7 µg Phosphor pro Liter Bodenwasser ermittelt. Höhere Phosphor-Konzentrationen wurden vor allem in den Monaten Oktober, November und Dezember beobachtet. In den Monaten April und Mai hingegen wurden sehr häufig niedrige Werte gemessen. Dies sind Hinweise dafür, dass die Phosphor-Konzentration im Bodenwasser nicht nur von der Freisetzung von organisch und adsorptiv gebundenem Phosphor sondern auch sehr wesentlich von der Vegetation beeinflusst wird. Die Phosphor-Aufnahme durch die Grünlandvegetation ist im Frühling zur Zeit des stärksten Pflanzenwachstums am größten (Bohner, 2008). In dieser Jahreszeit haben die Grünlandpflanzen ihren höchsten Phosphor-Bedarf. Auf der Untersuchungsfläche nahmen die Grünlandpflanzen in der Hauptwachstumszeit etwa 0,18 kg Phosphor pro Hektar täglich auf. Die Tagesaufnahmerate verminderte sich bis zum letzten Aufwuchs auf rund 0,05 kg Phosphor pro Hektar (Bohner, 2008). Somit kann aus Sicht der Pflanzenernährung die Phosphor-Konzentration im Bodenwasser in den Herbstmonaten durchaus niedriger als im Frühling sein. Die Phosphor-Düngung sollte diesem jahreszeitlich differenzierten Phosphor-Bedarf der Grünlandpflanzen angepasst werden. Während der Vegetationsperiode, die im Wirtschaftsgrünland vergleichsweise lange dauert (je nach Standort und Jahreswitterung von Anfang April bis Mitte Oktober), nehmen die Grünlandpflanzen ständig Phosphor aus der Bodenlösung auf. Die Phosphor-Nachlieferung aus der festen Bodenphase in die Bodenlösung erfolgt in der Regel langsamer als die Phosphor-Aufnahme durch die Pflanzen. Deshalb war die Phosphor-Konzentration im Bodenwasser während der Vegetationsperiode meist sehr niedrig. In dieser Zeit ist die Gefahr einer erhöhten Phosphor-Auswaschung mit dem Sickerwasser gering. Allerdings können Starkregenereignisse kurzzeitig den Phosphor-Austrag erhöhen (Bohner *et al.*, 2007).

In den Herbstmonaten Oktober bis Dezember hingegen wird im Grünlandboden durch Mineralisations-, Desorptions- und Auflösungsprozesse mehr Phosphor mobilisiert als von den Grünlandpflanzen aufgenommen werden kann. Vor allem eine warme und niederschlagsreiche Witterung in dieser Jahreszeit und die daraus resultierende relativ hohe mikrobielle Aktivität im Grünlandboden bewirkt eine ständige Phosphor-Freisetzung aus dem organisch gebundenen Phosphor-Vorrat. Deshalb steigt die Phosphor-Konzentration im Bodenwasser in den Herbstmonaten in der Regel an. Somit besteht in dieser Jahreszeit vor allem in Gebieten mit hohen Herbstniederschlägen insbesondere bei warmer Witterung die Gefahr einer umweltrelevanten Phosphor-Auswaschung mit dem Sickerwasser. Fiedler *et al.* (1985) beispielsweise konnten feststellen, dass der größte Teil der jährlichen Phosphor-Fracht in den Oberflächengewässern aus einem bewaldeten Ein-

zugsgebiet auf die Wintermonate entfällt. In Gebieten mit überwiegend landwirtschaftlich genutzten Flächen sind hingegen auch Starkregenereignisse im Sommer und die Schneeschmelze im Frühling für die Phosphor-Fracht in Oberflächengewässern relevant (Strauss und Staudinger, 2007). Auf Grund des Überangebotes an Phosphor im Bodenwasser in den Herbstmonaten sollte keine stärkere Düngung ab Oktober erfolgen. Günstiger wäre die Ausbringung geringer Mengen Phosphor-haltiger Dünger im Frühling kurz vor Beginn der Vegetationsperiode und während der Hauptwachstumszeit der Grünlandvegetation.

Die Düngung mit Stallmistkompost im Herbst führte nicht unmittelbar zu einem Phosphor-Konzentrationsanstieg im Bodenwasser. Damit wird das Untersuchungsergebnis von Schlinkert (1992) bestätigt, wonach eine Stallmistdüngung keine erkennbare Wirkung auf die Phosphor-Gehalte in der Bodenlösung zeigt. Auch ein Einfluss der Mahd auf die Phosphor-Konzentration im Bodenwasser konnte nicht festgestellt werden. Die Ursachen für die zeitweise höheren Phosphor-Konzentrationen im Juni sind noch nicht geklärt. Sie könnten möglicherweise mit einer starken Bodenaustrocknung und nachfolgenden Wiederbefeuchtung des Grünlandbodens zusammenhängen (Magid und Nielsen, 1992).

Nicht nur die Phosphor-Konzentration im Bodenwasser ist ein zeitlich sehr variabler Parameter. Auch der wasserlösliche und CAL-lösliche Phosphor-Gehalt (Bohner, 2008) sowie der DL-lösliche Phosphor-Gehalt (Knauer, 1968, 1973; Leinweber *et al.* 1993) ändern sich im Hauptwurzelraum während der Vegetationsperiode mehr oder weniger stark. Eine hohe zeitliche Variabilität ist typisch für viele biologische und chemische Eigenschaften des Bodens (Troelstra *et al.*, 1990). Deshalb sollten die Bodenproben für die chemische Analyse immer zur gleichen Jahreszeit, vor allem aber bei annähernd vergleichbaren Bodentemperaturen und Bodenwassergehalten entnommen werden. Der Probenahmezeitpunkt sollte daher in erster Linie von der Witterung abhängig gemacht werden. Darauf hat bereits Obenauf (1987) hingewiesen.

Generell war die Phosphor-Konzentration im Bodenwasser während des gesamten Messzeitraumes mit Werten von 7 bis 54 µg Phosphor pro Liter Bodenwasser sehr niedrig. Hauptverantwortlich dafür dürften die hohe Phosphor-Speicherkapazität und der mäßige Phosphor-Sättigungsgrad im Oberboden sein. Der hohe Phosphor-Gesamtgehalt, der hohe Gehalt an oxalatlöslichem Phosphor und das sehr niedrige  $C_{org}:P_t$ -Verhältnis haben offensichtlich keinen großen Einfluss auf die Phosphor-Konzentration im Bodenwasser. Nach Pihl und Werner (1993) erlaubt der oxalatlösliche Phosphor keine Abschätzung der Phosphor-Konzentration in der Bodenlösung. Grünlandböden mit hoher Phosphor-Speicherkapazität und geringem bis mäßigem Phosphor-Sättigungsgrad

tolerieren offensichtlich kurz- bis mittelfristig höhere Phosphor-Düngergaben, ohne dass es gleichzeitig zu einer starken Erhöhung der Phosphor-Konzentration im Bodenwasser kommt.

## Schlussfolgerungen

Aus diesen Untersuchungsergebnissen können folgende praxisrelevante Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Für die Phosphor-Speicherkapazität im Grünlandboden ist der Gehalt an amorphen Eisen-Oxiden hauptverantwortlich (Bohner *et al.*, 2013). Eine hohe Phosphor-Speicherkapazität und ein geringer bis mäßiger Phosphor-Sättigungsgrad bewirken eine niedrige Phosphor-Konzentration im Bodenwasser. Grünlandböden mit hoher Phosphor-Speicherkapazität und geringem Phosphor-Sättigungsgrad tolerieren kurz- bis mittelfristig höhere Phosphor-Düngergaben, ohne dass es gleichzeitig zu einer starken Erhöhung der Phosphor-Konzentration im Bodenwasser kommt.
- Die Phosphor-Konzentration im Bodenwasser weist im Jahresverlauf starke zeitliche Schwankungen im Oberboden auf. Die Variabilität ist auch zwischen den Jahren sehr groß. Hauptverantwortlich dafür sind die Witterungsverhältnisse während des Jahres, die Witterungsunterschiede zwischen den Jahren und die saisonabhängige Phosphor-Aufnahme durch die Grünlandpflanzen.
- Die Phosphor-Konzentration im Bodenwasser nimmt im Oberboden in den Herbstmonaten (Oktober bis Dezember) infolge abnehmender Phosphor-Aufnahme durch die Grünlandvegetation tendenziell zu. Während dieser Zeit wird im Grünlandboden durch Mineralisations-, Desorptions- und Auflösungsprozesse mehr Phosphor mobilisiert als von den Grünlandpflanzen aufgenommen werden kann.
- Zumindest auf sandigen, skelettreichen, flachgründigen Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität und/oder in Gebieten mit hohen Herbstniederschlägen sollte keine stärkere Düngung ab Oktober erfolgen. Günstiger wäre die Ausbringung geringer Mengen Phosphor-haltiger Dünger im Frühling kurz vor Beginn der Vegetationsperiode und während der Hauptwachstumszeit der Grünlandvegetation.
- Um die Gefahr einer Phosphor-Abschwemmung zu reduzieren, sollten Böden in steiler Hanglage insbesondere im Nahbereich von Oberflächengewässern nicht unmittelbar vor einem Dauer- oder Starkregen sowie kurz nach der Schneeschmelze gedüngt werden (Bohner *et al.*, 2013).
- In humusreichen Grünlandböden ist der organisch gebundene Phosphor eine wesentliche potenzielle Phosphor-Quelle für die Grünlandvegetation. Durch mikrobiellen Abbau der organischen Substanz bzw. durch enzymatische Reaktionen wird dieser Phosphor pflanzenverfügbar. Bei Phosphor-Düngeempfehlungen sollte daher neben dem CAL-löslichen Phosphor-Gehalt im Oberboden (Kapazitätsfaktor) zumindest auch der witterungsbedingte Wärme- und Wasserhaushalt des Standortes (Kinetikfaktor) berücksichtigt werden. Dieser beeinflusst sehr wesentlich die Phosphor-Dynamik im Grünlandboden; vor allem die Phosphor-mobilisierende Leistung der Bodenmikroorganismen ist davon abhängig.
- Auf Grund der starken zeitlichen Schwankungen des Phosphor-Gehaltes im Oberboden sollten die Bodenproben für die chemische Analyse immer zur gleichen Jahreszeit, vor allem aber bei annähernd vergleichbaren Bodentemperaturen und Bodenwassergehalten entnommen werden. Der Probenahmezeitpunkt sollte daher in erster Linie von der Witterung abhängig gemacht werden.

## Literatur

- BMLFUW, 2006. Richtlinien für die sachgerechte Düngung. Hrsg.: Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, 6. Auflage, Wien, 80 S.
- Bohner, A., 2005: Soil chemical properties as indicators of plant species richness in grassland communities. *Grassland Science in Europe*, Vol. 10, 48-51.
- Bohner, A., Eder G., Schink, M., 2007: Nährstoffkreislauf und Stoffflüsse in einem Grünland-Ökosystem. 12. Gumpensteiner Lysimetertagung, 91-99.
- Bohner, A., 2008: Phosphor-Pools und Phosphor-Verfügbarkeit im Grünlandboden als Basis für Phosphor-Düngeempfehlungen. Umwelt-ökologisches Symposium „Sachgerechte Düngung im Blickfeld von Untersuchungsergebnissen“, LFZ Raumberg-Gumpenstein, 59-66.
- Bohner, A., Huemer, C., Schaumberger J., Liebhard, P., 2013: Phosphor in landwirtschaftlich genutzten Böden in einem Teileinzugsgebiet der Antiesen im oberösterreichischen Innviertel. In: Das INTERREG IV A-Projekt „Gewässer-Zukunft“ 2009-2013, 45-57.
- Dalal, R.C., 1977: Soil organic phosphorus. *Advances in Agronomy* 29, 83-117.
- Fiedler, H.J., Katschner W., Richter, B., 1985: Phosphor in bewaldeten Wassereinzugsgebieten. II. Quantitative Kennziffern. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden* 34, 217-224.
- Finck, A., 1992: Dünger und Düngung. VCH Verlagsgesellschaft Weinheim, 488 S.
- Flossmann, R., Richter, D., 1982: Extraktionsmethode zur Charakterisierung der Kinetik der Freisetzung von P aus der festen Phase des Bodens in die Bodenlösung. *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk.* 26, 703-709.
- Frossard, E., Julien, P., Neyroud, J.-A., Sinaj, S., 2004: Phosphor in Böden, Düngern, Kulturen und Umwelt-Situation in der Schweiz. *Schriftenreihe Umwelt* Nr. 368, 172 S.
- Jungk, A., 1993: Die Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe im Boden: chemische und räumliche Aspekte. In: *Berichte über Landwirtschaft* 207, SH 5, 70-84.
- Keller, A., Van der Zee, S., 2004: Phosphorverfügbarkeit in intensiv genutzten Grünlandböden. *Agrarforschung* 11, 396-401.
- Klapp, E., 1971: *Wiesen und Weiden*. Parey Verlag, 620 S.
- Kmoch, H.G., 1952: Über den Umfang und einige Gesetzmäßigkeiten der Wurzelmassenbildung unter Grasnarben. *Zeitschrift Acker- und Pflanzenbau* 95, 363-380.
- Knauer, N., 1968: Über die Abhängigkeit des lactatlöslichen Nährstoffgehaltes des Bodens von der Nährstoffanreicherung durch die Düngung. *Zeitschrift Acker- und Pflanzenbau* 127, 89-102.
- Knauer, N., 1973: Bedeutung der Nährstoffdynamik im Boden für die Ermittlung des Nährstoffbedarfes von Grünland. *Die Phosphorsäure* 30, 27-43.

- Kummert, R., Stumm, W., 1989: Gewässer als Ökosysteme. Grundlagen des Gewässerschutzes, Teubner Verlag, 331 S.
- Leinweber, P., Lünsmann F., Eckhardt, K.U., 1997: Phosphorus sorption capacities and saturation of soils in two regions with different livestock densities in northwest Germany. *Soil Use and Management* 13, 82-89.
- Leinweber, P., Geyer-Wedell, K., Jordan, E., 1993: Phosphorversorgung der Böden im agrarischen Intensivgebiet Süddoldenburg. ISPA, Vechtaer Druckerei und Verlag GmbH, Vechta, 68 S.
- Magid, J., Nielsen, N.E., 1992: Seasonal variation in organic and inorganic phosphorus fractions of temperate-climate sandy soils. *Plant and Soil* 144, 155-165.
- Marschner, H., 1998: Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, 889 p.
- Obenauf, S., 1987: Variabilität von Bodenfruchtbarkeitsziffern während der Vegetationszeit im Ap sandiger Ackerböden. *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd.* 31, 137-145.
- ÖNORM EN ISO 6878, 2004: Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von Phosphor - Photometrisches Verfahren mittels Ammoniummolybdat. Austrian Standarts Institute, Wien.
- Pihl, U., Werner, W., 1993: Zur Interpretation von Quantitäts-/Intensitäts-Quotienten als Kriterien vertikaler Phosphatverlagerung in Böden. *VDLUFA Kongressband* 37, 99-102.
- Pilger, H., 2005: Meteorologische Charakteristika der Station Gumpenstein und ihre Einbindung in größere Räume. Seminar „50 Jahre meteorologische Beobachtungen in Gumpenstein 1955-2004“, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 11-16.
- Scheffer, F., Schachtschabel, P., 2002: Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 593 S.
- Schlinkert, A., 1992: Jahreszeitliche Dynamik der Inhaltsstoffe von Bodenlösungen aus A-Horizonten unterschiedlicher Böden in Abhängigkeit von Bewirtschaftungsweise und Standorteigenschaften. *Bonner Bodenkundl. Abh.*, Band 7, 271 S.
- Strauss, P., Staudinger, B., 2007: Berechnung der Phosphor- und Schwebstofffrachten zweier Hauptzubringer (Zellerache, Fuschlerache) des Mondsees. In: *Ausgewählte Ergebnisse des INTERREG IIIA-Projektes „SeenLandWirtschaft“*, Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Band 26, 18-33.
- Troelstra, S.R., Lotz, L.A.P., Wagenaar R., Sluimer, L., 1990: Temporal and spatial variability in soil nutrient status of a former beach plain. *Plant and Soil* 127, 1-12.
- Welp, G., Herms, U., Brümmer, G., 1983: Einfluss von Bodenreaktion, Redoxbedingungen und organischer Substanz auf die Phosphatgehalte der Bodenlösung. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 146, 38-52.
- Werner, W., Olf, H.-W., Auerswald, K., Isermann, K., 1991: Stickstoff- und Phosphoreintrag in Oberflächengewässer über „diffuse Quellen“. In: A. Hamm (ed.): *Studie über Wirkungen und Qualitätsziele von Nährstoffen in Fließgewässern*. Academia Verlag, Sankt Augustin, 665-799.
- Witter, B., 1966: Einfluss der laktatlöslichen Boden-Phosphorsäure auf Ertrag und P-Gehalt von Wiesenfutter. *Dtsch. Akad. Landw. - Wiss. Tag. Ber.* 1966, Nr. 85, 121-129.

## Auswirkung der Düngung auf P-Gehaltswerte im Boden und Futter sowie P-Bilanzen von Grünlandflächen

Erich M. Pötsch<sup>1\*</sup>, Reinhard Resch<sup>1</sup> und Karl Buchgraber<sup>1</sup>

### Zusammenfassung

Ein hoher Anteil der österreichischen Grünlandböden weist eine niedrige Versorgungsstufe für Phosphor auf, der sowohl für die Ernährung von Pflanzen als auch für die Versorgung von Tier und Mensch essentiell ist. Auf Basis von Langzeitdüngungsversuchen werden die wichtigsten Zusammenhänge zwischen Phosphordüngung und den relevanten pflanzenbaulichen sowie bodenkundlichen Kennwerten dargestellt und die aktuelle Situation in der österreichischen Grünlandwirtschaft mittels mehrerer Feldstudien aufgezeigt. Lösungs- und Verbesserungsansätze im Bereich der Fütterung und Düngung werden unter Bezug auf die bestehenden Empfehlungen und Richtlinien vorgestellt und kritisch diskutiert. Es zeigt sich, dass die aktuellen Regelungen durchaus einen ausreichenden Handlungsspielraum bieten, um die von den Fütterungsexperten vorgegebenen Phosphorgehaltswerte im Grundfutter zu erreichen. Dies erfordert aber entsprechende Anpassungen bzw. Verbesserungen in der Düngung, Nutzung und Konservierung von Grünlandbeständen. Zu hinterfragen ist allerdings der Verzicht auf leicht lösliche Phosphordünger im Biolandbau und bei spezifischen Maßnahmen im Agrarumweltprogramm, der eine Verbesserung der Bodenphosphorversorgung bei Vorliegen hoher pH-Werte im Boden erschwert.

*Schlagwörter: Phosphordüngung, Phosphormangel, Grundfutter, Grassilage, Heu*

### Summary

A high proportion of Austrian grassland soils offer low concentrations of plant-available phosphorus, which is essential both for plant nutrition as well as for the supply of animals and human beings. Based on long-term experiments the most relevant interactions between P-fertilization and parameters of plant production and soil condition are presented, furthermore the actual situation in Austrian grassland farming is outlined by means of several field studies. Different approaches and suggestions for improvement are introduced and critically discussed for the area of feeding and fertilization under consideration of existing recommendations and guidelines. It turns out that the actual regulations definitely offer sufficient scope to achieve the targeted values of phosphorus concentration in forage, specified by feeding experts. But this requires appropriate adaptation, respectively improvement in fertilization, utilization and conservation of grassland. The abdication of easy soluble phosphorus fertilizers in organic farming or in specific measures of the agri-environmental programme has to be scrutinized, considering the fact that these products can improve the soil phosphorus supply at high pH-values in soil.

*Keywords: phosphorus fertilization, phosphorus deficiency, forage, grass silage, hay*

### Einleitung und Problemstellung

Das chemische Element Phosphor zählt zu den wichtigsten und essentiellen Pflanzennährstoffen und erfüllt eine Reihe wichtiger Funktionen im Kohlenhydrat-haushalt, Energiestoffwechsel, Wasserhaushalt und bei der Photosynthese von Pflanzen. Unterschiedliche Phosphorverbindungen treten als zentrale Bestandteile von Nukleinsäuren, Lipiden sowie Co-Enzymen in Erscheinung und verleihen dem Nichtmetall Phosphor einen hohen Stellenwert in der Pflanzenernährung

(Ozanne, 1980; Maathuis, 2009; Wrage *et al.*, 2010; George *et al.*, 2011). Andererseits birgt Phosphor aber auch ein beachtliches Eutrophierungspotenzial für Gewässer (Lewis Jr *et al.*, 2011; Schilling *et al.*, 2011; Hahn *et al.*, 2012) und unterliegt daher wie auch der Stickstoff zahlreichen Reglementierungen im Bereich der landwirtschaftlichen Düngung (BMLFUW, 2006).

Im Gegensatz zum Stickstoff, der im Grünland neben den Wirtschaftsdüngern und mineralischen Düngemitteln auch über die biologische Fixierung des Luft-

<sup>1</sup> Institut für Pflanzenbau und Kulturlandschaft, LFZ Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, A-8952 IRDNING

\* Ansprechpartner: Univ.-Doz. Dr. Erich M. PÖTSCH, erich.poetsch@raumberg-gumpenstein.at

stickstoffs zur Verfügung steht, gilt Phosphor aufgrund seiner relativ niedrigen Konzentrationen im Boden und der auf nur wenige Länder begrenzten Lagerstätten als eine limitierte Ressource (Cordell *et al.*, 2009; Cooper *et al.*, 2011; Neset and Cordell, 2012). Die derzeit bekannten und erschlossenen Phosphatvorräte, vor allem jene Lagerstätten mit geringer Schwermetallbelastung, werden nach Expertenmeinung in wenigen Jahrzehnten erschöpft sein und daher könnte die Nutzung alternativer Phosphorquellen wie kommunale Abwässer, Klärschlamm, Schlachtabfälle oder Pflanzenasche zukünftig an Bedeutung gewinnen (Smit *et al.*, 2009; Weikard and Seyhan, 2009; Keyzer, 2010; Gronegger, 2011; Petzet and Cornel, 2013).

Auswertungen von Ergebnissen aus den Bodenzustandsinventuren sowie aus Routine - Bodenuntersuchungen belegen, dass in vielen Gebieten Österreichs ein hoher Anteil der Grünlandböden eine sehr niedrige (Gehaltsklasse A) bzw. niedrige (Gehaltsklasse B) P-Versorgung aufweist (Heinzlmaier *et al.*, 2009; Pötsch und Baumgarten, 2010; Baumgarten *et al.*, 2011). Der geringe P-Versorgungsgrad der Böden wird häufig mit einer niedrigen Ertragsleistung im Grünland, schlechten Wachstumsbedingungen für Leguminosen, mangelnder Futterqualität und in weiterer Folge mit sinkenden tierischen Leistungen in Verbindung gebracht (Gruber und Resch, 2009; Liebisch, 2011; Mackay and Lambert, 2011). Im nachfolgenden Beitrag werden daher wesentliche Zusammenhänge zwischen der Phosphordüngung im Grünland sowie den P-Gehaltswerten im Boden und Grundfutter aufbereitet und diskutiert sowie abschließend mögliche Lösungsansätze zur Verbesserung der aktuellen Versorgungslage aufgezeigt.

## Material und Methoden

Die Daten für die Auswertungen und Analysen stammen einerseits aus Grünlanddauerversuchen mit exakt definierten Bewirtschaftungsbedingungen und bestens dokumentierten Erhebungen sowie aus diversen Feldstudien, die auch eine stärkere geographische und standörtliche Variation bieten.

### Langzeitversuche am LFZ Raumberg-Gumpenstein

Insgesamt bestehen am LFZ Raumberg-Gumpenstein noch neun Langzeitversuche, die zwischen den Jahren 1946 und 1969 angelegt wurden. Zwei dieser Versuche wurden hinsichtlich der Phosphorthematik aktuell ausgewertet - es sind dies der Nährstoffmangelversuch sowie der Ertragsdynamische Wirtschaftsdüngerversuch, die beide am Hauptversuchsfeld in Gumpenstein auf einer Seehöhe von 710 m angelegt sind. Dieser Standort ist charakterisiert durch eine Jahresmitteltemperatur von 7,0°C und einer jährlichen Niederschlagsmenge von rund 1.000 mm. Der mittels drei Schnitten/Jahr genutzte Nährstoffmangelversuch

beinhaltet ausschließlich mineralisch gedüngte Varianten, wobei je ein Teil dieser dreifach wiederholten split-plot-Anlage ohne bzw. mit Stickstoff versorgt wird. Die P-Versorgung erfolgte bis zum Jahr 1997 mit Thomasphosphat und seit 1998 mittels Hyperphosphat, Kalium wird in Form von 40 %-igem Kalisalz gedüngt, die Stickstoffdüngung erfolgt in Form von Nitramoncal. Die Hauptintention dieses von Schechtner konzipierten und im Jahr 1960 angelegten Versuches, liegt darin, die Bedeutung der drei Hauptnährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium für die Produktivität von Grünland durch unterschiedliche Nährstoffkombinationen und Nährstoffniveaus aufzuzeigen und daraus auch konkrete Düngungsempfehlungen abzuleiten (Schechtner, 1993).

Der Ertragsdynamische Wirtschaftsdüngerversuch wurde ebenfalls von Schechtner geplant und 1966 in vierfacher Wiederholung angelegt. Bei diesem heute mittels drei Schnitten (bis 1993 erfolgte eine Vierschnittnutzung) genutzten Versuch steht die Produktivität und Effizienz unterschiedlicher Wirtschaftsdünger im Vergleich zu mineralisch versorgten Vergleichsvarianten im Blickfeld der Betrachtungen. Ertragsdynamisch bedeutet, dass die Zufuhr von Phosphor und Kalium bzw. die Rücklieferung der Wirtschaftsdünger in Abhängigkeit des jeweils erzielten Ertrages erfolgt. Bis zum Jahr 1993 wurden dazu je 0,57 kg P (in Form von Thomasphosphat) je dt Futtertrockenmasse rückgeführt, seither sind es 0,4 kg P (in Form von Hyperphosphat) je dt Futtertrockenmasse, was damit weitestgehend den derzeit aktuellen Vorgaben der österreichischen Düngungsrichtlinien entspricht (BMLFUW, 2006).

Für beide Dauerversuche liegen durchgehende Ertragsdaten und in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen auch Daten zur Futterqualität, zum Pflanzenbestand sowie zu den relevanten Bodennährstoffgehalten vor, die auch in die nachfolgenden Auswertungen miteinbezogen wurden.

### Feldstudien

Im Gegensatz zu Exaktversuchen bieten derartige Studien zwar einen geographisch und standörtlich betrachtet breiteren Überblick, andererseits stellt dies aber meist nur eine Momentaufnahme dar, ohne einen detaillierten nutzungsgeschichtlichen Hintergrund zu geben. Zur gegenständlichen Thematik erscheinen aber auch Feldstudien von großer Bedeutung und werden daher in die nachfolgenden Betrachtungen miteinbezogen. Von 1997 bis 2001 wurden im Rahmen des **Man and Biosphere**-Projektes „Landschaft und Landwirtschaft im Wandel - Das Grünland im Berggebiet Österreichs“ zahlreiche Erhebungen und Untersuchungen auf Grünlandpraxisflächen und -betrieben in insgesamt 8 Untersuchungsgebieten durchgeführt und hinsichtlich unterschiedlichster Aspekte ausgewertet und analysiert (BAL, 2000). In den Jahren 2003, 2005 und 2007 wurden unter der

Planung und Leitung des LFZ Raumberg-Gumpenstein österreichweite Erhebungen und Beprobungen zur Produktion und Qualität von Grassilagen abgewickelt (Resch, 2010). Diese Projekte vermitteln ebenso wie die in den Jahren 2010 und 2012 durchgeführten Heuprojekte einen sehr guten und detaillierten Überblick über die aktuelle Grundfutterqualität in Österreich (Resch, 2013a).

## Ergebnisse und Diskussion

Phosphor erfüllt neben anderen Mengen- und Spurenelementen auch wichtige Aufgaben beim Aufbau und im Stoffwechsel von landwirtschaftlichen Nutztieren. Eine bedarfsgerechte P-Versorgung ist daher eine wichtige Voraussetzung für die Aufrechterhaltung der Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Tiere. Wenngleich der tierische Organismus unterschiedliche Versorgungsbedingungen mittels unterschiedlicher Prozesse (z.B. Aufnahme aus dem Darm, Speicherung und Mobilisierung im Körper, Ausscheidung über Kot und Harn) innerhalb bestimmter Grenzen auszugleichen vermag, ist aus physiologischen und ökologischen Gründen eine möglichst bedarfsgerechte Versorgung mit Mineralstoffen anzustreben. Die in der Futtermittelration erforderliche Konzentration an Mineralstoffen weist dabei eine starke Abhängigkeit vom jeweiligen Leistungsniveau auf. So steigt etwa der P-Bedarf für eine Tagesmilchleistung von 10 kg (Mutterkuh) auf 50 kg (Hochleistungskuh) von 32 auf 109 g/Tag an, was bei den jeweils zugrundeliegenden Futteraufnahmen eine Konzentration zwischen 2,5 und knapp 4 g P/kg TM in der Gesamtration erfordert (GfE, 2001; Gruber und Resch, 2009). In den österreichischen Grünland- und Milchviehbetrieben steht über einen weiten Leistungsbereich das wirtschaftseigene Futter von den Wiesen, Weiden und Ackerfutterflächen im Mittelpunkt der Rationsgestaltung. Der Mineralstoffgehalt von Grünfutter, Silage und Heu spielt daher eine wichtige Rolle in der Versorgung von raufutterverzehrenden Nutztieren. Ausschlaggebende Einflussfaktoren für die Mineralstoffkonzentration von

Grundfutter sind im allgemeinen dessen botanische Zusammensetzung, die geologischen Bedingungen des Standortes, die Bewirtschaftungsintensität hinsichtlich Düngung und Nutzungshäufigkeit, das jeweilige Vegetationsstadium, der Aufwuchs sowie die Konservierungsform.

## Einfluss der Phosphordüngung auf die Ertragsleistung

Die Düngung nimmt in der Grünlandbewirtschaftung eine wichtige Rolle hinsichtlich der Ertragsbildung als auch der Qualität des Grundfutters ein. Zahlreiche vom LFZ Raumberg-Gumpenstein angelegte und betreute Feldversuche im Grünland beinhalten den Faktor Düngung und befassen sich dabei mit der Wirksamkeit unterschiedlicher Nährstoffe bzw. von Wirtschaftsdüngersystemen. Die in *Tabelle 1* angeführten Ergebnisse stammen vom sogenannten Nährstoffmangelversuch, einem der ältesten Langzeitversuche in Gumpenstein, dessen Versuchsdesign durchaus starke Ähnlichkeiten mit ebenfalls noch bestehenden Langzeitversuchen in Deutschland aufweist (Diepolder und Raschacher, 2011). Von den insgesamt 14 Versuchsvarianten wurden jene ausgewählt, die einen unmittelbaren Bezug zur Phosphordüngung aufweisen. Hinsichtlich des Ertrages weist die Zufuhr von Phosphor erst in Kombination mit einer Kaliumdüngung einen positiven Effekt auf, der im N-freien Vergleichsblock zwischen 44% (P<sub>1</sub>-Stufe) und 53% (P<sub>2</sub>-Stufe) und im N-gedüngten Vergleichsblock mit einem allerdings deutlich höheren Ausgangsniveau zwischen 21% (P<sub>1</sub>-Stufe) und 27% (P<sub>2</sub>-Stufe) beträgt. Die Ertragsdifferenz zwischen den P-Stufen 1 und 2 beläuft sich trotz einer Verdoppelung der Phosphorzufuhr auf nur bescheidene 6% im N-freien und knapp 5% im N-gedüngten Versuchsblock. Diesbezüglich ist anzumerken, dass die aktuelle Empfehlung zur Phosphordüngung für Dreischnittwiesen in mittlerer Ertragslage (= 60-80 dt TM/ha und Jahr) 65 kg Phosphat und in hoher Ertragslage (≥ 80 dt TM/ha und Jahr) 80 kg Phosphat/ha und Jahr beträgt. Die

**Tabelle 1: Bodenkennwerte (Ø der letzten Versuchsdekade), Erträge, Leguminosenanteil, Futterinhaltsstoffe und P-Bilanzierungswerte aus dem Nährstoffmangelversuch Gumpenstein (Mittelwerte 1961-2010)**

Parameter	Einheit	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>
pH-Wert Boden		5,2	6,1	4,5	6,0	4,9	5,1	5,7	5,1	5,5	5,8
Phosphor (P nach CAL) Boden	mg/kg FB	23	159	24,5	160	25	49	116	24	34	90
Kalium (K nach CAL) Boden	mg/kg FB	64	61	49	27	420	279	317	199	137	142
TM-Bruttoertrag	dt/ha	29,1	28,7	42,9	42,8	45,3	65,1	69,2	73,3	88,4	93,3
Leguminosen	Gew. %	7,7	3,6	0,6	0,4	14,7	20,6	20,4	2,5	3,4	3,4
Rohprotein (XP) Futter	g/kg TM	132,5	129,1	147,9	149,7	127,7	133,0	131,1	129,5	116,4	115,0
Phosphor (P) Futter	g/kg TM	3,7	4,5	3,1	3,9	3,5	3,7	4,0	2,9	3,2	3,5
Kalium (K) Futter	g/kg TM	12,7	12,5	10,2	8,1	25,7	24,6	24,5	21,9	20,2	19,9
P-Zufuhr	kg/ha	0	52,3	0	52,3	0	26,3	52,3	0	26,2	52,3
P-Entzug	kg/ha	11,9	13,4	14,7	18,2	17,4	25,5	28,5	22,4	29,4	33,2
P-Bilanz	kg/ha	-11,9	38,9	-14,7	34,1	-17,4	0,8	23,8	-22,4	-3,2	19,1

N<sub>0</sub> = kein Stickstoff; N<sub>1</sub> = 60 kg N/ha und Jahr

P<sub>0</sub> = kein Phosphor; P<sub>1</sub> = 60 kg Phosphat/ha und Jahr; P<sub>2</sub> = 120 kg Phosphat/ha und Jahr

K<sub>0</sub> = kein Kalium; K<sub>2</sub> = 240 kg Kali/ha und Jahr

**Tabelle 2: Bodenkennwerte ( $\emptyset$  der letzten Versuchsdekade), Erträge, Leguminosenanteil, Futterinhaltsstoffe und P-Bilanzierungswerte aus dem Ertragsdynamischen Wirtschaftsdüngerversuch Gumpenstein (Mittelwerte 1967-2012)**

Parameter	Einheit	N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	N <sub>0</sub> P <sub>d</sub> K <sub>d</sub>	N <sub>1</sub> P <sub>d</sub> K <sub>d</sub>	N <sub>2</sub> P <sub>d</sub> K <sub>d</sub>	N <sub>3</sub> P <sub>d</sub> K <sub>d</sub>	Rindergülle 1: 0,25	Harngülle 1:1	Rottemist + Jauche
pH-Wert Boden		5,0	5,0	5,3	5,3	5,1	5,3	5,2	5,7
Phosphor (P nach CAL) Boden	mg/kg FB	29	67	56	51	60	66	63	88
Kalium (K nach CAL) Boden	mg/kg FB	86	119	130	139	144	115	130	169
TM-Bruttoertrag	dt/ha	32,1	63,0	77,0	84,1	95,3	80,4	74,8	74,2
Leguminosen	Gew. %	12,5	24,8	12,5	6,2	4,0	15,2	14,8	17,0
Rohprotein (XP) Futter	g/kg TM	149,7	160,4	151,1	148,3	152,1	153,0	150,3	155,2
Phosphor (P) Futter	g/kg TM	4,0	4,1	4,0	3,8	3,6	4,1	3,9	4,0
Kalium (K) Futter	g/kg TM	17,1	24,3	25,3	24,9	24,6	22,9	25,9	25,2
P-Zufuhr	kg/ha	0,0	30,9	37,0	40,6	45,7	35,3	32,8	39,6
P-Entzug	kg/ha	15,1	29,6	33,3	33,7	35,3	35,2	32,3	31,4
P-Bilanz	kg/ha	-15,1	1,3	3,7	7,0	10,3	0,1	0,6	8,1

N<sub>0</sub> = kein Stickstoff; N<sub>1</sub> = 80 kg N/ha und Jahr; N<sub>2</sub> = 160 kg N/ha und Jahr; N<sub>3</sub> = 240 kg N/ha und Jahr

P<sub>d</sub> = dynamische Rückführung gemäß Vorjahresertrag

K<sub>d</sub> = dynamische Rückführung gemäß Vorjahresertrag

1:1, 1: 0,25 = Verdünnungsgrad mit Wasser

im Nährstoffmangelversuch geprüfte P<sub>2</sub>-Stufe kommt heute in den aktuell gültigen, österreichischen Düngeempfehlungen nur bei sehr hoher Nutzungsfrequenz (6 Schnitte) in Kombination mit hoher Ertragslage zur Anwendung (BMLFUW, 2006).

Im Gegensatz zum Nährstoffmangelversuch erfolgte beim Ertragsdynamischen Wirtschaftsdüngerversuch (Tabelle 2) sowohl die Phosphor- als auch die Kaliumzufuhr in Abhängigkeit des im Vorjahr erzielten Ertrages. Die dynamisch kalkulierte Phosphorzufuhr lag im Durchschnitt des gesamten Versuchszeitraumes mit Ausnahme der höchsten N-Variante im Empfehlungsbereich für Dreischnitt- bis Vierschnittflächen. Mit Ausnahme der ungedüngten Variante und der PK-Variante, die hinsichtlich des Ertragsniveaus mit den korrespondierenden Prüfgliedern des Nährstoffmangelversuches gut vergleichbar sind, wurden hier alle Versuchspartellen auch mit Stickstoff versorgt. Die Erhöhung der N-Zufuhr bei den mineralisch gedüngten Varianten führte erwartungsgemäß zu einem Ertragsanstieg, der allerdings angesichts der eingesetzten N-Mengen relativ bescheiden ausfällt. Das Ertragsniveau der untersuchten Wirtschaftsdüngervarianten lag im langjährigen Durchschnitt etwa im Bereich der mit 80 kg mineralischem Stickstoff versorgten Variante. Die Variante Harngülle wurde in den ersten drei Versuchsdekaden mit mineralischem Phosphor ergänzt, um die P-Senke des Harns bzw. der Jauche auszugleichen. Das Ertragsniveau dieser Variante lag in diesem Zeitraum auch etwa auf jenem der Güllevariante. Das Auflösen der mineralischen P-Ergänzung ab dem Jahr 1999 resultierte dann trotz der nach wie vor ausreichenden P-Versorgung des Bodens in einem massiven Rückgang des Jahresertrages, der in der letzten Prüfperiode (2007-2012) nur mehr bei durchschnittlich 38 dt TM/ha lag. Betriebe mit Stallmist-Jauche-System sollten daher entweder beide Wirtschaftsdüngerarten alternierend/kombiniert einsetzen oder bei jauchedominierendem Einsatz unbedingt eine entsprechende P-Ergänzung sicherstellen.

### *Einfluss der Phosphordüngung auf den Leguminosenbesatz*

Leguminosen und deren Fähigkeit zur biologischen N-Fixierung spielen in der Grünlandwirtschaft und hier speziell in biologisch bewirtschafteten Betrieben eine wichtige Rolle und zahlreiche Autoren betonen diesbezüglich auch die Bedeutung einer ausreichenden Versorgung mit Phosphor (Roscher *et al.*, 2011; Augusto *et al.*, 2013; Lüscher *et al.*, 2013; Suter *et al.*, 2013). Die Ergebnisse des Nährstoffmangelversuches zeigen, dass - wie auch beim Ertrag - erst die Kombination mit Kalium einen nennenswerten Anteil an Leguminosen ermöglicht. Dieser positive Effekt geht allerdings mit zunehmender N-Düngung und der damit verbundenen Konkurrenzwirkung zur legumen N-Bindung wieder verloren (siehe N-gedüngte Varianten im Nährstoffmangelversuch bzw. N-Steigerungsvarianten im ertragsdynamischen Wirtschaftsdüngerversuch). Die höchsten durchschnittlichen Leguminosengehalte traten bei der Rottemist+Jauche-Variante sowie bei ausschließlicher PK-Düngung auf, wobei letzteres eine praxisrelevante Option für kleereiche Feldfutterbestände darstellt.

### *Einfluss der Phosphordüngung auf den P-Gehalt im Boden*

Die beiden in diesem Bericht vorgestellten Langzeitversuche liegen in unmittelbarer Nachbarschaft am Hauptversuchsfeld des LFZ Raumberg-Gumpenstein und sind daher nicht nur hinsichtlich der klimatischen Bedingungen sondern auch bzgl. der Ausgangsbodenverhältnisse (tiefgründige, kalkfreie Lockersediment-Braunerde) sehr gut vergleichbar. Die nachfolgenden Auswertungen wurden mit gepoolten Werten für jeweils eine Versuchsdekade (bzw. eine abschließende 6-jährige Periode für den Versuch 484) durchgeführt und der Versuch 432 nach dem Subfaktor Stickstoff aufgetrennt. Die Erhöhung der P-Zufuhr führte zu einem Anstieg der P-Gehaltswerte im Boden, wobei

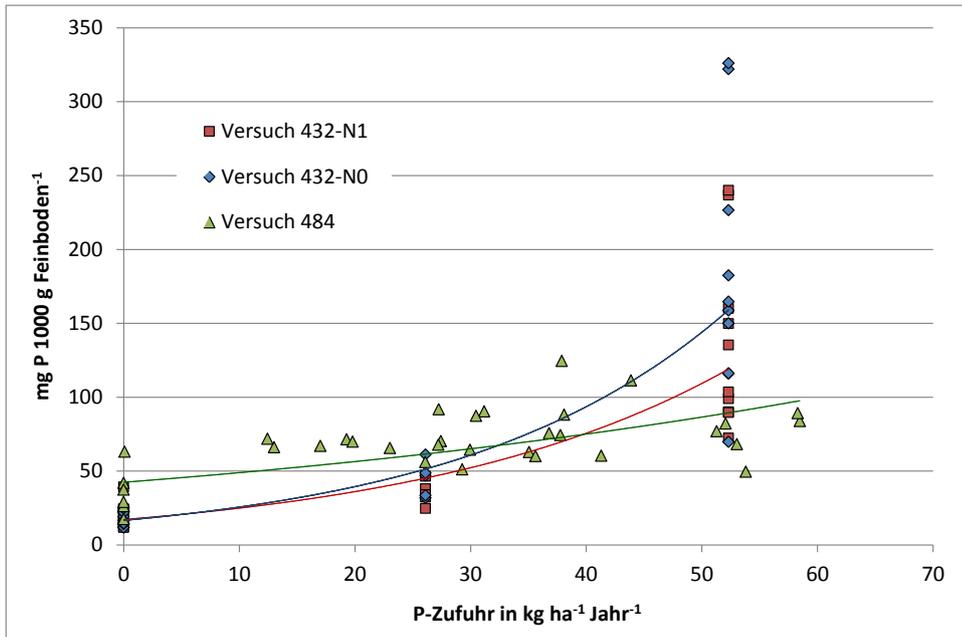


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen P-Zufuhr und P-Gehaltswerten im Boden (Nährstoffmangelversuch 432 und Ertragsdynamischer Wirtschaftsdüngerversuch 484, Gumpenstein)

diese Entwicklung bei NPK-versorgten Versuchsvarianten aufgrund höherer P-Entzüge über den Ertrag schwächer ausgeprägt ist, als bei mangelversorgten Varianten (Abbildung 1).

Nur bei einer P-Zufuhr über dem für die vorliegende Nutzungsfrequenz empfohlenen Wertebereich kam es im Versuchszeitraum zu teilweise extremen Anstiegen des P-Gehaltes im Boden von mehr als 300 mg P/1.000 g Feinboden (Variante  $N_0P_2K_0$ ). Der Boden der ungedüngte Variante sowie sämtlicher nicht mit Phosphor gedüngten Varianten des Nährstoffmangelversuchs lagen im gesamten Versuchszeitraum in der sehr niedrig versorgten Gehaltsklasse „A“ (<26 mg P/1.000 g Feinboden), der Boden der ungedüngten Variante des ertragsdynamischen Wirtschaftsdüngerversuches hingegen lag im unteren Bereich der niedrig versorgten Gehaltsklasse „B“ (26-46 mg P/1.000 g Feinboden). Die dynamische Rücklieferung von Phosphor im Versuch 484 mündete in der letzten Versuchsperiode in Bodenphosphorwerten der Gehaltsklasse „C“, mit Ausnahme der Rottemist-Jauche-Variante, die Gehaltswerte im unteren Bereich der hohen Versorgungsstufe aufwies (siehe auch Tabelle 2).

Die Erstellung einer P-Bilanz als Differenz zwischen P-Zufuhr (aus Wirtschaftsdünger bzw. Mineraldünger) und P-Entzug über die geerntete Biomasse ergab für die zugrundeliegenden Versuche ein ausgeglichenes Ergebnis bei einer Zufuhr von knapp 25 kg P/ha und Jahr, was etwa der  $P_1$ -Stufe im Nährstoffmangelversuch entspricht. Bis zu dieser P-Zufuhr erreichten die Bodengehaltswerte die Obergrenze der Gehaltsklasse „C“ und erst bei steigender P-Düngung kam es zu einer teilweise starken P-Anreicherung im Boden.

Die Langzeitversuchsergebnisse zeigen einmal mehr die Bedeutung der Anpassung der Düngungsintensität an die vorliegenden Standortbedingungen als auch die Wichtigkeit eines ausgewogenen Verhältnisses der Hauptnährstoffe zueinander. Damit kann einerseits langfristig ein gutes Ertragsniveau erzielt und zum anderen eine ökologisch bedenkliche als auch wirtschaftlich unnötige Anreicherung von Nährstoffen sowie daraus resultierende Umweltbelastungen vermieden werden (Schilling *et al.*, 2011).

### Einfluss der Phosphordüngung auf den P-Gehalt im Futter

Bei allen drei Teilauswertungen zeigt sich mit zunehmender P-Düngung ein tendenzieller Anstieg der P-Gehaltswerte im Futter (gewichtetes Mittel der Einzelaufwüchse). Die höchsten Gehaltswerte (zwischen 3,3 und 5,0 g P kg<sup>-1</sup> TM) ergaben sich im N-freien Block des Nährstoffmangelversuchs, gefolgt vom Wirtschaftsdüngerversuch (zwischen 2,6 und 4,6 g P kg<sup>-1</sup> TM) mit der ertragsdynamischen Bemessung der Phosphordüngung. Der N-gedüngte Versuchsblock des Nährstoffmangelversuchs wies mit Werten zwischen 2,7 und 4,4 g P kg<sup>-1</sup> TM die niedrigsten Gehaltswerte auf, wobei hier offensichtlich ein gewisser Verdünnungseffekt durch die N-Zufuhr zum Tragen kommt.

Die in den dargestellten Dauerversuchen langjährig erzielten P-Konzentrationen im Futter decken mit wenigen Ausnahmen durchaus den P-Bedarf auch für mittlere bis hohe Milchleistungen, wobei in der Fütterungspraxis vor allem im höheren Leistungsbereich eine P-Ergänzung durch Eiweißkraftfutter bzw. Mineralstoffmischungen erfolgt (Gruber und Resch, 2009).

Abbildung 3 stellt den Zusammenhang zwischen Boden- und Futtergehaltswerten dar. Während in beiden Teilblöcken des Nährstoffmangelversuchs mit zunehmendem P-Gehalt des Bodens ein Anstieg der Futtergehaltswerte ersichtlich ist, zeigt sich diesbezüglich beim Wirtschaftsdüngerversuch innerhalb der eingengten Variationsbreite bei den Boden-P-Werten keinerlei Zusammenhang. Diesbezüglich ist allerdings festzustellen, dass der Kurvenverlauf im Nährstoffmangelversuch stark geprägt ist von jenen Wertepaaren mit einer hohen P-Anreicherung im Boden,

die aufgrund der ertragsdynamischen P-Düngung im ertragsdynamischen Wirtschaftsdünger-versuch nur in einem deutlich geringeren Ausmaß aufgetreten ist.

Multivariate Auswertungen von Praxisdaten hinsichtlich der maßgeblichen Einflussfaktoren auf den Mengen- und Spurenelementgehalt von Grünfutter weisen für Phosphor signifikante Effekte für Boden-gehaltswert, Geologie und Nutzungshäufigkeit auf (Resch *et al.*, 2009). Der durchschnittliche P-Gehalt von insgesamt knapp 1.800 Futterproben lag bei  $3,0 (\pm 1,0)$  mit einem etwas höheren Wert auf kalkhaltigem gegenüber silikatischem Ausgangsgestein.

### *Einfluss der botanischen Zusammensetzung, der Nutzungshäufigkeit und des Nutzungszeitpunktes auf den P-Gehalt im Grünlandfutter*

Aus artenspezifisch differenzierten Futteranalysen lässt sich ableiten, dass kleereiche und vor allem kräuterreiche Grünlandbestände deutlich höhere Gehaltswerte an Kalzium, Magnesium, Kalium und in abgeschwächtem Ausmaß auch an Phosphor aufweisen (Pötsch und Resch, 2005; Pirhofer-Walzl *et al.*, 2011). Dies spricht neben einigen anderen Aspekten einmal mehr für Mischbestände im Dauergrünland mit einem starken Gräsergerüst (50-60%), das durch Leguminosen (10-30%) sowie Futterkräutern (bis zu 30%) ergänzt wird.

Ein sehr starker Einfluss auf den Phosphorgehalt zeigt sich auch vor allem im Jahresverlauf der unterschiedlichen Aufwüchse. Während etwa der Primäraufwuchs von Dauerwiesen nur  $2,5 \text{ g P/kg TM}$  (Basis Grünfutter) enthielt, stieg der Gehalts-

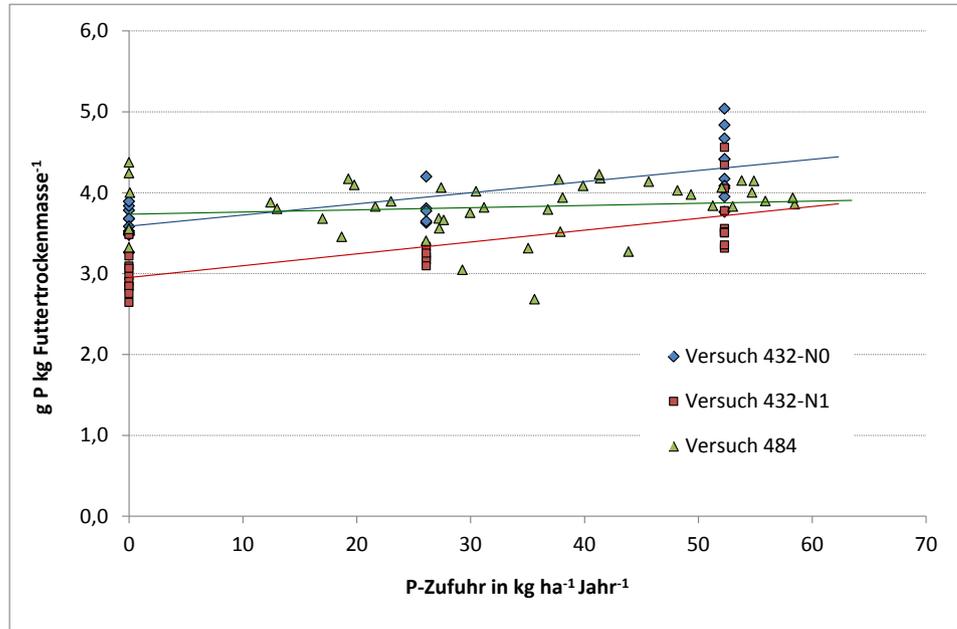


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen P-Zufuhr und P-Gehaltswerten im Futter (Nährstoffmangelversuch 432 und Ertragsdynamischer Wirtschaftsdüngerversuch 484, Gumpenstein)

wert beim zweiten und dritten Aufwuchs auf  $2,9$  bzw.  $3,2 \text{ g P/kg TM}$  an und lag ab dem vierten Aufwuchs bereits bei durchschnittlich  $3,8 \text{ g P/kg TM}$  (Daten aus dem Man and Biosphere-Projekt „Landschaft und Landwirtschaft im Wandel - Das Grünland im Berggebiet Österreichs“ aus insgesamt 8 Untersuchungsregionen - Resch *et al.*, 2009).

Einen ebenso deutlichen Gradienten hinsichtlich der Aufwüchse - allerdings auf einem höheren Niveau - zeigt ein Blick auf die Daten der aktuellen österreichischen Futterwerttabelle, in der allerdings sämtliche Folgeaufwüchse bei Mehrschnittflächen zusammengefasst sind (Resch *et al.*, 2006). Pirhofer-Walzl *et al.*

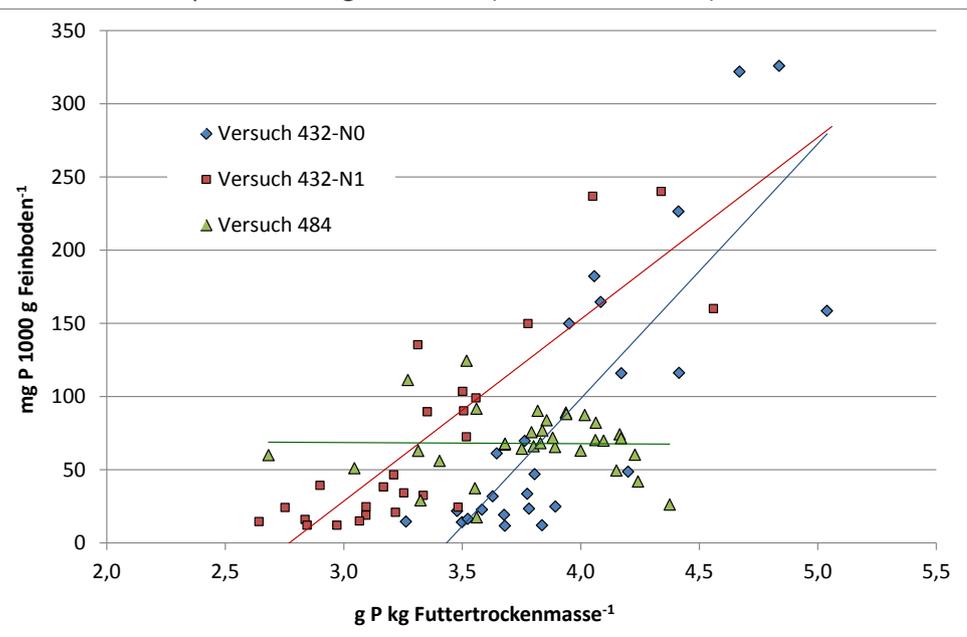


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen P-Gehaltswerten im Boden und P-Gehaltswerten im Futter (Nährstoffmangelversuch 432 und Ertragsdynamischer Wirtschaftsdüngerversuch 484, Gumpenstein)

(2011) weisen ebenfalls eine Konzentrationszunahme im Verlauf der Aufwüchse für alle von ihnen untersuchten Gräser-, Leguminosen- und Kräuterarten nach, wobei die Wegwarte (*Cichorium intybus*) und Wiesenkümmel (*Carum carvi*) im dritten Aufwuchs mit 5,5 bzw. 9,9 g P/kg TM die jeweils höchsten Gehaltswerte zeigten. Die genannten Autoren sprechen sich aufgrund ihrer Ergebnisse für den verstärkten Einsatz von kräuterreichen Grünlandmischungen aus, um unter anderem deren positiven Effekt auf den Mineralstoffgehalt des Grundfutters zu nutzen.

Innerhalb der einzelnen Aufwüchse beeinflusst der jeweilige Nutzungszeitpunkt sehr stark den Gehalt an Phosphor im Grünfutter. Zwischen den Vegetationsstadien „Schossen“ und „Ende Blüte“ nimmt die P-Konzentration im Futter ab, wobei die Reduktion bei extensiver Nutzungsfrequenz (Einschnitt- und Zweischnittflächen) am schwächsten und bei höheren Nutzungshäufigkeiten am stärksten ausgeprägt ist. Diese Konzentrationsabnahme tritt jedoch bei den Primäraufwüchsen deutlich stärker in Erscheinung als bei den nutzungselastischeren Folgeaufwüchsen (Resch *et al.*, 2006). Hinsichtlich einer möglichst hohen Phosphorkonzentration im Grundfutter spricht dies unabhängig von der Nutzungsfrequenz in jedem Fall für eine möglichst rechtzeitige Nutzung der Wiesen und Weiden, was ja zugleich auch eine bessere Verdaulichkeit der organischen Masse und höhere Energiekonzentrationen im Grundfutter gewährleistet.

### **Einfluss der Futterkonservierung auf den P-Gehalt von Grünland- und Feldfutter**

Hinsichtlich des Einflusses der Futterkonservierung auf den Mineralstoffgehalt von Grünlandfutter zeigen sich teilweise etwas divergierende Ergebnisse, da insbesondere bei der Silageproduktion der Verschmutzungsgrad über die Erhöhung des Rohaschegehaltes eine große Rolle spielt. Grundsätzlich ist allerdings davon auszugehen, dass gegenüber den Werten von Grünfutter der P-Gehalt von Silagen und Heu/Grummet abnimmt, was vorwiegend auf Bröckelverluste von Blattmasse am Feld zurückzuführen ist. Je nach Ausgangsbestand können diese Verluste beim Dauergrünland zwischen 15 und 30% sowie bei Rotklee gras

bzw. Luzerne zwischen 20 und 35% betragen (Resch *et al.*, 2006). Eine schonende Futterwerbung und -konservierung sollte daher zur Verringerung dieser Verluste im Futter sowie zur Vermeidung von Futterverschmutzung unbedingt angestrebt werden.

Im Rahmen einer umfassenden Serie zur Erhebung der Qualität österreichischer Grassilagen zeigt sich unabhängig von der Wirtschaftsweise der Praxisbetriebe ebenfalls sehr klar die Zunahme der P-Konzentration vom 1. bis zum 4. Aufwuchs ( $\emptyset$  aus den vier Untersuchungsjahren 2003, 2005, 2007, 2009), wobei allerdings die Anzahl der Proben des vierten Aufwuchses allgemein sehr gering war (Tabelle 3). Auffallend ist bei dieser Auswertung der signifikante Einfluss der Wirtschaftsweise auf den P-Gehalt der Silagen mit den niedrigsten Gesamtwerten bei biologischer Wirtschaftsweise und den höchsten Konzentrationswerten bei Nicht-ÖPUL-Betrieben. Die weiteren im Zuge einer GLM-Analyse ermittelten, signifikanten Einflussfaktoren auf den P-Gehalt der Grassilagen waren das Jahr, der Aufwuchs, Mäh- und Erntetechnik sowie die Verweilzeit am Feld, wobei mit dem Modell nur insgesamt nur rund 30% der Wertestreuung erklärt werden konnten.

Die Auswertungen der vier Silageprojekte zeigten insgesamt für Silagen aus Dauerwiesen mit  $\emptyset$  3,1 g/kg TM etwas geringere P-Gehaltswerte als für jene aus Feldfutterbeständen mit  $\emptyset$  3,2 g/kg TM. Die untersuchten Siliersysteme (Fahrsilo, Silohaufen, Hochsilo und Ballensilage) wiesen hingegen keinen Einfluss auf den P-Gehalt der untersuchten Silagen auf (Resch, 2010). Der für Silagen angestrebte Orientierungswert von  $>3,0$  g/kg TM konnte jedenfalls mit Ausnahme des 1. Aufwuchses bei biologischer Wirtschaftsweise weitestgehend erreicht werden (Resch *et al.*, 2011).

Eine aktuelle Auswertung von Heu- bzw. Grummetproben aus den vom LFZ Raumberg-Gumpenstein gemeinsam mit den Landwirtschaftskammern und den Milchvieharbeitskreisen organisierten Heuprojekten zeigt, dass der für Raufutter geforderte Mindestgehalt von 2,5 g P/kg TM nur bei 36% der untersuchten Heuproben bzw. 50% der Grummetproben erreicht wurde (Resch, 2013). Die GLM-Analyse zeigt einen signifikanten Einfluss der Faktoren Jahr, Wirtschafts-

Tabelle 3: P-Gehaltswerte von Grassilagen aus österreichischen Praxisbetrieben (Resch, 2010)

	Biologische Wirtschaftsweise		Verzicht auf ertragssteigernde Betriebsmittel <sup>1</sup>		UBAG <sup>2</sup> , Öko-Punkte <sup>3</sup>		keine ÖPUL-Teilnahme	
	n	$\emptyset$	n	$\emptyset$	n	$\emptyset$	n	$\emptyset$
1. Aufwuchs	293	2,8	655	3,0	637	3,1	358	3,2
2. Aufwuchs	57	3,1	108	3,2	98	3,2	57	3,4
3. Aufwuchs	21	3,5	19	3,5	26	3,5	16	3,5
4. Aufwuchs	4	3,7	9	3,7	7	4,0	2	3,7
Gesamt	396	2,9	837	3,0	841	3,1	492	3,2

<sup>1</sup> ÖPUL-Maßnahme für Ackerfutter- und Grünlandflächen

<sup>2</sup> umweltgerechte Bewirtschaftung von Acker- und Grünlandflächen

<sup>3</sup> nur in Niederösterreich angebotene ÖPUL-Maßnahme

**Tabelle 4: P-Gehaltswerte von Heu und Grummet ( $\bar{x}$  2007-2012) aus österreichischen Praxisbetrieben in Abhängigkeit des Trocknungsverfahrens (Resch, 2013b)**

	Bodentrocknung		Kaltbelüftung		Warmbelüftung	
	n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$	n	$\bar{x}$
1. Aufwuchs	210	2,1 ( $\pm$ 0,5)	367	2,4 ( $\pm$ 0,5)	268	2,7 ( $\pm$ 0,6)
2. Aufwuchs	183	2,8 ( $\pm$ 0,6)	230	2,9 ( $\pm$ 0,7)	195	3,1 ( $\pm$ 0,7)
3.-6. Aufwuchs	28	3,3 ( $\pm$ 0,7)	61	3,2 ( $\pm$ 0,7)	111	3,3 ( $\pm$ 0,7)

weise und Trocknungsverfahren auf den P-Gehalt von Heuproben (= 1. Aufwuchs) mit insgesamt knapp 44% Erklärungsanteil für die Wertestreuung. Biobetriebe wiesen dabei mit  $\bar{x}$  2,5 g/kg TM die geringsten P-Gehaltswerte auf, gefolgt von Nicht-ÖPUL-Betrieben mit  $\bar{x}$  2,7 und UBAG-Betrieben mit  $\bar{x}$  2,8 g/kg TM. Warmbelüftetes bzw. mit Luftentfeuchter behandeltes Raufutter wies durch die schonendere Behandlung gegenüber bodengetrocknetem Heu insbesondere bei den ersten beiden Aufwüchsen höhere P-Gehaltswerte auf (Tabelle 4).

Jedenfalls zeigen die umfangreichen Untersuchungen aus der österreichischen Grünlandpraxis, dass die P-Gehaltswerte des Grundfutters teilweise ein sehr niedriges Niveau aufweisen. Im Gegensatz zu den Ergebnissen aus den Exaktversuchen fehlen hier allerdings konkrete Angaben zur P-Düngung bzw. zum P-Gehalt der jeweiligen Böden. Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass in den betreffenden Erhebungsgebieten ein den gesamtösterreichischen Verhältnissen entsprechender, niedriger P-Versorgungsgrad in den Böden vorliegt.

## Schlussfolgerungen und Lösungsansätze für die Praxis

Analysen von Grünlandexaktversuchen und praxisrelevanten Feldstudien zeigen die wesentlichen Zusammenhänge und Einflussfaktoren auf den P-Gehalt von Grundfutter als zentrale Grundlage der Rationsgestaltung in österreichischen Grünland- und Milchviehbetrieben. Während die P-Gehaltswerte von Grundfutter bei gezielter und den österreichischen Düngungsnormen entsprechender P-Zufuhr durchaus annehmbare Werte erreichen, liegen diese in der Praxis auf einem teilweise sehr niedrigen Niveau. Unter diesem Gesichtspunkt werden daher nachfolgend mögliche Lösungsansätze diskutiert und die österreichischen Empfehlungsgrundlagen zur P-Versorgung des BMLFUW (2006) kritisch hinterfragt.

### Bedarfsnormen und Ergänzungsfütterung

An möglichen Optionen zur Verbesserung der Situation bietet sich im Bereich der Fütterung die gezielte, bedarfsgerechte Ergänzung von Phosphor mittels Kraftfutter bzw. Mineralstoffmischungen an. Insbesondere der Einsatz von Proteinkraftfutter wie z.B. Raps- und Sojaextraktionsschrot oder Getreideschlempe trägt maßgeblich zur Phosphorversorgung bei (Gruber

und Resch, 2009). In diesem Zusammenhang gilt es allerdings auch kritisch zu hinterfragen, wie weit die für Phosphor bestehenden Bedarfsnormen dem aktuellen Wissenstand in der Ernährungsphysiologie entsprechen. So zeigen sich bei vergleichbaren Leistungsniveaus teilweise gravierende Länderunterschiede in den P-Bedarfsnormen für Milchkühe (Schlegel und Lobsiger, 2010; von Ah und Kohler, 2012). Beim Einsatz von Ergänzungsfutter ist jedenfalls zu berücksichtigen, dass damit das Nährstoffniveau im Betrieb angehoben wird und dies in Regionen mit einer aufgrund der vorliegenden Standortverhältnisse, niedrigen Ertragslage mittel- und langfristig zu Problemen im Grünlandökosystem führen kann.

### Phosphordüngung und Düngungsempfehlungen

In der Grünlanddüngung bietet sich primär die ergänzende Zufuhr von mineralischem Phosphor an, wobei hier einerseits die nach Ertragslage und Nutzungsform/-frequenz orientierten Empfehlungswerte nach den Richtlinien für die sachgerechte Düngung (BMLFUW, 2006) als auch die maßnahmenbezogenen Auflagen bei Teilnahme am Agrarumweltprogramm zu berücksichtigen sind. Die im Zuge des MaB-Projektes durchgeführten Erhebungen auf rund 200 Praxisbetrieben im Testgebiet Ennstal zeigten, dass bezogen auf den gesamten eingesetzten Phosphor 23% in mineralischer Form zugeführt wurde, also in der Grünland- und Milchwirtschaft durchaus von der Möglichkeit einer Ergänzungsdüngung Gebrauch gemacht wird (Pötsch and Buchgraber, 1999). Insgesamt ist allerdings festzuhalten, dass der Absatz von mineralischen Düngemitteln in Österreich seit Jahren eine abnehmende Tendenz aufweist und in der letzten Dekade allein bei Phosphor um knapp 40% zurückgegangen ist (BMLFUW, 2012).

Bei der Teilnahme an den Maßnahmen biologische Wirtschaftsweise oder Verzicht auf ertragssteigernde Betriebsmittel ist aber grundsätzlich nur der Einsatz von weicherdigen Phosphaten (Hyperphosphat, Hyperkorn) erlaubt. Eine Ausnahme besteht jedoch für die Maßnahme Verzicht auf ertragssteigernde Betriebsmittel, sofern mittels einer Bodenuntersuchung nachgewiesen wird, dass ein pH-Wert  $>6,0$  vorliegt und der P-Gehalt des Bodens der Gehaltsklasse A oder B zuzuordnen ist. In diesem Fall, darf auch eine Ergänzungsdüngung mittels leicht löslicher Phosphordünger (z.B. Superphosphat) im Ausmaß von maximal 30 kg Phosphat/ha und Jahr erfolgen. Mit dieser

Regelung wird der schlechten Löslichkeit weicheriger Phosphate bei höheren pH-Werten Rechnung getragen. Für die biologische Landwirtschaft zeichnet sich diesbezüglich trotz immer wiederkehrenden Anfragen aus der Praxis aber keine derartige Lösung ab, obwohl gerade für diese Form der Bewirtschaftung die Grundfutterqualität eine ganz besondere Rolle spielt. Neben den im Handel erhältlichen Phosphordüngern bietet sich zunehmend auch der Einsatz von Pflanzenaschen aus der Verbrennung in Bioheizwerken auf Grünland- und Ackerflächen an (Schiemanz, 2011). Allerdings weisen die meisten Pflanzenaschen je nach Anlage und eingesetztem Ausgangsmaterial nur relativ niedrige P-Werte meist aber sehr hohe pH-Werte auf, die einen Einsatz nur auf sehr sauren Standorten sinnvoll erscheinen lassen. Wie weit und unter welchen Bedingungen Phosphor aus Recyclingprozessen zukünftig als Düngernährstoff zur Verfügung steht, ist derzeit Gegenstand zahlreicher Projekte und Studien (Gronegger, 2011; Petzet and Cornel, 2013).

Die Empfehlungen zur P-Düngung von Grünland wurden in den vergangenen 20 Jahren schrittweise angehoben und liegen heute je nach Nutzungsart, Nutzungstyp, Nutzungsfrequenz und Ertragslage bei Vorliegen der Bodengehaltsklasse C zwischen 10 und 120 kg  $P_2O_5$ /ha und Jahr. Die P-Empfehlungen basieren auf Entzugszahlen, wobei je 100 kg Trockenmasse mit einem  $P_2O_5$ -Entzug von 0,7 bis 1,0 kg gerechnet wird. Dieser Entzug kann in der Praxis aufgrund der Nachlieferung aus dem Boden aber auch etwas höher sein. Des Weiteren wird darauf hingewiesen, dass die anfallenden Wirtschaftsdünger wie Stallmist, Jauche, Stallmistkompost und Gülle im Grünland die Hauptquellen für eine kontinuierliche Versorgung der Böden und Pflanzen mit organischer Substanz, Hauptnährstoffen (und damit auch Phosphor) sowie Spurenelementen darstellen - eine mineralische P-Düngung wird nur dann empfohlen, wenn:

a) eine Anwendung von Wirtschaftsdüngern nicht möglich ist, b) die P-Gehaltswerte im Boden die Gehaltsklasse C unterschreiten oder c) der Ausgleich eines ungünstigen P/K-Verhältnisses im Wirtschaftsdünger (z.B. bei Jauche) notwendig erscheint.

### Bodenphosphoranalysen, Gehaltsklassen- und Zuschlagssystem

Im Zusammenhang mit der Phosphorproblematik im Grünland wird auch immer wieder über die Analysemethoden zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphors im Boden sowie über das bestehende Gehaltsklassensystem in den aktuellen Düngungsrichtlinien diskutiert. Die Bodenuntersuchung stellt gemäß dieser Richtlinie ein wichtiges Instrument für die Erstellung einer Düngeempfehlung und damit für die Steuerung der Nährstoffzufuhr dar. Die Bestimmung des „pflanzenverfügbaren“ Gehaltes an Phosphor erfolgt heute nur mehr nach der Calcium-Acetat-Lactat

(CAL)-Methode (ÖNORM L 1087), wobei dieser Anteil im Vergleich zum organisch gebundenen Phosphor ein sehr geringes Ausmaß einnimmt. Die ermittelten  $P_{CAL}$ -Werte werden einem fünfteiligen Gehaltsklassenschema zugeordnet. Die Gehaltsklassen A und B blieben seit 1991 unverändert, nur die Gehaltsklasse C (ausreichend) und D (hoch) wurden 1996 angepasst (Pötsch und Baumgarten, 2010). Die Einengung der Gehaltsklasse C und die damit verbundene Ausweitung der Gehaltsklasse D bewirkte eine Verschiebung der Beurteilungshäufigkeit zwischen diesen beiden Klassen, ab diesem Zeitpunkt wurden also im Verhältnis mehr Böden als hoch mit Phosphor versorgt beurteilt. Nur in den Gehaltsklassen A, B und C darf heute neben dem Wirtschaftsdünger auch noch eine mineralische P-Ergänzung erfolgen (BMLFUW, 2006). Bis 1996 war sogar noch bei Vorliegen der Gehaltsklasse D eine P-Ergänzung zulässig (BMLFUW, 1989).

Das Gehaltsklassensystem dient aber nicht nur einer Klassifizierung der P-Versorgung von Böden, sondern bietet auch die Möglichkeit von Zuschlägen im Rahmen der Düngungsplanung. Bei Vorliegen der Gehaltsklasse A können im Grünland zusätzlich zur bestehenden P-Empfehlung (auf Basis der Gehaltsstufe C = ausreichend versorgt) 40% aufgeschlagen werden, bei Vorliegen der Gehaltsstufe B sind es immerhin noch 20%. Ein Blick in die Praxis zeigt jedoch, dass dieses Zuschlagssystem entweder nicht ausreichend bekannt ist oder zumindest nur wenig genutzt wird - diese Tatsache wird auch seitens der pflanzenbaulichen Beratung bestätigt und bietet durchaus einen guten Handlungsspielraum zur Verbesserung der Situation.

Mehrere Autoren verweisen auf die Notwendigkeit zur Verbesserung und Erhöhung der Phosphoreffizienz im Pflanzenbau und Gesamtbetrieb. Hier geht es beispielsweise um die züchterische Behandlung von Pflanzen hinsichtlich deren Wurzelmorphologie und -architektur zur Effizienzerhöhung bei niedrigen P-Gehalten im Boden. Neben einigen Getreidearten konnten diesbezüglich auch bei Weißklee bereits konkrete Erfolge erzielt werden. Ein Thema ist auch die verbesserte Nutzung des organischen Phosphors, wobei hier neben spezifischen Bewirtschaftungsmaßnahmen auch der Einsatz von Pflanzen bzw. Mikroorganismen, welche zu einer verstärkten Mineralisation führen, genannt werden. Für intensiv bewirtschaftete und nährstoffmäßig gut versorgte Agrarökosysteme hingegen, zielt die Verbesserung der Effizienz darauf ab, durch höhere Erträge und Phosphorentzüge das Potenzial für P-Verluste in die Umwelt zu reduzieren (Richardson *et al.*, 2011; Simpson *et al.*, 2011).

### Literatur

Augusto, L., Delerue, F., Gallet-Budynek, A., Achat, D.L., 2013: Global assessment of limitation to symbiotic nitrogen fixation by phosphorus availability in terrestrial ecosystems using a meta-analysis approach. *Global Biogeochemical Cycles*, 27, doi: 10.1002/gbc.20069.

- BAL, 2000: Das Grünland im Berggebiet Österreichs. MAB-Forschungsbericht „Landschaft und Landwirtschaft im Wandel“. BAL Gumpenstein, 195 S.
- Baumgarten, A., Dersch, G., Hösch, J., Spiegel, H., Freudenschuss, A., Strauss, P., 2011: Bodenschutz durch umweltgerechte Landwirtschaft. In: Wien, A. (Ed.). Hrsg.: AGES Wien, 17 S.
- BMLFUW, 1989: Richtlinien für die sachgerechte Düngung, 3. Auflage. Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, Wien, 37 S.
- BMLFUW, 2006: Richtlinien für die sachgerechte Düngung. Hrsg.: Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, 6. Auflage, Wien, 80 S.
- BMLFUW, 2012: Grüner Bericht 2012 - Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 336 S.
- Cooper, J., Lombardi, R., Boardman, D., Carliell-Marquet, C., 2011: The future distribution and production of global phosphate rock reserves. Resources, conservation and recycling 57, 78-86.
- Cordell, D., Drangert, J.-O., White, S., 2009: The story of phosphorus: Global food security and food for thought. Global environmental change 19, 292-305.
- Diepolder, M., Raschacher, S., 2011. Bei Phosphor dranbleiben. dlz, 64-69.
- George, T., Fransson, A.-M., Hammond, J., White, P., 2011: Phosphorus Nutrition: Rhizosphere Processes, Plant Response and Adaptations. In: Bünemann, E., Oberson, A., Frossard, E. (Eds.), Phosphorus in Action. Springer Berlin Heidelberg, 245-271.
- GfE, 2001: Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 8: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG-Verlag, Frankfurt/Main, p. 135.
- Gronegger, I., 2011: Von der Düngung zum Phosphor-Recycling. Wasserwirtschaft Wassertechnik, 42.
- Gruber, L., Resch, R., 2009: Mineralstoffversorgung von Milchkühen aus dem Grund- und Kraftfutter. Der Fortschrittliche Landwirt Sonderbeilage 10/2009, 8 S.
- Hahn, C., Prasuhn, V., Stamm, C., Schulin, R., 2012: Phosphorus losses in runoff from manured grassland of different soil P status at two rainfall intensities. Agriculture, Ecosystems & Environment 153, 65-74.
- Heinzlmaier, F., Dersch, G., Baumgarten, A., Gerzabek, M., 2009: Entwicklung der Grundnährstoffgehalte in Böden Österreichs. Die Bodenkultur 17, 2; 17-27.
- Keyzer, M., 2010: Towards a closed phosphorus cycle. De Economist 158, 411-425.
- Lewis Jr, W.M., Wurtsbaugh, W.A., Paerl, H.W., 2011: Rationale for control of anthropogenic nitrogen and phosphorus to reduce eutrophication of inland waters. Environmental science & technology 45, 10300-10305.
- Liebisch, F., 2011: Plant and soil indicators to assess the phosphorus nutrition status of agricultural grasslands. Diss., Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich, Nr. 19573.
- Lüscher, A., Mueller-Harvey, I., Soussana, J.F., Rees, R.M., Peyraud, J.L., 2013: Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe. In: Helgadottir, A., Hopkins, A. (Eds.), 17<sup>th</sup> EGF Symposium "The role of grasslands in a green future - threats and perspectives in less favoured areas". Grassland Science in Europe, Akureyri, Island, 3-29.
- Maathuis, F.J.M., 2009: Physiological functions of mineral macronutrients. Current Opinion in Plant Biology 12, 250-258.
- Mackay, A., Lambert, M., 2011: Long-term changes in soil fertility and pasture production under no, low and high phosphorus fertiliser inputs. New Zealand Grassland Conference, Gisborne. New Zealand Grassland Association, 37-42.
- Neset, T.S.S., Cordell, D., 2012: Global phosphorus scarcity: identifying synergies for a sustainable future. Journal of the Science of Food and Agriculture 92, 2-6.
- Ozanne, P., 1980: Phosphate nutrition of plants-a general treatise. Khasawneh, FE; Sample, EC; Kamprath, EJ: The role of phosphorus in agriculture., 559-589.
- Petzet, S., Cornel, P., 2013: Phosphorus Recovery from Wastewater. Waste As a Resource 37, 110.
- Pirhofer-Walzl, K., Sjøgaard, K., Høgh-Jensen, H., Eriksen, J., Sanderson, M., Rasmussen, J., 2011. Forage herbs improve mineral composition of grassland herbage. Grass and Forage Science 66, 415-423.
- Pötsch, E.M., Baumgarten, A., 2010: Phosphorproblematik im Grünland. Der fortschrittliche Landwirt Heft 18, 30-31.
- Pötsch, E.M., Buchgraber, K., 1999: Ökologische Milchproduktion im Alpenländischen Grünland. DLG-Grünlandtagung, 99: Perspektiven einer umweltgerechten und effektiven Milchproduktion auf dem Grünland. DLG, Betzigau/Allgäu, 75-80.
- Pötsch, E.M., Resch, R., 2005: Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den Nährstoffgehalt von Grünlandfutter. 32. Viehwirtschaftliche Fachtagung. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 1-14.
- Resch, R., 2010: Qualitätsbewertung von österreichischen Grassilagen und Silomais aus Praxisbetrieben. Abschlussbericht WT 3561 (DaFNE 100535). LFZ Raumberg-Gumpenstein, 86 S.
- Resch, R., 2013a: Einfluss des Konservierungsmanagements auf die Qualität von Raufutter österreichischer Rinderbetriebe - Ergebnisse aus LK Heuprojekten. Bericht zur 40. Viehwirtschaftlichen Fachtagung, 57-72.
- Resch, R., 2013b: Einfluss des Managements auf die Raufutterqualität von Praxisbetrieben. Abschlussbericht der wissenschaftlichen Tätigkeit Nr. 3603 (100842). LFZ Raumberg-Gumpenstein, 25 S.
- Resch, R., Adler, A., Frank, P., Pöllinger, A., Peratoner, G., Tiefenthaller, F., Meusburger, C., Wiedner, G., Buchgraber, K., 2011: Top-Grassilage durch optimale Milchsäuregärung. Der fortschrittliche Landwirt ÖAG-Sonderbeilage 7/2011, 11 S.
- Resch, R., Buchgraber, K., Pötsch, E.M., Gruber, L., Guggenberger, T., Wiedner, G., 2009: Mineralstoffe machen das Grund- und Kraftfutter wertvoll. Der fortschrittliche Landwirt ÖAG Sonderbeilage 8/2009, 8 S.
- Resch, R., Guggenberger, T., Wiedner, G., Kasal, A., Wurm, K., Gruber, L., Ringdorfer, F., Buchgraber, K., 2006: Futterwerttabellen für das Grundfutter im Alpenraum. Der fortschrittliche Landwirt 24, 20 S.
- Richardson, A.E., Lynch, J.P., Ryan, P.R., Delhaize, E., Smith, F.A., Smith, S.E., Harvey, P.R., Ryan, M.H., Veneklaas, E.J., Lambers, H., 2011: Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. Plant and Soil 349, 121-156.
- Roscher, C., Thein, S., Weigelt, A., Temperton, V.M., Buchmann, N., Schulze, E.-D., 2011: N<sub>2</sub>-fixation and performance of 12 legume species in a 6-year grassland biodiversity experiment. Plant and Soil 341, 333-348.
- Schechtner, G., 1993: Bedarfsgerechte Grünlanddüngung mit Phosphor, Kalium, Nebennährstoffen und Spurenelementen. Veröffentlichungen Heft 19. BAL Gumpenstein, 181 S.
- Schiemenz, K., 2011: Nutzung von Biomasseaschen für die Phosphor-Versorgung im Pflanzenbau. Universität Rostock, 167 S.
- Schilling, C., Zessner, M., Kovacs, A., Hochedlinger, G., Windhofer, G., Gabriel, O., Thaler, S., Parajka, J., Natho, S., 2011: Stickstoff- und Phosphorbelastungen der Fließgewässer Österreichs und Möglichkeiten zu deren Reduktion. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 63, 105-116.
- Schlegel, P., Lobsiger, M., 2010: Bedarf an Phosphor unter die Lupe nehmen. BauernZeitung, Schweiz, 19.
- Simpson, R.J., Oberson, A., Culvenor, R.A., Ryan, M.H., Veneklaas, E.J., Lambers, H., Lynch, J.P., Ryan, P.R., Delhaize, E., Smith, F.A., 2011: Strategies and agronomic interventions to improve the phosphorus-use efficiency of farming systems. Plant and Soil 349, 89-120.
- Smit, A.L., Bindraban, P.S., Schröder, J., Conijn, J., Van Der Meer, H., 2009: Phosphorus in agriculture: global resources, trends and developments. Report to the Steering Committee Technology Assessment of the Ministry of Agriculture, The Netherlands, Wageningen.
- Suter, M., Connolly, J., Finn, J.A., Helgadottir, Á., Golinski, P., Kirwan, L., Loges, R., Kadziuliene, Z., Sebastião, M.T., Taube, F., Lüscher, A., 2013: Grass-legume mixtures enhance yield of total nitrogen and uptake from symbiotic N<sub>2</sub> fixation: Evidence from a three-year multisite experiment. In: Helgadottir, A., Hopkins, A. (Eds.), 17<sup>th</sup> EGF Symposium "The role of grasslands in a green future - threats and perspectives in less favoured areas". Grassland Science in Europe, Akureyri, Island, 76-78.
- von Ah, E., Kohler, S., 2012: Deckung des Mineralstoffbedarfs bei Kühen - Beitrag des Wiesenfutters. Ostschweizer AGFF-Tagung, Schweigersholz, 22.08.2012.
- Weikard, H.-P., Seyhan, D., 2009: Distribution of phosphorus resources between rich and poor countries: The effect of recycling. Ecological Economics 68, 1749-1755.
- Wrage, N., Chapuis-Lardy, L., Isselstein, J., 2010: Phosphorus, Plant Biodiversity and Climate Change. In: Lichtfouse, E. (Ed.), Sociology, Organic Farming, Climate Change and Soil Science. Springer Netherlands, pp. 147-169.

## Phosphorversorgung und P-Kreisläufe auf österreichischen Bio-Grünlandbetrieben

Stefan Hörtenhuber<sup>1,2</sup>, Rainer Weißhaidinger<sup>1</sup>, Jürgen Friedel<sup>2</sup>,  
Thomas Lindenthal<sup>1,2</sup> und Werner Zollitsch<sup>2</sup>

### Zusammenfassung

Im folgenden Beitrag wird der Frage nachgegangen, wie der Versorgungsstatus für Phosphor (P) auf österreichischen Bio-Grünlandbetrieben ist, und welche Konsequenzen sich hinsichtlich einer nachhaltigen Bewirtschaftung für Boden, Pflanzen, Tiere und Umwelt ergeben. Als Resultat weisen österreichische Bio-Grünlandbetriebe vorwiegend ausgeglichene (zumeist geringfügig negative, aber tolerierbare) P-Saldi auf, während konventionelle Grünlandbetriebe etwa gleich oft ausgeglichen bzw. leicht überschüssig bilanzieren. Beim Verbrauch von Phosphat aus Lagerstätten sowie beim Eutrophierungspotenzial zeigen Biobetriebe signifikante Vorteile gegenüber konventionellen Betrieben, wenngleich letzterer Indikator vor allem durch höhere potenzielle Stickstofffrachten und weniger durch die höheren potenziellen P-Frachten bestimmt wird. Trotz typischerweise etwas geringeren P-Gehalten biologischer Futtermittel ist keine generelle Unterversorgung der Tiere feststellbar.

### Summary

The aim of this contribution was to analyse Austrian grassland-based organic dairy production systems concerning their phosphorus (P) status and the consequences this may have for a sustainable management concerning soil, plants, livestock and the environment. As a result, Austrian organic grassland farms mainly show balanced P inputs and outputs (usually slightly negative, but tolerable), while the P-balance of conventional grassland farms is usually close to zero or slightly positive. Organic farms possess significant advantages regarding their consumption of fossil phosphates and their eutrophication potential as compared to conventional farms; however, the latter is primarily determined by the higher potential nitrogen loads observed for conventional farms and less by higher P loads. Despite the typically lower P-content in organic feedstuffs, no general undersupply of livestock can be observed.

### Einleitung - Grundlagen zu Phosphorbedarf für Pflanzen und Tiere sowie zu P-Vorräten und P-Kreislauf in Bio-Grünland (und Bio-Ackerland)

Das Makroelement Phosphor (P) ist ein wichtiger Baustoff aller Organismen (z.B. für Zucker in Pflanzen und für Knochengewebe) und bedeutender Wirkstoff für die pflanzliche und tierische Stoffwechselsteuerung, insbesondere die Energieübertragung. Für Pflanzen hat die Phosphorversorgung Bedeutung für Keimung, Wurzelbildung, Bestockung, Blüte und Reifung oder auch für die Stickstoffbindung von Leguminosen (Mengel, 1991). Phosphor ist jedoch in konzentrierter Form eine stark limitierte Ressource, die zudem hauptverantwortlich für die Eutrophierung von (Oberflächen-) Gewässern ist (Kummert und Stumm, 1989;

Götz und Zethner, 1996; Del Campillo *et al.*, 1999; Leinweber *et al.*, 1999; Frede und Dabbert, 1999; Wang und Wang, 2009; BMLFUW, 2010). Außerdem übt eine Überversorgung der Böden mit Phosphor potenziell negative Effekte auf die Biodiversität aus (Wassen *et al.*, 2005).

Deshalb bedarf es einer angepassten P-Versorgung aller Bedarfsstellen unter Einhaltung eines betrieblich bzw. regional möglichst geschlossenen Kreislaufs. Einerseits ist der betriebliche Kreislauf über den Verkauf pflanzlicher und tierischer Produkte nicht geschlossen, andererseits zeigt er sich auch wegen teils unvermeidlicher und ungewollter Verluste an die Umwelt (v.a. Gewässer) offen. Aus gesellschaftlicher Sicht könnte der den Betriebskreislauf verlassende Phosphor in Form von kommunalem Klärschlamm sowie von Haushaltsabfällen wieder rückgeführt werden; dies ist allerdings aufgrund der Problematik von Schwerme-

<sup>1</sup> Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) Österreich, Doblhoffgasse 7/10, A-1010 WIEN

<sup>2</sup> BOKU - Universität für Bodenkultur, Gregor Mendel Straße 33, A-1180 WIEN

\* Ansprechpartner: Dr. Stefan HÖRTENHUBER, stefan.hoertenhuber@boku.ac.at

tallen, chemischen Rückständen oder unerwünschten organischen Verbindungen derzeit nur eingeschränkt der Fall. Für die Ausbringung von Klärschlamm gibt es nach Bundesländern regional verschiedene und nach Produktionsrichtlinien Regelungen. Für Biobetriebe das Ausbringen von Klärschlamm bzw. daraus gewonnenen Produkten gänzlich verboten. Die Rückführung von Nährstoffen wie P über Komposte von kommunalen Haushaltsabfällen ist für „Bio“ mit hohen Qualitätsanforderungen erlaubt (Komposte der Qualitätsklasse „A+“; BIO AUSTRIA, 2013) aber in Grünlandgebieten bislang nur eingeschränkt in der Praxis verbreitet.

Der Einsatz weicherdiger (schwer löslicher) Rohphosphate stellt eine in den Bio-Richtlinien erlaubte Möglichkeit dar, Phosphor über Mineraldünger auf die Bio-Flächen zu bringen. Alle anderen P-Mineraldünger wie z.B. (Triple-) Superphosphat sind im Biolandbau nicht erlaubt. Hinsichtlich des Einsatzes von Rohphosphaten gibt es neben teilweise hohen Cadmium-Gehalten zunehmend Bedenken bezüglich hoher Urangelhalte. Die Uranbelastung der Rohphosphate hängt von deren Herkunft ab, wobei die häufigen sedimentären Lagerstätten höhere Urangelhalte aufweisen als jene aus magmatischen Lagerstätten (Dienemann und Utermann, 2013). Urangelhalte in den Düngemitteln können auch durch die Art der Verarbeitung und die Aufschlussmethode beeinflusst werden (Baturin & Kochenov, 2001). Zudem ist das P in Rohphosphat unter praxisüblichen Bedingungen (pH-Wert >6 und geringe Durchfeuchtung) häufig nur schwer pflanzenverfügbar (Leithold, 2002; BMLFUW, 2006) und zehrt jedenfalls an den endlichen Phosphorreserven. Die Weltvorräte an Phosphat aus Lagerstätten werden unter aktuellem Verbrauch häufig auf Zeiträume von etwa 60 bis 130 Jahre geschätzt (Steen, 1998; Smil, 2000; Gunther, 2005; Scheffer und Schachtschabel, 2010). Insofern wird auch von einem „Peak-Phosphorus“ gesprochen, der in bestimmten Studien (Modellierungen nach der Methode der sog. Hubbert-Kurve) bereits in wenigen Jahrzehnten erwartet wird; aktuelle dynamische Modelle gehen dagegen von längeren Zeiträumen, aber zukünftig ökonomisch limitierter Verfügbarkeit aus (Scholz *et al.*, 2013).

Demgegenüber stehen in Böden meist relativ große Vorräte an Gesamtposphor ( $P_{TOT}$ ) zur Verfügung, die selbst bei negativen P-Bilanzen theoretisch über deutlich längere Zeitdauer eine Bewirtschaftung ermöglichen, als die Zeitspanne für verfügbare Vorräte aus Lagerstätten erwarten lässt. Hier stellt sich allerdings die Frage nach der Verfügbarkeit dieses zumeist gebundenen und mitunter in tiefen Bodenschichten gespeicherten Phosphors. Untersuchungen weisen darauf hin, dass 75 bis 90% der österreichischen Grünlandflächen mit pflanzenverfügbarem Phosphor „unterversorgt“ ist (gemäß der Calcium-Acetat-Lactat (CAL)-Methode (ÖNORM L 1087) in den Gehaltsklassen A und B), was verstärkt auch auf biologisch

bewirtschaftete Flächen zutrifft (Lindenthal, 2000; Heinzlmaier *et al.*, 2008, 2009; Huemer *et al.*, 2012). In einer Evaluierungsstudie zur ÖPUL-Maßnahme „Biologische Landwirtschaft“ wurden von Kranzler *et al.* (2012) auch Grünlandflächen analysiert (der Fokus der Untersuchung lag im Ackerbau). Die  $P_{CAL}$ -Gehalte von Bio-Grünlandparzellen rangierten zwischen 10,0 und 113,0 mg P/kg Feinboden (FB). Zwar liegt der Mittelwert (37 mg P/kg FB) in der Versorgungsklasse B, ein großer Teil der Proben kam jedoch in der Versorgungsklasse A zu liegen. Eine groß angelegte Untersuchung in Oberösterreich von Dersch *et al.* (2013; 3.610 Proben für konventionelles Grünland, sowie je nach Dauer seit der Umstellung 615 bzw. 1.035 Biogrünland-Proben) zeigte, dass die P-Gehalte im Mittel als niedrig (Stufe B, 27-46 mg P/kg FB) einzustufen sind. Im Vergleich zwischen konventionell und biologisch bewirtschaftetem Grünland sind die  $P_{CAL}$ -Gehalte bei Bio bei allgemein niedriger P-Versorgung der Grünlandflächen geringer - je nach Hauptproduktionsgebiet im Mittel zwischen -1 und -9 mg P/kg FB.

Ein mit der geringeren P-Versorgung einhergehender, relevanter Ertragsrückgang (bezogen auf das Ertragsniveau im Biolandbau) konnte für Flächen, die seit einigen Jahren biologisch bewirtschaftet wurden, im Ackerbau wie auch im Grünland nicht gefunden werden (Lindenthal, 2000). Studien verweisen darauf, dass die Einstufung nach der CAL-Methode die verfügbaren Fraktionen des organischen P nicht erfasst (Tiessen *et al.*, 1983; Görlitz, 1985; Sharpley, 1985; Steffens *et al.*, 2005, 2010), und dass deren Ergebnisse in Abhängigkeit von der Witterung bei der Probenahme mitunter deutlich schwanken (siehe Lindenthal, 2000). Diesbezüglich regt Bohner (2010) eine Überprüfung der aktuell gültigen Gehaltsklassen-Einstufung für den  $P_{CAL}$ -Gehalt von Grünlandböden - besonders hinsichtlich einer Grundlage für Düngempfehlungen - an. Haas (2006) zufolge führen u.a. die anhaltenden Diskussionen zur „richtigen“ P-Analysemethode und die mehrmals nach unten korrigierten Versorgungsklassengrenzen in den 1990ern für Deutschland zu einem Gefühl der Sicherheit unter biologisch wirtschaftenden Betriebsleitern. Dabei ist laut Haas (2006) jedoch zu beachten, dass Böden auf gewissen Standorten mit geringeren P-Mobilisierungsvermögen und/oder geringen  $P_{TOT}$ -Gehalte zumindest mittelfristig eine P-Zufuhr benötigen (welche in organischer Form besser als aus Rohphosphat verfügbar ist; Lindenthal, 2000).

Zahlreiche Studien zeigen, dass einige Jahre nach der Umstellung auf biologische Landwirtschaft ein Rückgang an  $P_{CAL}$  im Grün- und Ackerland auftreten kann (Leisen, 2013; Gosling und Shepard, 2005). Durch eine unter konventioneller Bewirtschaftung vor der Umstellung erfolgte P-Akkumulation im Boden (u.a. Tunney *et al.*, 2003) werden negative P-Saldi oft erst nach einigen Jahren bis ein, zwei Jahrzehnten ersichtlich.

Wenn auch Erträge bei geringerer P-Versorgung nicht gleich einbrechen, so weisen biologische Futtermittel vom Grünland unter österreichischen Bedingungen zumeist etwas geringere P-Gehalte auf (u.a. Resch *et al.*, 2010; Beispiel Grünlandsilage). Die Abweichungen fallen aber geringer als jene der leicht löslichen P-Fraktion im Boden aus (siehe auch Kapitel 2.4 zu Milchkühen). Für Nordwestdeutschland zeigen sich jedoch nach Leisen (2013) auf Basis fünfzehnjähriger Untersuchungen bei rückläufiger P-Versorgung der Flächen vorwiegend konstante P-Versorgungsgrade in Bio-Kleegras- und -Grünlandsilagen.

Es ist zu beachten, dass bei den zumeist organisch gebundenen P-Vorräten im Oberboden (20-80%; Steffens *et al.*, 2010) deutliche Varianzen auftreten können: So reichen bspw. die P-Vorräte im Oberboden oberösterreichischer Grünlandflächen (0-20cm) typischerweise von 840 bis 2.560 kg  $P_{TOT}$  je ha (AGES, 2010). Eine nachhaltige Produktivität trotz eines geringen  $P_{CAL}$ -Gehalts hängt von der Mineralisierung aus dem  $P_{TOT}$ -Pool des Bodens ab. Die Analyse des  $P_{TOT}$ -Gehaltes sollte daher bei Bodenuntersuchungen inkludiert werden (Lindenthal 2000), was mittlerweile auch in den Routinebodenanalysen für Biobetriebe in Österreich berücksichtigt wird. Bestimmte Kulturen, Zwischenfrüchte, Fruchtfolgen und Bewirtschaftungsmaßnahmen sowie im Grünland insbesondere die organische Düngung oder das Vermeiden von Bodenverdichtungen bewirken über verbesserte Bodeneigenschaften eine „aktive Nährstoffmobilisierung“. Dazu zählen ein hoher Humusgehalt und gute Humusqualität, ein pH-Wert im optimalen Bereich, ein gut durchwurzelbarer Boden, eine hohe Mykorrhizierung der Pflanzen sowie eine hohe Mikroorganismenaktivität und generell ein aktives Bodenleben („Lebendverbauung“). Damit zeigt sich einerseits ein enger Zusammenhang zwischen P-Verfügbarkeit und organischer Düngung bzw. Humusaufbau (vgl. Oberson *et al.*, 1996; Mäder *et al.*, 2002; Fließbach *et al.*, 2007). Andererseits sind Wirtschaftsweisen für die P-Verfügbarkeit im Boden förderlich, die Bodenerosion durch Wasser (und Wind) verringern bzw. vermeiden.

Im Ackerbau geschieht dies durch z.B. geringere Anteile an Hackfrüchten, oder durch Begrünungen und Untersaaten. So entspricht ein Bodenabtrag von 20 t einem durchschnittlichen Verlust von ca. 15 kg P. In ähnlicher Weise gelten diese Zusammenhänge auch für Grünlandbewirtschaftung, wo biologisch bewirtschaftete Flächen bei vielfältigeren Pflanzengesellschaften mit ausdifferenziertem Wurzelwerk besser vor Bodenerosion schützen und gleichzeitig den Wasserrückhalt bei Starkregen verbessern und somit den Abfluss des Wassers an der Bodenoberfläche reduzieren (BFW, 2013; BFW, 2005).

Schafft eine geringere bzw. eine standortgemäße abgestufte Nutzungsintensität biologisch bewirtschafteten Grünlands im Vergleich zu konventionellen

Flächen einen höheren (oberflächlichen) Pflanzenbedeckungsgrad, kann von weiterer Erosionsminderung ausgegangen werden (siehe BFW, 2013).

Die folgenden Kapitel gehen der Frage nach der Nachhaltigkeit biologischer Grünlandwirtschaft im Spannungsfeld zwischen P-Bedarfsdeckung von Pflanzen und Tieren einerseits sowie eines effizienten Ressourceneinsatzes und ökologischen Aspekten andererseits nach. Dies geschieht auf Basis von Phosphorbilanzen von Praxis-Milchviehbetrieben und davon abgeleiteten Indikatoren der Ökobilanz in einer Lebenszyklusanalyse (siehe Hörtenhuber *et al.*, 2013). Zusätzlich wird der P-Bedarf laktierender Milchkühe mit dem Angebot aus (Bio-) Futter verglichen.

## Phosphor-Flüsse und Nachhaltigkeitskriterien: Fallbeispiele und Literaturbefunde

Eine umfassende Nachhaltigkeitsbewertung von 31 österreichischen Praxis-Milchviehbetrieben (davon sieben Biobetriebe) beschäftigte sich im Rahmen der ökologischen Indikatoren auch mit dem Element Phosphor (Hörtenhuber *et al.*, 2013). Von P betroffene Indikatoren zeigen größtenteils signifikante Unterschiede zwischen Betrieben mit konventioneller und biologischer Bewirtschaftung. Die Stichprobe der detailliert erhobenen Betriebe ist zwar relativ klein, die Ergebnisse decken sich allerdings sehr gut mit den wenigen Literaturbefunden. Vierzehn der 31 Betriebe, davon fünf Biobetriebe, verfügen ausschließlich über Grünland; diese liegen in den Produktionssystemen „Alpin“ (hoch-/alpine Milchviehbetriebe), „Berg-Intensiv“ (Grünlandbetriebe im Berggebiet mit verhältnismäßig hohen tierischen Leistungen, hoher Flächenproduktivität und hohem Kraftfutterimport) und „Hügel-Weide“ (Grünlandbetriebe im Berggebiet bzw. grünlanddominierte Milchviehbetriebe mit Ackerflächen in Übergangsregionen mit überdurchschnittlich hohen Weideanteilen). Weitere sechs Betriebe können als „Grünland-dominiert“ eingestuft werden und befinden sich in den Produktionssystemen „Hügel-Acker“ (fünf grünlanddominierte Milchviehbetriebe mit Ackerflächen in Übergangsregionen, davon ein Biobetrieb) sowie „Hügel-Weide“ (ein Biobetrieb). Daneben wurden in Hörtenhuber *et al.* (2013) elf konventionelle Gunstlagenbetriebe in den Produktionssystemen „Gunstlage-Gemischt“ (Gemischtbetriebe in der Gunstlage mit einem weiteren tierischen Betriebszweig neben der Milchproduktion) und „Gunstlage-Spezialisiert“ (spezialisierte Milchviehbetriebe in der Gunstlage, teilweise mit Marktfruchtanbau, aber keinem weiteren tierischen Betriebszweig) untersucht; diese werden aufgrund der nicht vergleichbaren Standortbedingungen sowie des durchschnittlichen Ackerflächenanteils von 50% nur am Beispiel des Verbrauchs an mineralischem Phosphat weiter betrachtet. Die Ergebnisse für die

Praxisbetriebe (Hörtenhuber *et al.*, 2013) werden im Folgenden Ergebnissen der Literatur nach verschiedenen Indikatoren gegenübergestellt.

### Verbrauch an mineralischem Phosphat

Im Gegensatz zu drei von 13 konventionellen grünlanddominierten Milchviehbetrieben beanspruchen die sieben analysierten Biobetriebe keine Lagerstätten-Phosphatressourcen zum Düngen, auch keine weicherdigen Rohphosphate (siehe *Abbildung 1*). Ein Biobetrieb aus „Hügel-Weide“ mit Ackerflächen verwendete in geringem Umfang Algenkalk (ca. 50 kg je ha und Jahr mit 18% Phosphat (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Alle sieben Biobetriebe setzten jedoch - in geringerem Umfang als bei den 13 konventionellen Vergleichsbetrieben - phosphorhaltige Mineralstoffergänzungsfuttermittel ein. Etwas höhere Mengen an (Roh-) Phosphat je ha landwirtschaftlicher Fläche (LF) können potenziell dann ins Spiel kommen, wenn zur Produktion für zugekaufte Bio-Konzentratfuttermittel ausschließlich Rohphosphat als Düngemittel verwendet wurde (ohne P aus Kompost oder anderen Quellen; siehe fliederfarbener Balken in *Abbildung 1* mit Fragezeichen aufgrund des unbekanntenen, nicht quantifizierbaren P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Einsatzes). Der P-Reinnährstoffbedarf wurde hierfür sowohl für „Bio“ als auch „Konventionell“ über den Nährstoffentzug angenommen.

Konventionelle Betriebe zeigen je ha hofeigene LF signifikant höhere P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Importe mit zugekauftem Konzentratfutter (*Abbildung 1*). Neben der höheren Menge an zugekauftem Konzentratfutter spielt diesbezüglich die Zusammensetzung eine wesentliche Rolle. Geringe P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Importe zeigen die drei konventionellen grünlanddominierten Betriebe mit hofeigener Ackerfläche, die jedoch P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Bedarf aus hofeigener

mineralischer Düngung aufweisen. Bei der Betrachtung des P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Verbrauchs je ha Gesamtbetriebsfläche (inklusive Flächen für zugekaufte Futtermittel) wird die Differenz zwischen „Bio“ und „Konventionell“ etwas verringert, bleibt durchschnittlich aber bei einem Faktor 2 signifikant bestehen. Die Kalkulation des Ressourcenverbrauchs je kg Milch über den Lebenszyklus (inkl. Aufzucht und exkl. Koppelprodukt Fleisch) gleicht aufgrund der geringeren Milchleistungen auf Bio-Betrieben den Unterschied zwischen den Wirtschaftsweisen teilweise aus, der P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Einsatz bleibt aber dennoch bei „Bio“ mit dem halben durchschnittlichen Verbrauchswert signifikant geringer.

Der P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Verbrauch zeigt eine Reihe von signifikanten Korrelationen mit anderen Indikatoren und Betriebsmerkmalen (siehe Hörtenhuber *et al.*, 2013): mit dem Flächenbedarf zur Erzeugung eines kg ECM (energiekorrigierte Milch) sowie dem Konzentratfuttermittelaufwand, Primärenergiebedarf, Versauerungs-, Eutrophierungs- und Treibhausgaspotenzial. Zum Teil beruhen diese Korrelationen jedoch nicht auf direkten Zusammenhängen, sondern sind von anderen Parametern (mit) beeinflusst. Eine weitere Korrelation lässt sich mit dem Anteil an „potenziellen Biodiversitätsflächen“ finden (Hörtenhuber *et al.*, 2013).

Biobetriebe produzieren folglich zumindest kurzfristig ressourcenschonender als vergleichbare konventionelle Betriebe. An diesen Befund schließt sich aber unmittelbar die Frage an, wie sich die Bilanzen darstellen und sich die P-Bodenvorräte langfristig entwickeln werden.

### Phosphorbilanzen hofeigener Flächen und P-Deckung des Pflanzenbedarfs

Im Durchschnitt weisen die 20 grünlanddominierten Betriebe sehr ausgeglichene P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Düngung in Relation

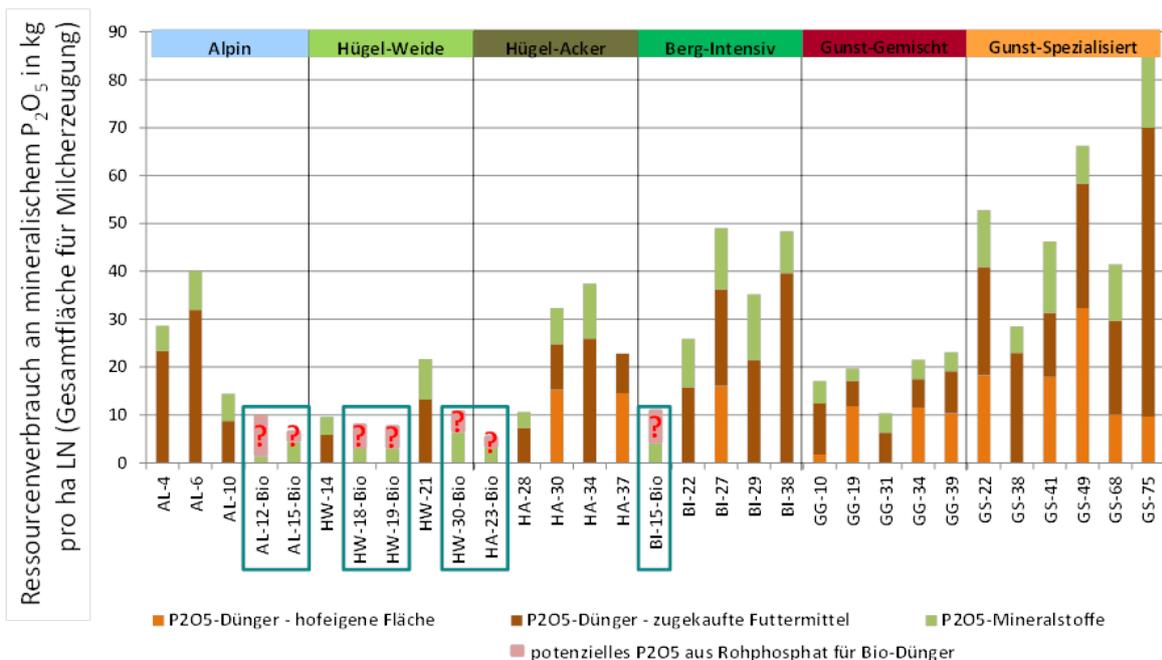
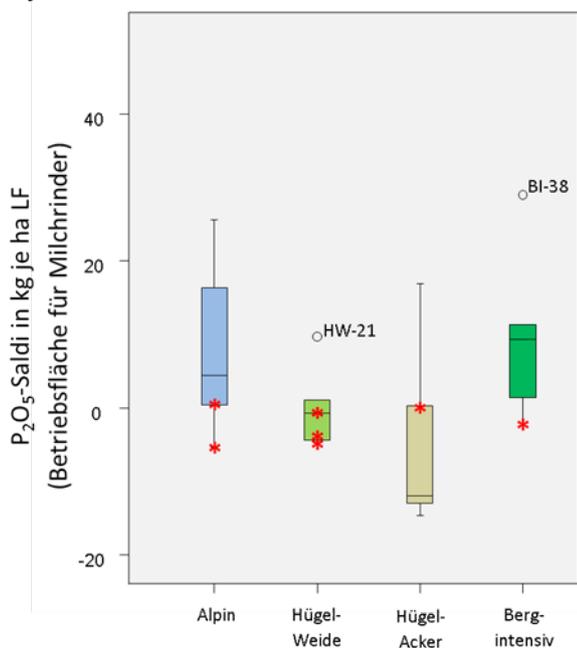


Abbildung 1: Verbrauch an mineralischem Phosphat (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) je ha hofeigene Nutzfläche nach Hörtenhuber *et al.* (2013)

zum Pflanzenbedarf auf, jedoch mit hoher Schwankungsbreite von einer tendenziellen Unterversorgung für biologisch bewirtschaftete Pflanzenbestände zu tendenziell überversorgten konventionellen Pflanzenbeständen (Hörtenhuber *et al.*, 2013).

Die sieben untersuchten Biobetriebe importieren im Mittel jeweils 4% der P-Bilanzsumme hofeigener Flächen (Eingangsseite) mit Konzentratfütterung bzw. Mineralergänzungsfuttermittel. Auf der Ausgangsseite stehen im Durchschnitt 9,5% des P für verkaufte Mengen an Milch und Fleisch und 2,7% als „unvermeidlich“ berechnete Verluste. Damit erklärt sich der negative P-Saldo von durchschnittlich -1,7 kg P je Hektar und Jahr der sieben biologisch wirtschaftenden Betriebe (entspricht -4,0 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; *Abbildung 2*). Einzelbetriebliche Ergebnisse für Bio-Grünlandbetriebe reichen von -5,6 bis +0,5 kg P je ha und Jahr.

Im Mittel der 13 konventionellen grünlanddominierten Betriebe stammen nur 3% der P-Gesamtbilanz (Eingangsseite) für hofeigene Flächen direkt von mineralischen Handelsdüngern (drei konventionelle Betriebe). Weitere 15% bzw. 5% gelangen im Mittel über Importe von konventionellem Konzentratfütterung sowie Mineralergänzungsfuttermittel dazu. Das restliche P stammt aus betriebsinternem Wirtschaftsdünger. Die Ausgangsseite verzeichnet im Mittel der konventionellen Betriebe -11,7% des P für verkaufte Mengen an Milch und Fleisch, sowie -2,2% als unvermeidlich berechnete Verluste. Damit ergibt sich der gefundene positive Saldo von durchschnittlich +3,2 kg P je ha und Jahr bei konventionellen Milchviehbetrieben (entspricht +7,5 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; *Abbildung 2*). Die Spanne für konventionelle Einzelbetriebswerte liegt zwischen -6,3 und +12,5 kg P je ha und Jahr.



*Abbildung 2:* P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Saldi bei Berücksichtigung unvermeidlicher P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Verluste je ha hofeigener Nutzfläche. Rote Sterne zeigen die Ergebnisse für die sieben Biobetriebe innerhalb aller 20 grünlanddominierten Betriebe (Hörtenhuber *et al.*, 2013)

Die Unterschiede in den Bilanzsalden zwischen den Wirtschaftsweisen sind vorwiegend durch den Einsatz von mineralischen P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Ressourcen bedingt. Der Vorteil eines geringeren Phosphateinsatzes bei „Bio“ in Kapitel 2.1 zeigt bei der Nährstoffsaldierung seinen Nachteil. Die Literatur beschreibt hierzu, dass sich das Agrar-Ökosystem, d.h. Boden, Pflanzen- oder Mikroorganismengesellschaften, an den geringen P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Umsatz anpasst. Der Bedarf der Pflanzen kann zumindest teilweise mittels effizienterer Phosphornutzung durch höhere Bioaktivität der Bodenorganismen und Mykorrhizierung der Pflanzenwurzeln aus „betriebs eigenen Lagerstätten“ im Unterboden gedeckt werden (siehe u.a. Niggli *et al.*, 2009). Ein höherer Kleeanteil kann in den unteren Versorgungsklassen zu einer verbesserten Nutzung von Boden-P führen (Leisen, 2013).

Dennoch resultiert bei Biobetrieben - wie eingangs schon erwähnt - zumeist ein geringer Phosphorentzug aus dem Bodenvorrat.

Aus aktuellen nationalen Studien sind ähnliche Bilanzergebnisse für (Bio-) Grünland zu entnehmen: eine Studie zu Nährstoffflüssen und Treibhausgasemissionen (Kasper *et al.*, 2012) untersuchte auch P-Bilanzen für Modellbetriebe in den österreichischen Hauptproduktionsgebieten. Für die Hauptproduktionsgebiete 1 und 2 („Hochalpen“ und „Voralpen“) resultierte für den betrachteten biologischen Grünland-Futterbaubetrieb ein Saldo von -5,3 kg P je ha und Jahr (Kasper, 2013; mündliche Mitteilung). Weißensteiner *et al.* (2013) zeigten zwischen -0,5 und -1 kg P je ha und Jahr für extensive Mutterkuhbetriebe und bis zu -7 kg P je ha und Jahr für extensive Bio-Milchkuhbetriebe. Intensive konventionelle Milchviehbetriebe wurden mit bis zu +8 kg P je ha und Jahr bei 7.000 kg Milch je Kuh und Jahr sowie 2 GVE je ha bewertet (Weißensteiner *et al.*, 2013). Freyer und Pericin (1993) stufen ein Saldo von ± 4,5 kg P je ha und Jahr als „ausgeglichen“ ein. Darunter gilt ein Saldo als „schwach defizitär“ (bis -13 kg P je ha und Jahr), darüber (bis +13 kg P je ha und Jahr) als „schwach überschüssig“.

Saldi unter -13 werden als „stark defizitär“ bezeichnet, über +13 als „stark überschüssig“. Dieser Einteilung zufolge sind die in den eigenen Berechnungen (Hörtenhuber *et al.*, 2013) gefundenen P-Saldi sowohl für Bio-Milchviehbetriebe als auch für Flächen konventioneller Betriebe im Mittel ausgeglichen. Die Ergebnisse der zwei anderen Studien für Bio-Milchviehbetriebe kamen dagegen, außer bei den intensiven Betrieben, vorwiegend im schwach defizitären Bereich zu liegen. Einzelbetriebliche

\* Biobetriebe

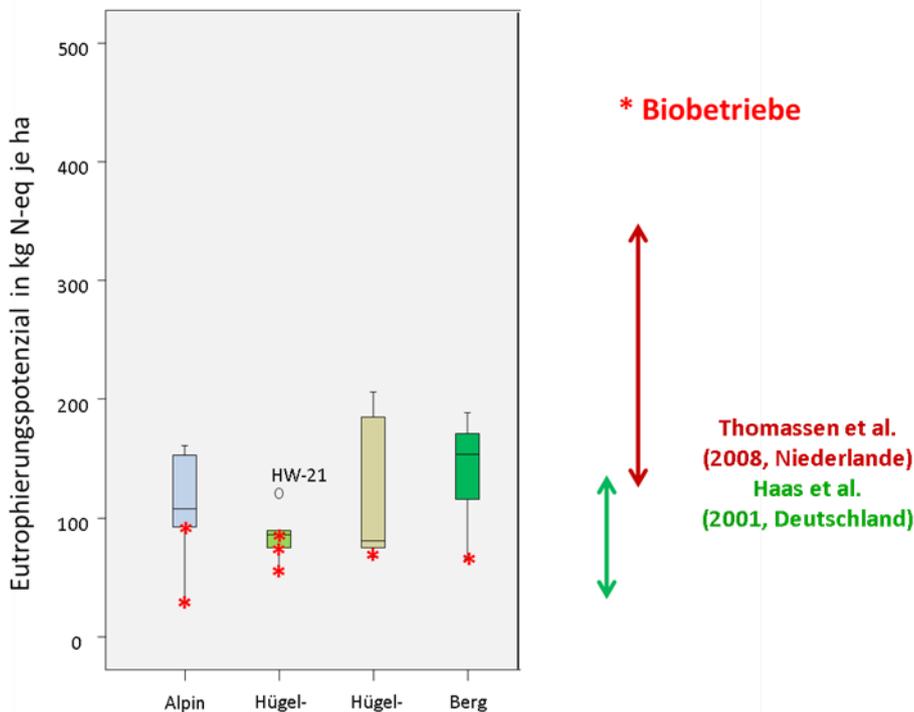


Abbildung 3: Eutrophierungspotenzial je ha gesamter Nutzfläche. Rote Sterne zeigen die Ergebnisse für die sieben Biobetriebe innerhalb aller 20 grünlanddominierten Betriebe (Hörtenhuber *et al.*, 2013)

Ergebnisse aus Hörtenhuber *et al.* (2013) zeigen für „Bio“ vorwiegend ausgeglichene P-Saldi (6 Betriebe; Ausnahme: ein schwach defizitärer Betrieb) und für konventionelle Betriebe sechsmal „ausgeglichen“, fünfmal „schwach überschüssig“ sowie zweimal „schwach defizitär“.

Hörtenhuber *et al.* (2013) identifizierten „ökologisch erfolgreiche“ Betriebe<sup>1</sup>, die als Grundlage für ihr gutes Abschneiden u.a. deutlich bessere Resultate hinsichtlich  $P_2O_5$ -Verbrauch und P-Saldi (tw. gleichermaßen für Stickstoff und Kalium) aufwiesen.

Eine statistische Auswertung zeigte hoch signifikante Korrelationen von geringen P-Bilanzsalden mit anderen Merkmalen und Indikatoren: mit der Wirtschaftsweise „Biologisch“, mit geringem Verbrauch von  $P_2O_5$  aus Lagerstätten, mit geringem Konzentratfutter-Zukauf sowie Konzentratfutter-Einsatz je kg erzeugter ECM und mit klimatisch und produktionstechnisch benachteiligten Regionen (Hörtenhuber, 2013).

Im folgenden Kapitel ist der Einfluss der unterschiedlichen P-Bilanzen auf Umweltwirkungen dargestellt.

### Eutrophierungspotenzial

Zusammen mit den hauptverantwortlichen Stickstoff (N)-Verlusten des Grünlands (siehe Hörtenhuber *et al.*, 2013) machen P-Verluste das Eutrophierungspotenzial aus. Hohe Mengen an P in Böden als Folge einer übermäßigen P-Versorgung, gehen durch Bodenerosion,

Abwaschung und Auswaschung (v.a. bei Drainagierung) potenziell an die Umwelt verloren.

Phosphorverluste verursachen vorwiegend eine Nährstoffanreicherung in Oberflächengewässern, während Stickstoffverluste in Form von Nitrat vor allem die Grundwasserqualität belasten. Aufgrund der in den Biobetrieben wegen niedrigerer Besatzdichte und geringerer externer Nährstoffzufuhr allgemein geringeren Befruchtung von Flächen mit Nährstoffen sind sowohl N- als auch P-Saldi geringer als bei konventioneller Bewirtschaftung. In Summe führt das zum signifikant geringeren Eutrophierungspotenzial für Bio-Grünlandbetriebe je ha Nutzfläche in *Abbildung 3*.

Dabei wurden in jedem der betrachteten vier Produktionssysteme die niedrigsten Ergebnisse

für Biobetriebe gefunden. Die farbigen Pfeile rechts der Boxplots (*Abbildung 3* und *4*) stellen den in der internationalen Literatur gefundenen Bereich für regional typische Produktionssysteme dar. Dabei zeigt sich allgemein eine gute Übereinstimmung (Details siehe in Hörtenhuber *et al.*, 2013).

Wird das Eutrophierungspotenzial je kg ECM betrachtet, so reduzieren sich aufgrund der geringeren Milchleistungen je Kuh und Jahr und der geringeren Besatzdichte die Vorteile aus dem flächenbezogenen Eutrophierungspotenzial deutlich (*Abbildung 4*). So verschiebt sich bspw. das Resultat eines Betriebs in „Hügelland-Weide“ sogar auf den schlechtesten Gruppenwert, während der Betrieb beim Bezug je ha Nutzfläche noch den mittleren Platz belegt hat.

### Effekte geringer P-Gehalte in Futtermitteln auf Milchkühe

Wie schon in Kapitel 1 angesprochen, lassen sich bei Biofuttermitteln häufig niedrige Phosphorgehalte feststellen (siehe u.a. Resch *et al.*, 2010). Jedoch berichtet Leisen (2013) auf der Basis fünfzehnjähriger Untersuchungen von für die Tiere ausreichender und konstanter P-Versorgung aus Bio-Klee-Gras- und Grünlandsilagen. Niedrigere Gehalte sind dabei entweder auf betriebliches P-Management oder auf Trockenheit zurückzuführen (Leisen, 2013).

<sup>1</sup> D.h. vorteilhaft hinsichtlich Zielerreichungsgrade für eine Mehrzahl von betrachteten Indikatoren der Ökobilanz. Dies lässt sich entweder durch ein gutes Abschneiden je Produkteinheit und mäßiges bis gutes Abschneiden je Flächeneinheit erreichen oder umgekehrt mit guten Resultaten je Flächen- und mäßiger bis guten Ergebnissen je Produkteinheit. Ein Drittel der Betriebe (11 von 31) wurde als „ökologisch erfolgreich“ identifiziert, davon vier Biobetriebe und sieben konventionelle Betriebe.

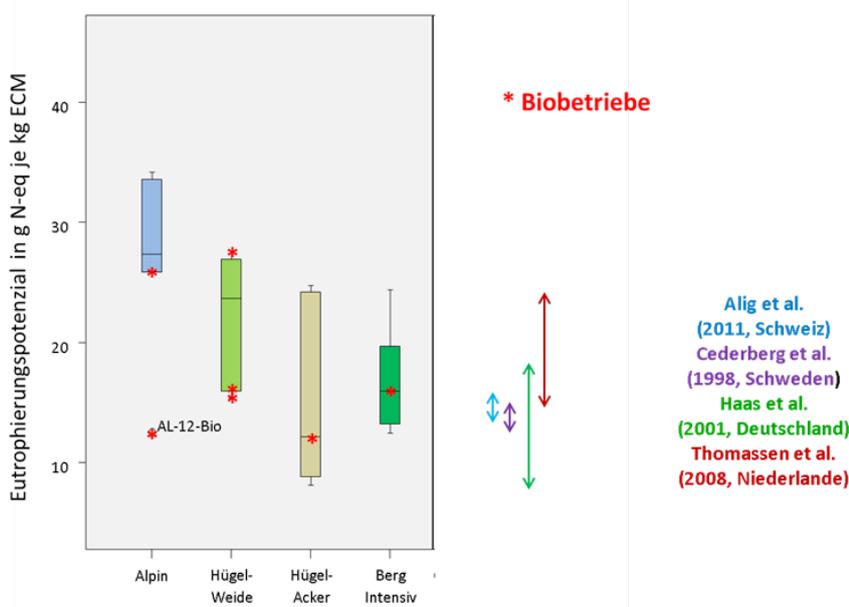


Abbildung 4: Eutrophierungspotenzial je kg energiekorrigierter Milch (ECM). Rote Sterne zeigen die Ergebnisse für die sieben Biobetriebe innerhalb aller 20 grünlanddominierten Betriebe (Hörtenhuber *et al.*, 2013)

Aus Praxis und Beratung wird des Öfteren ein Zusammenhang zwischen Erkrankungen der (meist frisch laktierenden) Milchkühe und einer Phosphor-Unterversorgung hergestellt. Die wissenschaftliche Literatur gibt dazu folgendes wieder: P-Mangel bei Milchkühen wird mit einer verminderten Futteraufnahme assoziiert (Goff, 2006). Der spezifische P-Bedarf der Pansenmikroben muss für funktionierende ruminale Fermentationsprozesse gedeckt sein (Karn, 2001), die wiederum auf die Futteraufnahme rückwirken. Es ist unklar, ob beschriebene P-Mangelsymptome wie Fruchtbarkeitsstörungen und Leistungsreduktion eine direkte Folge dieses Mangels sind, oder sekundär durch eine verminderte Futteraufnahme bedingt sind. Kirchgeßner (2011) verweist diesbezüglich eher auf die ungenügende Energie- und Proteinaufnahme bei geringen P-Gehalten im Futter. Aus verschiedenen Regionen der USA und Australiens wurden P-Mangelsituationen bei Rindern in Weidesystemen auf P-Mangelstandorten beschrieben. Mehrere wissenschaftliche Untersuchungen zeigten, dass eine P-Düngung auf diesen Standorten dazu führt, dass die Rinder das Futter auf den gedüngten Parzellen präferierten (Karn, 2001).

Alternativ zum Versuch der Anhebung der P-Gehalte im Grundfutter durch Düngung kann auch eine Ergänzung von Phosphor in Form von Mineralergänzungsfutter bei wachsenden Milchrindern und im Speziellen bei Milchkühen geringe P-Gehalte der Grundfuttermittel kompensieren, was üblicherweise auch in der biologischen Milchviehhaltung angewendet wird (siehe *Abbildung 1*). Das im Rind für physiologische Prozesse essentielle Element Phosphor gelangt - insofern es nicht in Milch oder Fleisch den Betriebskreislauf verlässt - mit dem Wirtschaftsdünger in den Boden.

Für den von Praktikern gelegentlich beschriebenen, direkten kausalen Zusammenhang zwischen einer Phosphor-Unterversorgung in der Trockenstehzeit und dem Auftreten von Hypocalcämie (Milchfieber) nach dem Abkalben fehlen eindeutige wissenschaftliche Belege, wenngleich diesbezüglich Interaktionen in Hinblick auf den Erfolg einer Intervention im Erkrankungsfall bestehen dürften (Ménard und Thompson, 2007). Durch zu niedrige Blut-Phosphorgehalte verursachtes Festliegen von Milchkühen, häufig als sekundäre Erkrankung nach einer Hypocalcämie, wird ebenfalls beschrieben (Goff, 2006). Eine genetische Disposition für Festliegen von Kühen nach geringer P-Versorgung (und zumeist einer Hypocalcämie) ist wahrscheinlich (Kirchgeßner, 2011).

Einer Übersichtsarbeit zu Optionen der Prophylaxe von Milchfieber (DeGaris und Lean, 2009) lässt sich jedoch entnehmen, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Hypocalcämien mit einem hohen P-Gehalt in der Ration ansteigt. Demnach sollte auf eine bedarfsdeckende Versorgung bei trockenstehenden Tieren geachtet werden (siehe auch Kirchgeßner, 2011), allerdings keine Überversorgung erfolgen. Eine hohe P-Versorgung in der Trockenstehzeit beeinträchtigt jedenfalls die Calcium-Homöostase. Dieses teilweise indifferente Bild unterstreicht die Bedeutung einer insgesamt ausgewogenen Versorgung mit Mineralstoffen, der eine Fokussierung auf ein einzelnes Element nicht gerecht wird.

Losand (2008) empfiehlt in der Praxis eine P-Supplementierung mit geeignetem Ergänzungsfutter nur nach P-Analysen des Grundfutters und Berechnungen für P-Gehalte des eingesetzten Konzentratfutters zu verabreichen. In Modellrechnungen zeigt sich, dass - besonders bei konzentratreicher Fütterung - die P-Versorgung üblicherweise auch ohne weitere Zusätze gesichert sein sollte; dies gilt trotz der als gering angenommenen P-Gesamtverwertung in aktuell gültigen P-Bedarfsempfehlungen (GfE, 2001) mit nur 70% und trotz grundsätzlich ausgeprägter Homöostase für die Versorgung der Kühe mit Phosphor (siehe Losand, 2008). In gleicher Weise zeigen eigene Modellrechnungen auf Basis der Deckung des Energie- und Proteinbedarfs für Bio-Milchkühe mit 6.000 und 8.000 kg ECM je Kuh und Jahr im Jahresmittel eine gegenüber den Bedarfsempfehlungen (GfE, 2001) ungefähr ausreichende P-Versorgung aus Grund- und Konzentratfuttermitteln. Für die P-Gehalte der Grundfuttermittel wurde stellvertretend der mehrjährige Durchschnittswert für Bio-Silage aus Resch *et al.* (2010) verwendet,

Tabelle 1: P-Versorgung aus zwei Bio-Beispielsrationen

kg Jahresmilchleistung (ECM)	6.000	8.000
kg Tagesgemelk je Durchschnittstag und Kuh	16,44	21,92
kg Grundfutter T pro Kuh und Tag (Silage)	11,80	13,45
kg Konzentratfutter T pro Kuh und Tag	3,06 <sup>a</sup>	3,93 <sup>b</sup>
Bedarf g P je kg Futter T (Gesamtration)	3,08	3,37
P-Lieferung je kg T aus Grund- und Konzentratfutter	3,04	3,42
mit Mineralstoffergänzung aufgewerteter P-Gehalt der Gesamtration je kg T	3,47	3,89

<sup>a</sup> zum Bedarfsausgleich stark energiebetonte Futtermittel, vorwiegend Getreide (Gerste, Weizen; dazu knapp 10% Grünflohobst sowie geringfügig Erbse/Ackerbohne/Rapskuchen)

<sup>b</sup> zum Bedarfsausgleich stark eiweißbetonte Futtermittel, ca. 58,5% Getreide (Gerste, Weizen), 12,5% Sojakuchen, 10,5% Rapskuchen, 8% Sonnenblumenkuchen, 5,5% Grünflohobst 5% Erbse/Ackerbohne. Die hohen Gehalte alternativer proteinreicher Konzentrate bewirken für die zweite Beispielsration eine gute P-Versorgung trotz des geringen Konzentratanteils an der Gesamtration

für Konzentratfuttermittel wurden Gehalte aus der Schweizer Futtermittel-Datenbank (Agroscope, 2013) einbezogen. Die unterstellte Ration wurde zudem mit der Software „Superration“ (Gsöls und Heidenbauer, 2003) überprüft. Bei geringer  $P_2O_5$ -Ergänzung (3% des Konzentratfutters als Mineralstoffergänzungsfutter mit durchschnittlich 7% P) zeigt sich noch Spielraum: im Falle geringerer P-Gehalte für biologische Konzentratfuttermittel oder einzelbetrieblich geringen P-Gehalten für biologische Grundfuttermittel könnte der P-Gehalt der Gesamtration noch um etwa 12% absinken, um ohne zusätzliche P-Ergänzungen dennoch den P-Bedarf zu decken (siehe Ergebnisse in Tabelle 1). Andererseits erscheint es günstig, hochleistende Kühe vor allem zu Beginn der Laktation, der durch einen sprunghaften Anstieg des Bedarfs an P und Calcium gekennzeichnet ist, hinsichtlich Mineralstoffen mit geeigneten Ergänzungsfuttermitteln über die potenziell kritische Phase zu begleiten.

## Schlussfolgerungen, Praxisempfehlungen und Ausblick

Entgegen verbreiteter Befürchtungen scheint aus unserer Sicht der aktuelle Status der Bio-Grünlandbetriebe hinsichtlich P-Versorgung nicht generell problematisch, sondern ist im Gegenteil auch mit potenziell positiven Konsequenzen in Richtung Nachhaltigkeit und Umweltschutz versehen. Es sind keine Probleme in Verbindung mit dem Phosphorkreislauf zu erwarten, sofern einige Punkte beachtet werden:

① Es sollte über die Fruchtfolge ein möglichst ausgeglichener P-Saldo ( $\pm 4,5$  kg P je ha) erreicht werden, so wie er auch für sechs von sieben analysierten Bio-Grünlandbetrieben (Hörtenhuber *et al.*, 2013) anzutreffen war. Günstig zur Erreichung einer hohen P-Effizienz wäre in der Praxis eine regelmäßige (z.B. jährliche) Berechnung von Hoftorbilanzen und ggf. von Schlagbilanzen für P, d.h. eine betriebs- bzw. flächenindividuelle Identifizierung des optimalen P-Managements unter Berücksichtigung von Bodenmerkmalen (pH, Humusgehalt, Bodenstruktur, etc.). Die Einstufung der Grünlandböden in Gehaltsklassen gemäß den derzeitigen „Richtlinien für die Sachgerechte Düngung“ (BMLFUW, 2006) - besonders nach der

$P_{CAL}$ -Methode - kann nur als ein sehr grobes Hilfsmittel für Düngempfehlungen betrachtet werden (Bohner, 2010). Ergänzend dazu sind die P-Gesamtgehalte des Bodens sowie Zeigerpflanzen zur Ermittlung eines Nährstoffbedarfs in der Grünlandpraxis wichtig.

② Für laktierende Kühe (und evtl. wachsende Rinder) sind keine Probleme bei geringeren P-Gehalten der Grünland-Futtermittel zu erwarten, sofern ein hoher P-Bedarf aufgrund hoher (Milch)-Leistung und/oder geringe Grundfutter-P-Gehalte über Mineralstoffergänzungsfutter in Abstimmung auf die P-Zufuhr durch Konzentratfuttermittel adäquat ausgeglichen werden. Eine Überprüfung des Bedarfs vor der Verfütterung der Mineralstoffzusätze erscheint schon aus ökonomischen Gründen als sinnvoll. Trockenstehende Kühe sollten bedarfsdeckend versorgt, aber nicht überversorgt werden.

③ Bei deutlich negativen P-Hoftorbilanzen kann bei zusätzlich geringen P-Gehalten in analysierten Futterproben und unter Berechnung des P-Bedarfs der Tiere - eine Düngung einzelner Schläge oder Kulturen sinnvoll sein. Hier sollten aber eventuell - sofern dies für die Versorgung mit anderen Nährstoffen (v.a. N) sinnvoll erscheint - zugekaufte Komposte, Wirtschaftsdünger etc. den zumeist Cadmium- und uranhaltigen und zudem schwer verfügbaren Rohphosphaten vorgezogen werden.

④ Für die Umwelt sind keine Probleme durch P-Eutrophierung zu erwarten, sofern keine (hohen) Überschüsse in angrenzende Ökosysteme ausgetragen werden (Grenzwert der P-Bilanzierung für „noch ausgeglichenen Saldo“  $+4,5$  kg P je ha und Jahr). Im Ackerbau sollte mit Maßnahmen wie bspw. ganzjähriger Begrünung durch Winterbegrünungen oder Untersaaten P-Verlusten (Bodenerosion und Abwaschung) gegengesteuert werden. Im Grünland schützen vielfältige Pflanzengesellschaften mit ausdifferenziertem Wurzelwerk und ein hoher (oberflächlicher) Pflanzenbedeckungsgrad vor allem in Hanglagen vor Erosion und folgendem P-Austrag.

⑤ Der Verbrauch von Ressourcen sollte reduziert bzw. optimiert werden und die Schließung des regionalen P-Kreislaufs vorangetrieben werden. Die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm-Produkten

wie aufgereinigten Klärschlammaschen wird aktuell - auch für „Bio“, jedoch teilweise mit ökologischen und systemaren Vorbehalten - verstärkt diskutiert. Es besteht aus Sicht der Nachhaltigkeit ein dringender Bedarf, Wege zur Substitution fossiler durch alternative P-Düngemittel und für die Schließung der P-Kreisläufe zwischen der Landwirtschaft und den Siedlungsgebieten zu finden.

Probleme in der Phosphor-Versorgung von Biogrünlandbetrieben (wie auch von Acker- und Gemischtbetrieben) zeigen oft gesamtbetriebliche Probleme auf, die mit einer punktuellen Maßnahme wie der P-Düngung nicht auf Dauer gelöst werden können. Punktueller Maßnahmen bewirken häufig Folgeprobleme (z.B. hinsichtlich anderer Nährstoffe, für Biodiversität oder Bodenfruchtbarkeit). Daher sind die Grundsätze der biologischen Landwirtschaft mit ihrer Fokussierung auf Bodenfruchtbarkeit, standortgerechte Bewirtschaftung und artgerechte Nutztierhaltung aktueller denn je.

## Literatur

- AGES Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit; Hrsg., 2010: Status der Bodenqualität auf repräsentativen Acker- und Grünlandstandorten Oberösterreichs in Beziehung zu den ÖPUL-Maßnahmen, 38 S.
- Agroscope Hrsg., 2013: Futtermittelkatalog [online]. [http://www.feed-alp.admin.ch/fmkatalog/katalog/de/html/unit\\_einfuehrung.html](http://www.feed-alp.admin.ch/fmkatalog/katalog/de/html/unit_einfuehrung.html) (zuletzt aufgerufen: 2013-09-18)
- Baturin, G.N., Kochenov, A.V., 2001: Uranium in Phosphorites. *Lithology and Mineral Resources* 36 (4), 303-321.
- BFW Bundesamt für Wald; Hrsg., 2005: Zusammenspiel von Vegetation & Abfluss. In: M. Pirc (CIPRA), V. Gaube (Institut für Soziale Ökologie, Wien), W. Pfefferkorn (CIPRA); 2009: Naturschutz im Klimawandel. Ein Hintergrundbericht der CIPRA. COMPACT NR 03/2009. CIPRA International, 30 pp. Online: <http://proclimweb.scnat.ch/portal/ressources/1335.pdf> (zuletzt aufgerufen: 2013-09-18).
- BFW Bundesforschungszentrum für Wald, Hrsg., 2013: Zusammenspiel von Vegetation & Abfluss. Online: <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=5753> (zuletzt aufgerufen: 2013-09-18).
- BIO AUSTRIA, Hrsg., 2013: Produktionsrichtlinien Fassung September 2010, Revision 2013. 100 pp. Online: [http://www.bio-austria.at/content/download/28687/207257/file/RILI%20Jaenner\\_Revi.3\\_2013.pdf](http://www.bio-austria.at/content/download/28687/207257/file/RILI%20Jaenner_Revi.3_2013.pdf) (zuletzt aufgerufen: 2013-09-20).
- BMLFUW, 2006. Richtlinien für die sachgerechte Düngung. Hrsg.: Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, 6. Auflage, Wien, 80 S.
- BMLFUW Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft; Hrsg., 2010: Wassergüte in Österreich - Jahresbericht 2010. BMLFUW in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt. 214 pp. Online: <http://www.umweltbundesamt.at/jb2010> (zuletzt aufgerufen: 2013-09-20).
- Bohner, A., 2010: Zeigerpflanzen für die Beurteilung des Bodenzustandes im Wirtschaftsgrünland. In: Tagungsband 2. Umweltökologisches Symposium 2010, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, 111-120. ISBN: 978-3-902559-41-8.
- DeGaris, P.J., Lean, I.J., 2009: Milk fever in dairy cows: A review of pathophysiology and control principles. *The Veterinary Journal* 176, 58-69.
- Del Campillo, M.C., Van Der Zee, S.E.A.T.M., Torrent, J., 1999: Modelling long term phosphorus leaching and changes in phosphorus fertility in excessively fertilized acid sandy soils. *European Journal of Soil Science*, 50, 391-399.
- Dersch, G., Spiegel, H., Hösch, J., Haslmayr, H.-P., Baumgarten, A., Scheriau, S., Hölzl, F.X., Recheis-Kienesberger, J., 2013: Humusgehalt, Säuregrad und pflanzenverfügbare Phosphor- und Kaliumgehalte auf Acker- und Grünland in Oberösterreich: Aktueller Status auf Basis der Landesbodenuntersuchungsaktion 2009 in Abhängigkeit von Region, Betriebstyp (Tierhaltung und/oder Marktfruchtbetrieb), Bewirtschaftungsform (konventionell vs. biologisch) und weiterer ÖPUL-Maßnahmen sowie Ableitung von Entwicklungstrends seit Einführung des ÖPUL auf Basis von Bodendaten aus der Praxis von den Perioden 1991-1995 und 2008-2011 und der Bodenzustandsinventur ÖÖ 1993. Erstellt für das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft laut BMLFUW-LE.1.3.7/0014-II/5/2011. Wien, 128 S.
- Dienemann, C., Utermann, J., 2012: Uran in Boden und Wasser. *Umweltbundesamt (Deutschland). Texte 37/2012*. Dessau-Roßlau, Deutschland, 30 pp. Online: <http://www.uba.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4336.pdf> (zuletzt aufgerufen: 2013-09-20).
- Fließbach, A., Oberholzer, H.-R., Gunst, L., Mäder, P., 2007: Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture Ecosystems & Environment* 118, 273-284.
- Frede, G., Dabbert, S. Hrsg., 1999: Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft. Ecomed, 2. Aufl., Landsberg, Deutschland, 452 S.
- Freyer, B., Pericin, C., 1993: Methoden der Nährstoffbilanzierung und ihre Anwendung am Beispiel von drei Bio-Betrieben. *Landwirtschaft Schweiz* 6 (10), 611-614.
- GfE Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, Hrsg., 2001: Empfehlungen zu Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG-Verlag, Frankfurt/Main, Deutschland, 135 S.
- Goff, J.P., 2006: Macromineral physiology and application to the feeding of the dairy cow for prevention of milk fever and other periparturient mineral disorders. *Animal Feed Science and Technology*, 126(3-4), 237-257. doi: 10.1016/j.anifeeds.2005.08.005.
- Görlitz, H., 1985: Untersuchungen zur Nutzung des Phosphors aus organischen Düngern und seines Einflusses auf den Gehalt des Bodens an laktatlöslichem P. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 29/4, 211-216.
- Götz, B., Zethner, G., 1996: Regionale Stoffbilanzen in der Landwirtschaft - Der Nährstoffhaushalt im Hinblick auf seine Umweltwirkung am Beispiel des Einzugsgebietes Strem. *Umweltbundesamt (Hrsg.), Monographie 78*, Wien.
- Gsöls, F., Heidenbauer, G., LWK Steiermark, 2003: Milchrinder-Fütterungssoftware Superration, Programmierstand 19.12.2003.
- Gunther, F., 2005: A solution to the heap problem: the doubly balanced agriculture: integration with population. Online: <http://www.holon.se/folke/kurs/Distans/Ekofys/Recirk/Eng/balanced.shtml> (zuletzt aufgerufen: 2013-09-20).
- Heinzlmaier, F., Dersch, G., Baumgarten, A., Gerzabek, M.H., 2009: Entwicklung der Grundnährstoffgehalte in Böden Österreichs. *Die Bodenkultur* 60 (2), 17-27.
- Heinzlmaier, F., Freudenschuß, A., Gerzabek, M.H., 2008: Der Versorgungszustand österreichischer Böden mit Pflanzennährstoffen - Ergebnisse der österreichischen Bodenzustandsinventuren. *Die Bodenkultur* 59 (1-4), 45-55.
- Hörtenhuber, S., Kirner, L., Neumayr, C., Quendler, E., Strauss, A., Drapela, T., Zollitsch, W., 2013: Integrative Bewertung von Merkmalen der ökologischen, ökonomischen und sozial-ethischen Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Produktionssysteme am Beispiel von Milchproduktionssystemen („Nachhaltige Milch“). Endbericht Forschungsprojekt Nr. 100783 im Auftrag des BMLFUW, September 2013. In Bearbeitung.
- Huemer, C., Bohner, A., Liebhard, P., 2012: Einfluss der Bewirtschaftungsintensität auf den Phosphoreintrag in Acker und Grünlandböden. In: ALVA (Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen; 2012): Ernährung sichern - trotz begrenzter Ressourcen Tagungsberichte zur 67. ALVA-Tagung, Juni 2012, Lehr- und Forschungszentrum für Gartenbau, Schönbrunn. 189-191. ISSN 1606-612X. Online: [http://www.alva.at/images/Publicationen/Tagungsband/Tagungsband\\_2012.pdf](http://www.alva.at/images/Publicationen/Tagungsband/Tagungsband_2012.pdf) (zuletzt aufgerufen: 2013-09-20).
- Karn, J. F., 2001: Phosphorus nutrition of grazing cattle: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 89, 133-153.
- Kasper, M., Schmid, H., Freyer, B., Hülsbergen, K.-J., Amon, B., Friedel, J.K., 2012: HUMUS - Datengrundlagen für treibhausgasrelevante Emissionen und Senken in landwirtschaftlichen Betrieben und Regionen Österreichs. Abschlussbericht des KLI.EN-Projekts. Universität für Bodenkultur Wien. 41 S.
- Kasper, M., 2013: mündliche Mitteilung, 16.9.2013.

- Kirchgeßner, M., *et al.*, 2011: Tierernährung. 13. neu bearbeitete Auflage. DLG-Verlag, Frankfurt/Main, Deutschland, 648 pp. ISBN: 978-3-7690-0803-6.
- Kranzler, A., Surböck, A., Weissshaidinger, R., Baumgarten, A., Fischl, M., 2012: Einfluss der ÖPUL-Maßnahme „Biologische Wirtschaftsweise“ auf Parameter der Bodenfruchtbarkeit. Bericht im Auftrag des BM-LFUW. Wien, 10 S.
- Kummert, R., Stumm, W., 1989: Gewässer als Ökosysteme. Grundlagen des Gewässerschutzes. Teubner Verlag, 331 S.
- Leinweber, P., Meissner, R., Eckhardt, K.-U., Seeger, J., 1999: Management effects on forms of phosphorus in soil and leaching losses. *European Journal of Soil Science* 50, 413-424.
- Leisen, E., 2013: Veränderung von Mineralstoffgehalten in Böden und Pflanzen von Öko-Milchviehbetrieben in den letzten 15 Jahren. In: D. Neuhoff, C. Stumm, S. Ziegler, G. Rahmann, U. Hamm & U. Köpke (Hrsg.; 2013): Ideal und Wirklichkeit - Perspektiven Ökologischer Landwirtschaft. Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn, 5. - 8. März 2013. Verlag Dr. Köster, Berlin, 150-153 Online: [http://orgprints.org/21459/1/21459\\_Leisen.pdf](http://orgprints.org/21459/1/21459_Leisen.pdf) (zuletzt aufgerufen: 2013-09-19).
- Leithold, G., 2002: Ökologischer Landbau - umweltgerechte Lebensmittelproduktion und Ernährungssicherung. Tagungsbeitrag. Online: [http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2003/1283/pdf/Leithold-2002\\_VortragHST.pdf](http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2003/1283/pdf/Leithold-2002_VortragHST.pdf) (zuletzt aufgerufen: 2013-09-20).
- Lindenthal, T., 2000: Phosphorvorräte in Böden, betriebliche Phosphorbilanzen, und Phosphorversorgung im Biologischen Landbau - Ausgangspunkte für die Bewertung einer großflächigen Umstellung ausgewählter Bundesländer Österreichs auf Biologischen Landbau hinsichtlich des P-Haushaltes. Dissertation, Univ. f. Bodenkultur Wien. 290 S.
- Losand, B., 2008: Mineralstoffversorgung - wieviel ist sinnvoll? Vortrag zu 9. Dummerstorfer Seminar Futter und Fütterung, 3. Dezember 2008, Dummerstorfer Mühlenstuben. 29 pp. Online: [http://www.landwirtschaft-mv.de/cms2/LFA\\_prod/LFA/content/de/Fachinformationen/Tierproduktion/Futter\\_und\\_Fuetterung/9Seminar\\_Futter/Losand.pdf](http://www.landwirtschaft-mv.de/cms2/LFA_prod/LFA/content/de/Fachinformationen/Tierproduktion/Futter_und_Fuetterung/9Seminar_Futter/Losand.pdf) (zuletzt aufgerufen: 2013-09-20).
- Mäder, P., Fließbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., Niggli, U., 2002: Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. *Science* 296, 1694-1697.
- Ménard, L., Thompson, A., 2007: Milk fever and alert downer cows: does hypophosphatemia affect the treatment response? *The Canadian veterinary journal. La revue veterinaire canadienne* 48(5), 487-491.
- Mengel, K. (1991): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 7. überarbeitete Auflage, Gustav Fischer Verlag, Jena, 466 S.
- Niggli U, Schmid, O., Stolze, M., Sanders, J., Schader, C., Fließbach, A., Mäder, P., Klocke, P., Wyss, G., Balmer, O., Pfiffner, L., Wyss, E., 2009: Gesellschaftliche Leistungen der biologischen Landwirtschaft. Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, Frick, Schweiz. 35 pp. Online: <http://orgprints.org/15397/2/niggli-et-al-2009-gesellschaftlicheleistungen.pdf> (zuletzt aufgerufen: 2013-09-20).
- Oberson, A., Besson, J.M., Maire, N., Sticher, H., 1996: Microbiological processes in soil organic phosphorus transformations in conventional and biological cropping systems. *Biol. Fert. Soils* 21, 138-148.
- Resch, R., Wiedner, G., Tiefenthaler, F., Wurm, K., Stromberger, W., Frank, P., Meusburger, C., 2010: Abschlussbericht Silageprojekt. Qualitätsbewertung von österreichischen Grassilagen und Silomais aus Praxisbetrieben. Wissenschaftliche Tätigkeit Nr. 3561 (100535). Lehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning. 87 pp. Online: [https://www.dafne.at/prod/dafne\\_plus\\_common/attachment\\_download/642258a284a998db9b801de08cc3d2eb/Abschlussbericht\\_Silageprojekt-2009.pdf](https://www.dafne.at/prod/dafne_plus_common/attachment_download/642258a284a998db9b801de08cc3d2eb/Abschlussbericht_Silageprojekt-2009.pdf) (zuletzt aufgerufen: 2013-09-20).
- Scheffer, F., Schachtschabel, P., 2010: Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage, Enke Verlag, Stuttgart.
- Scholz, R., Ulrich, A., Eilittä, M., Roy, A. 2013: Sustainable use of phosphorus: A finite resource. *Science of the Total Environment* 461-462, 799-803.
- Sharpley, A.N., 1985: Phosphorus Cycling in Unfertilized and Fertilized Agricultural Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49, 905-911.
- Smil, V., 2000: Phosphorus in the environment: natural flows and human interferences. *Annual Review of Energy and the Environment* 25, 53-88.
- Steen, I., 1998: Phosphorus availability in the 21<sup>st</sup> Century: management of a non-renewable resource. *Phosphorus and Potassium* 217, 25-31.
- Steffens, D., Leppin, T., Luschin-Ebengreuth, N., Zhi Min Yang, Schubert, S., 2010: Organic soil phosphorus considerably contributes to plant nutrition but is neglected by routine soil-testing methods. *J. Plant Nutr. Soil Sci* 173, 765-771.
- Steffens, D., Stamm, R., Yan, F., Leithold, G., Schubert, S., 2005: Rohphosphatmobilisierung von Sommerweizen, Weißer Lupine und Ackerbohne in der Fruchtfolge. In: J. Heß, G. Rahmann (Hrsg.; 2005): Ende der Nische. Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. März 2005, Kassel, Deutschland. Universitätsverlag kassel university press, 684 pp, ISBN 3-89958-115-6. 213-216.
- Tiessen, H., Stewart, J.W.B., Moir, J.O., 1983: Changes in organic and inorganic phosphorus composition of two grassland soils and their particle size fractions during 60 - 90 years of cultivation, *Journal of Soil Science* 34, 815-823.
- Tunney H., Csatho, P., Ehlert, P., 2003: Approaches to calculating P balance at the field-scale in Europe. *Journal of Plant Nutrients and Soil Science* 166, 438-446.
- Wang, H., Wang, H., 2009: Mitigation of lake eutrophication: Loosen nitrogen control and focus on phosphorus abatement. *Progress in Natural Science* 19(10): 1445-1451.
- Wassen, M.J., Venterink, H.O., Lapshina, E.D., Tanneberger, F., 2005: Endangered plants persist under phosphorus limitation. *Nature* 437 (7058), 547-550. Online: [http://igitur-archive.library.uu.nl/milieu/2006-0801-204757/Wassen\\_nature03950.pdf](http://igitur-archive.library.uu.nl/milieu/2006-0801-204757/Wassen_nature03950.pdf) (zuletzt aufgerufen: 2013-09-20).
- Weißensteiner, C., Bohner, A., Friedel, J.K., 2013: Phosphor in österreichischen Grünlandböden. In: ALVA (Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen; 2013): Pflanzenschutz als Beitrag zur Ernährungssicherung. Tagungsberichte zur 68. ALVA-Tagung, Mai 2013, Lehr- und Forschungszentrum für Wein- und Obstbau, Klosterneuburg. 189-191. ISSN 1606-612X. Online: [http://www.alva.at/images/Publikationen/Tagungsband/tagungsband\\_2013\\_fr%20homepage.pdf](http://www.alva.at/images/Publikationen/Tagungsband/tagungsband_2013_fr%20homepage.pdf) (zuletzt aufgerufen: 2013-09-20).

## Phosphor-Recycling aus technischer, ökologischer und ökonomischer Sicht

Matthias Zessner<sup>1\*</sup>, Lukas Egle<sup>1</sup> und Helmut Rechberger<sup>1</sup>

### Herausforderungen

Angesichts der dominanten Rolle phosphorhaltiger Mineraldünger am globalen Gesamtphosphorangebot (80-90% des abgebauten Erzes wird für die Düngemittelproduktion eingesetzt) ist es offensichtlich, dass die zukünftige P-Nachfrage vor allem durch die Entwicklungen im Bereich der Landwirtschaft geprägt sein wird. Die weltweite Entwicklung der Landwirtschaft wiederum wird getrieben, einerseits durch das prognostizierte Bevölkerungswachstum und andererseits durch Veränderung der Ernährungsgewohnheiten infolge der stetigen Verbesserung des Lebensstandards in Schwellenländern und Entwicklungsländern. Folglich wird der weltweite P-Bedarf in der Landwirtschaft steigen. Allerdings steht der prognostizierten steigenden Nachfrage eine erschöpfliche Ressource gegenüber. Neben der Endlichkeit der Ressource haben folgende Faktoren Einfluss auf die Versorgungssicherheit und schlussendlich die Preisentwicklung:

- Ungleiche Verteilung der Lagerstätten (5 Länder besitzen über 90% der derzeit wirtschaftlich abbaubaren Lagerstätten; USGS, 2012)
- Abnahme der Lagerstättenqualität (Abnahme P-Konzentration und verstärktes Auftreten von Elementen mit potentieller Gesundheitsgefährdung, z.B. U, Cd ; Van Kauwenbergh, 2002)
- Verfügbarkeit und Preis von Schwefelsäure und Energie
- Spekulation an Rohstoffbörsen
- (Straf-) Zölle am Beispiel China 2008
- Transportkosten
- Gesamtwirtschaftliche Entwicklung

Mit ihrer wirtschaftlichen Vormachtstellung, oftmals durch Ausbeutung ärmerer Länder erreicht, tragen Industrieländer Verantwortung gegenüber Entwicklungsländern. Im Fall einer möglichen Verknappung und Preissteigerung ist es den reichen Ländern vorbehalten, die teuren Dünger einzukaufen. Reiche Länder könnten dieser Tendenz entgegensteuern und mit deren Wohlstand auch technische aufwändigere Verfahren entwickeln und Phosphor aus potentiellen eigenen Sekundär-Ressourcen zu Düngemitteln

gewinnen. Folglich sinken die Nachfrage aus den Industrieländern und damit auch der Preis auf den Weltmärkten. Phosphor steht damit anderen, weniger entwickelten Ländern zu „erschwinglichen“ Preisen zur Verfügung.

### P-Potential im kommunalen Abwasser

Zahlreiche Untersuchungen zum urbanen Phosphorhalt verweisen auf das große, jedoch oftmals ungenutzte P-Potential im Abwasser und in den verschiedenen Stoffströmen einer Kläranlage (Schlammwasser, Klärschlamm). Beispielhaft besitzt der in Österreich anfallende kommunale Klärschlamm ein theoretisches Substitutionspotential von rund 40% bezogen auf die derzeit importierte P-Mineraldüngermenge (Egle *et al.*, 2011). Eine naheliegende Möglichkeit der Nutzung der abwasserseitigen P-Ressource wäre eine direkte Verwertung anfallenden Klärschlammes. Allerdings findet dieser Verwertungsweg aufgrund möglicher Umweltrisiken vielfach keine Akzeptanz. Zudem können auf großen Kläranlagen die hohen Anforderungen an die Entsorgungssicherheit nicht wirtschaftlich erfüllt werden. Neben dem kommunalen Klärschlamm weisen auch die Produkte der Tierkörperverwertung ein relevantes Potential für Phosphorrecycling auf, welches zurzeit kaum genutzt wird.

### P-Rückgewinnungsverfahren aus dem Abwasser

In den letzten Jahren wurden verschiedenste Technologien entwickelt und teilweise bereits großtechnisch umgesetzt, um zum einen Phosphor in hohem Ausmaß aus dem Klärschlamm zurückzugewinnen und zum anderen ein Endprodukt mit reduzierten Umweltrisiken zu erzeugen. Aufgrund der verschiedenen möglichen Stoffströme, aus denen eine Rückgewinnung erfolgen kann, werden unterschiedlichste Ansätze gewählt, um Phosphor aus der wässrigen Phase (siehe *Abbildung 1*, Stufe 1 und 2), dem Klärschlamm (Stufe 3-6) oder der Asche nach einer Verbrennung (Stufe 7) zu gewinnen. Für viele dieser Verfahren gilt jedoch, dass eine vergleichende Bewertung bisher nicht vorhanden war. Für den Gesetzgeber ist es somit nicht einfach,

<sup>1</sup> Vienna University of Technology, Institute for Water Quality, Resources and Waste Management, Karlsplatz 13/226, A-1040 WIEN

\* Ansprechpartner: Ao. Univ.-Prof. Dr. Matthias ZESSNER, mzessner@iwag.tuwien.ac.at

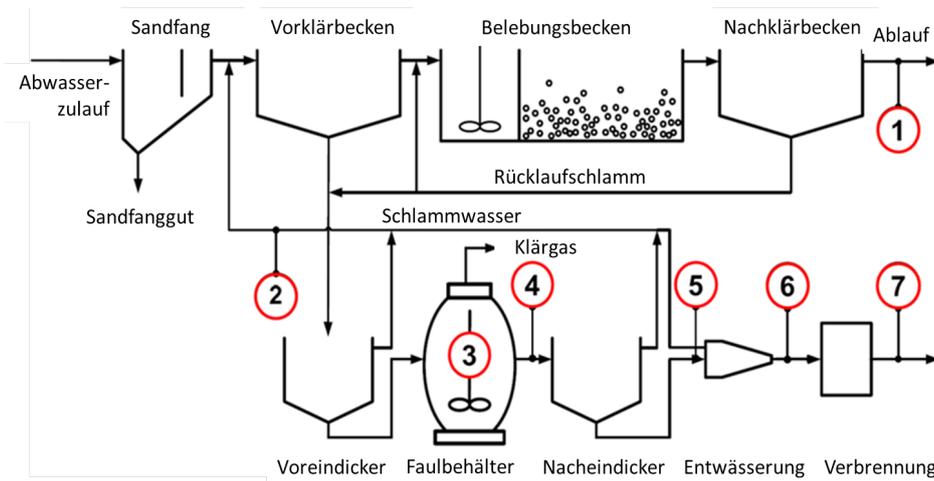


Abbildung 1: Ansätze zur P-Rückgewinnung in kommunalen Kläranlagen, nach Montag (2008)

fundierte Vorgaben für den zukünftigen Umgang mit abwasserbürtigem Phosphor zu erarbeiten, da nicht immer klar ist, welche Technologien mit welcher Leistungsfähigkeit hinsichtlich P-Wiedergewinnung, Schadstoffentfrachtung und/oder -zerstörung oder auch Energieausbeute zur Verfügung stehen und wie die gesicherte Entsorgung möglicher anfallender Reststoffe erfolgen soll.

Dieser Beitrag zeigt Ergebnisse eines Forschungsvorhabens dessen Aufgabe es war, eine Methodik zur ganzheitlichen vergleichenden Bewertung von Rückgewinnungsverfahren mit unterschiedlichen Ansatzpunkten auf einer Kläranlage (Ablauf, Schlammwasser, Klärschlamm) oder nach einer weitergehenden Klärschlammbehandlung (z.B. Klärschlammmasche) zu entwickeln und für eine Reihe von Verfahren anzuwenden. Eine Vermeidung des Eintrages von Phosphor in das Abwasser durch Urinseparation oder getrennte Sammlung der Fäkalien wird im Rahmen dieser Untersuchung nicht mitbetrachtet. Auch eine direkte Verwertung von Klärschlamm oder Klärschlammkomposten wurde nicht betrachtet.

## Methodik

Wie bereits beschrieben ist das Ziel eine ganzheitliche vergleichende Bewertung von Rückgewinnungsverfahren mit unterschiedlichen Ansatzpunkten auf einer Kläranlage (Ablauf, Schlammwasser, Klärschlamm) oder nach einer weitergehenden Klärschlammbehandlung (z.B. Klärschlammmasche). Die potentiellen Stoffströme für eine Rückgewinnung unterscheiden sich deutlich hinsichtlich ihrer Charakteristik. Abhängig davon werden verschiedenste technologische Ansätze mit unterschiedlichster Komplexität und daraus resultierendem Ressourcenbedarf wie z.B. Chemikalien oder Energie angewendet. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass diese Ansätze direkt den Abwasserreinigungsprozess oder weiterführende Prozessschritte beeinflussen können, aber auch neue Stoffströme erzeugen (z.B. Abfallstoffe), die

einer weiteren Behandlung zugeführt werden müssen. Dies erfordert neben der gesonderten Bewertung der einzelnen Verfahren eine Bewertung über die gesamte Prozesskette, beginnend bei der Abwasserreinigung, über die Behandlung des Klärschlammes und die Behandlung anfallender Reststoffe bis hin zur finalen Entsorgung von Abfallströmen und einer Verwertung der Sekundärrohstoffe. Die Bewertung der Verfahren kann in die Teilbereiche Technologie, Ökologie

und Ökonomie untergliedern werden. Diese Teilbereiche sind jedoch nicht als getrennte Bewertungspunkte zu betrachten sondern ergänzen sich vielfältig.

## Bewertung Technologie

Bei der Bewertung der Technologie geht es vorerst um ein Verständnis der technischen Grundlagen der ausgewählten Rückgewinnungsverfahren und die Kenntnis deren Funktionsweisen. Weiters geht es um eine allgemeine Klassifizierung nach dem Einsatzort, dem Verfahrensprinzip, dem verwendeten Phosphorfluss und der technischen Beherrschbarkeit. Dabei wird berücksichtigt wie weit das jeweilige Verfahren im seinem Entwicklungsstand ist und welche bisherigen Umsetzungen im Labor-, Pilot- oder großtechnischen Maßstab bekannt sind. Das technische Verständnis der unterschiedlichen Verfahren bildet zudem die Grundlage zur Ableitung der notwendigen Stoffflussmodelle für anschließende Stoffflussanalysen, sowie Güter- und Energiebilanzen.

## Bewertung Ökologie

**Stoffflussanalyse:** Über eine Stoffflussanalyse wird für den Nährstoff P sowie ausgewählte Schwermetalle und organische Spurenstoffe, die in den Abwasserreinigungsprozess eingetragen werden, gezeigt, über welche Pfade sie das betrachtete System verlassen und in welches Umweltmedium sie letztendlich gelangen (Wasser, Luft, Deponie oder Produkt für Verwertung). Damit können zum einen die potentiellen Rückgewinnungsquoten für Phosphor und zum anderen die Stoffpfade von potentiellen Schadstoffen (u.a. direkte Emissionen) und damit auch die Entfrachtungsleistung einer Technologie erhoben werden.

**Indirekte Emissionen:** Durch Kombination einer Darstellung der für ein Verfahren erforderlichen Betriebsmittel (Sachbilanz) mit der GEMIS- (GEMIS, 2011) bzw. ProBas-Datenbank (ProBas, 2011) werden die indirekten Emissionen erfasst. GEMIS (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme) und ProBas

(Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement Instrumente) berechnen für alle Prozesse sogenannte Lebenszyklen, d.h. sie berücksichtigen von der Primärenergie- bzw. Rohstoffgewinnung bis zur Nutzenergie bzw. Stoffbereitstellung alle wesentlichen Schritte und beziehen auch den Hilfsenergie- und Materialaufwand zur Herstellung von Energieanlagen und Transportsystemen mit ein. Ergebnis ist eine Darstellung von gasförmigen Emissionen ( $\text{CO}_2$ -Äquiv.,  $\text{SO}_2$ -Äquiv., Schwermetalle) bzw. Gewässeremissionen (Schwermetalle) im Zuge der gesamten Prozesskette bei der Implementierung eines P-Rückgewinnungsverfahrens von Produktion der Hilfsmittel bis zur Entsorgung aller Reststoffe, wie ablagerungsfähiger Klärschlammmasche, Filterkuchen und Abwasser.

**Kumulierter Energieaufwand (KEA):** Im Zuge einer Energieflussanalyse werden die für die Prozessführung notwendigen externen Energieressourcen (Strom, Wärme, Treibstoff, Gas) erfasst und das in einem Strom enthaltene theoretische Energiepotential (z.B. Klärschlamm) bestimmt. Extern zugeführte Energiequellen sind als Hilfsmittel anzusehen und sind Teil der Sachbilanz zur Erhebung der indirekten Emissionen. Der Einsatz von Betriebsmittel enthält einen energetischen Rucksack, welcher mit Hilfe der GEMIS- (GEMIS, 2011) bzw. ProBas-Datenbank (ProBas, 2011) erhoben werden kann. Direkter Energiebedarf und Energie-rucksack der Betriebsmittel ergeben zusammen den KEA. Einzelne Verfahren, u.a. Klärschlammverbrennung, ermöglichen neben der Rückgewinnung des Phosphors auch die Nutzung des Energieinhaltes der Stoffströme. Die Nutzung des energetischen Potentials wird, so wie der gewonnen und in der Landwirtschaft einsetzbare P-Dünger bei der ökologischen Bewertung als Gutschrift berücksichtigt.

**Bewertung der Sekundärdünger:** Die Charakterisierung und Bewertung der Endprodukte als wichtiger Teil der ökologischen Technologiebewertung erfolgt auf Basis der Nährstoffgehalte und deren Pflanzenverfügbarkeit, dem Gehalt an anorganischen- und organischen Verunreinigungen, deren monetärem Wert sowie deren Eignung zum direkten Einsatz in der Landwirtschaft. Um die verschiedenen Endprodukte miteinander vergleichen zu können, wird zum einen der Schwermetallgehalt auf den wertgebenden P-Gehalt bezogen und zum anderen die Methodik des Schadeinheitenmodells (Brans, 2005) bzw. der eigens entwickelte Referenzbodenansatz angewandt.

### Bewertung Ökonomie

Ein ausschlaggebender Faktor für eine zukünftige aussichtsreiche Umsetzung von P-Rückgewinnungsverfahren werden die Kosten sein. Deshalb werden die ausgewählten Verfahren hinsichtlich ihrer Kosten detailliert analysiert. Zusätzlich zu den gängigen Berechnung der Jahreskosten werden Berechnungen für Kläranlagen mit unterschiedlicher Belastung (100.000-

1.000.000 EW), Sensitivitätsberechnung unter der Annahme verschiedener Szenarien der Preisentwicklung (z.B. veränderliche Säurepreis) und Kapitalwertrechnungen zur Darstellung etwaiger Amortisationen durchgeführt. Ein wesentlicher Punkt ist auch die Berücksichtigung von Einsparungen und Erlösen, die direkt auf den Einsatz von Rückgewinnungsverfahren zurückzuführen sind. Dazu zählen:

- Verringerte Nährstoffrückbelastung auf der Kläranlage
- Verbesserte Energieausbeute
- Erlöse aus dem Verkauf der erzeugten Sekundärdünger (Berechnung des tatsächlichen Wertes eines Endproduktes auf Basis der Nährstoffgehalte und den Marktwerten der Nährstoffe)
- Erlöse aus der Annahme von Reststoffen (z.B. Asche)

### Ergebnisse

Im Wesentlichen setzen Rückgewinnungsverfahren von Phosphor im Rahmen der Abwasserreinigung an drei unterschiedlichen Medien an: In der wässrigen Phase (Ablauf oder Rückläufe aus der Schlammbehandlung, siehe *Abbildung 1*, Stufe 1 und 2); beim Klärschlamm (*Abbildung 1*, Stufe 3-6) selbst oder in der Klärschlammmasche (*Abbildung 1*, Stufe 7). Für jedes dieser Medien gibt es eine Vielzahl von Verfahren mit unterschiedlichen Herangehensweisen und Verfahrensschritten. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen wurden insgesamt 18 Verfahren im Detail untersucht. Davon setzen 5 in der wässrigen, 6 beim Klärschlamm und 7 bei der Klärschlammmasche an. Im Folgenden werden die Verfahrensgruppen diskutiert ohne dabei auf alle einzelnen Verfahren im Detail einzugehen.

Unter den Verfahren zur P-Rückgewinnung aus den Rückläufen der Schlammbehandlung werden einige bereits großtechnisch umgesetzt und erfolgreich angewandt. Es können direkt für den Einsatz in der Landwirtschaft geeignete Sekundärrohstoffdünger erzeugt werden, welche eine hohe Reinheit (in Bezug auf Schwermetalle, organischen Spurenstoffe und hygienisch relevante Keimbelastungen) aufweisen. Produkte auf MAP-Basis weisen zudem eine gute Pflanzenverfügbarkeit auf. Der Ressourcenaufwand für diese Verfahren hält sich zumeist in Grenzen (Fällmittel). Ab einer Anlagengröße von 200.000 EW ist in günstigen Fällen auch eine Amortisation der erforderlichen Investitionen über den Verkauf der Sekundärrohstoffdünger möglich (z.B. Ostaro® oder P-RoC). Dabei ist für Österreich zu Bedenken, dass lediglich 10 kommunale Kläranlagen eine mittlere Belastung von >150.000 EW haben. Zudem ist es für diese Verfahren Voraussetzung, dass eine Phosphorentfernung weitgehend auf einer biologischen Phosphorelimination ohne Fällmittelzugabe basiert. Dies ist in Österreich derzeit zumeist nicht der Fall.

Das P-Rückgewinnungspotential dieser Verfahren ist begrenzt und beträgt in der Regel <25% bezogen auf die Phosphorfracht im Kläranlagenzulauf. Als Basis für ein weitgehendes P-Recycling des abwasserbürtigen Phosphors sind diese Verfahren daher nicht geeignet. Sehr wohl können Sie jedoch unter günstigen Rahmenbedingungen für Betreiber von größeren Kläranlagen auch aufgrund betrieblicher Vorteile (Vermeidung von MAP-Ablagerungen in Leitungen und Behältern) interessant sein.

Verfahren, welche zu einer P-Rückgewinnung beim Klärschlamm ansetzen, verwenden die unterschiedlichsten Technologien. Bei den nasschemischen Verfahren (z.B. Stuttgarter Verfahren oder Seaborne® Verfahren) kann auf MAP-Basis ein reines, gut pflanzenverfügbares Produkt erzeugt werden. Allerdings ist die P-Ausbeute (<50% bezogen auf den Kläranlagenzulauf) in Relation zu dem technologischen und ressourcenmäßigen Aufwand eher gering. Dies führt dazu, dass die Zusatzkosten für Implementierung und Betrieb dieser Verfahren auf einer Kläranlage bezogen auf den rückgewonnen Phosphor zumeist ungünstig sind (9-16 €/kg P) und deutlich über dem Rohstoffpreis für Phosphordünger (2-3 €/kg P) liegen. Nassoxidative Verfahren wie z.B. das AquaReci® Verfahren, sind technologisch schwer beherrschbar, entsprechende Untersuchungen wurden daher eingestellt. Der Forschungsstand für metallurgische Verfahren wie z.B. das Mephrec® Verfahren ist zurzeit noch nicht weit entwickelt. In Hinblick auf P-Ausbeute (bis 70% bezogen auf den Kläranlagenzulauf), Ressourcenbedarf und Kosten könnten diese Verfahren günstiger sein als die nass-chemischen Verfahren. Der Verbleib von Schwermetallen ist derzeit nicht gänzlich geklärt, die Pflanzenverfügbarkeit auf sauren Böden scheint schlecht. Hier dürfte jedoch noch Entwicklungspotential liegen, aber es ist auch noch Forschungsbedarf gegeben.

Rückgewinnungsverfahren, die an der Klärschlammmasche einer Monoverbrennung ansetzen, haben das höchste P-Recyclingpotential (60-90% bezogen auf den Kläranlagenzulauf). Zudem kann durch die Verbrennung von einer weitestgehenden Zerstörung pathogener Keime und organischer Spurenstoffe ausgegangen werden. Aufbereitungsverfahren haben die Aufgabe Schwermetalle im Düngeprodukt abzureichern und/oder die Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors zu erhöhen. Bei nasschemischen Verfahren wie dem Pasch-Verfahren, welches ein weitgehend schwermetallfreies Endprodukt produziert, ist die P Ausbeute vergleichsweise gering (60-70% bezogen auf den Kläranlagenzulauf), der erforderliche Ressourcenaufwand vergleichsweise hoch und die erforderlichen Zusatzkosten (6-10 €/kg P) liegen damit deutlich über dem Preis für P-Dünger. Andere Verfahren wie das AshDec® Verfahren weisen eine höhere P Ausbeute, einen geringeren Ressourcenaufwand und geringere

Kosten (2-6 €/kg P) auf, die sich bereits an die Preise für P-Dünger annähern, dagegen aber steigt die Schermetallbelastung im Sekundärrohstoffdünger an. Die Pflanzenverfügbarkeit der Produkte dieser Verfahren ist begrenzt und ungünstiger als jene einer MAP-Fällung. Neben Verfahren zur Schwermetallanreicherung stehen auch Verfahren zur Verfügung, die lediglich eine Verbesserung der Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors der Klärschlammmasche zum Ziel haben (z.B. RecoPhos®). Auch ein direkter Einsatz der Klärschlammmasche in der Düngemittelindustrie als Ausgangsprodukt eines Schwefelsäureaufschlusses ist denkbar. Die Zusatzkosten, die für eine Implementierung dieser Verfahren erforderlich sind (z.B. Monoverbrennung statt Mitverbrennung, Verfahrenskosten) liegen im Bereich des P-Düngemittelpreis, allerdings wird hier auf eine Schwermetallentfrachtung verzichtet und die gesamte in der Klärschlammmasche enthaltene Schwermetallfracht verbleibt in den Düngeprodukten und wird nach Vermischung mit anderen P-haltigen Düngern in der Landwirtschaft aufgebracht.

Insgesamt zeigt sich, dass die Verfahren zur P-Rückgewinnung aus der Klärschlammmasche als Basis für ein weitgehendes P-Recycling aus dem Abwasser die besten Voraussetzungen haben. Allerdings ist zur Umsetzung dieser Verfahren eine Klärschlammverbrennung ohne Vermischung mit P-armen Brennstoffen erforderlich (z.B. Monoverbrennung). Ein Vorteil einer entsprechenden Strategie wäre auch, dass eine Bindung an einen Kläranlagenstandort nicht gegeben ist und eine Umsetzung in großen Einheiten möglich wäre. Zudem würde sich eine gemeinsame Verbrennung und Aufbereitung mit den P-reichen Abfällen aus der Tierkörperverwertung anbieten.

Welcher der unterschiedlich möglichen Verfahrensvarianten der Vorzug zu geben ist, hängt von den Anforderungen an die Reinheit des Produktes und die Pflanzenverfügbarkeit ab. Eine grundlegende Frage dabei ist, welcher Gesamtfrachten an Schwermetallen, die über Recyclingprodukte auf die Böden gelangen, die Landwirtschaft längerfristig verträgt. Während Verfahren ohne oder mit geringer Abreicherung der Schwermetalle bereits heute ein gut pflanzenverfügbares Produkt bei Kosten im Bereich der herkömmlichen Handelsdünger bieten können, liegen zu Verfahren, die ein sehr reines Produkt liefern können, noch wenige großtechnische Erfahrungen vor und es ist mit Kosten deutlich über dem Handelspreis von Phosphor rechnen. Rein wirtschaftliche Überlegungen können daher zurzeit nicht als Motor für eine Implementierung dieser Verfahren sprechen und es wären zusätzliche Anreizsysteme oder rechtliche Vorgaben zu schaffen.

## Literatur

Brans, J., 2005: Das Schadeinheitenmodell zur Identifikation und Bewertung von Standorten mit schädlichen Bodenveränderungen am

- Beispiel Industriepark Höchst. Band 50 von Boden und Landschaft, Justus-Liebig-Universität 2008.
- Egle, L., Zessner, M., Rechberger, H., 2011: Phosphorbilanz Österreich. Grundlage für ein nachhaltiges Phosphormanagement - gegenwärtige Situation und zukünftige Entwicklung - 1. Zwischenbericht „Forschungsprojekt Phosphorrecycling aus dem Abwasser“, 288 S.
- GEMIS, 2011: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme. IINAS Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalyse und -strategien.
- Montag, D., 2008: Phosphorrückgewinnung bei der Abwasserreinigung - Entwicklung eines Verfahrens zur Integration in kommunalen Kläranlagen. Dissertation an der Fakultät für Bauingenieurwesen der Rheinischen-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.
- ProBas, 2011: Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement Instrumente. Umweltbundesamt und Ökoinstitut <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>.
- Reuvers, J., 2011: Aufbereitung von P aus natürlichen Lagerstätten. Braunschweiger Nährstofftage 2008. Vortrag im Rahmen des Symposiums „Ressourcen schonender Einsatz von Phosphor in der Landwirtschaft“. 10.-11. November 2008. Braunschweig.
- USGS, 2012: Geological Survey, Mineral commodity summaries 2012. U.S. Geological Survey.
- Van Kauwenbergh, S.J., 2002: Cadmium content of phosphate rocks and fertilizers. IFA Technical Conference. 24.9.-27.9.2002. Chennai, India. International Fertilizer Industry Association.

