Pflanzenbauwissenschaften, **10** (2). S. 60–65, 2006, ISSN 1431-8857. © Eugen Ulmer KG, Stuttgart

Phosphorgehalte und -bilanzen konventionell, integriert und biologisch bewirtschafteter Acker- und Grünlandflächen und Maßnahmen zum Phosphorabbau hoch versorgter Flächen

Phosphorus Budgets and Balances of Conventionally, Integrated and Organically Managed Arable and Pasture Soils and Possibilities to Reduce High Phosphorus Budgets

M. Quirin, C. Emmerling & D. Schröder
FB VI – Bodenkunde, Universität Trier

Zusammenfassung

In einer zweijährigen Untersuchung wurden die Phosphorgehalte und -bilanzen von insgesamt 404 Acker- und Grünlandschlägen unterschiedlicher Bewirtschaftungssysteme (konventionell, integriert und biologisch) ermittelt. Es sollte geprüft werden, inwieweit die Phosphorgehalte von den Bewirtschaftungssystemen abhängig sind, und in welchem Maße die Phosphorgehalte bei der Düngung berücksichtigt werden. Dabei wurden positive Salden in Kombination mit hohen Bodengehalten als problematisch eingestuft, da sie weder ertragssteigernd noch ressourcenschonend und umweltverträglich sind.

Bei den schlagbezogenen Phosphorsalden bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Bewirtschaftungssystemen, während die Phosphorgehalte der Acker- und Grünlandschläge bei biologischer Bewirtschaftung signifikant niedriger waren als bei konventioneller und integrierter Bewirtschaftung. Der Anteil an Schlägen mit positiven Phosphorsalden und hohen Phosphorgehalten war bei den integriert bewirtschaften Ackerschlägen mit 17% am höchsten. Bei den konventionell bewirtschafteten Acker- und Grünlandschlägen lag dieser Anteil bei jeweils 8%, während im biologischen Landbau kein Acker- oder Grünlandschlag positive Phosphorsalden und hohe Phosphorgehalte aufwies.

Hoch und sehr hoch mit Phosphor versorgte Flächen sollten auf Versorgungsstufe C abgereichert werden, indem sie nicht mehr mineralisch gedüngt und mit einem generellen Verbot für die Ausbringung von Sekundärrohstoffdüngern belegt werden. Die Zufuhr mit betriebseigenem Wirtschaftsdünger sollte auf diesen Flächen unterhalb der Abfuhr liegen, so dass diese Böden zumindest auf lange Sicht abgereichert werden.

Schlüsselworte: Phosphorgehalte, Phosphorbilanzen, konventionelle, integrierte, biologische Bewirtschaftung

Summary

In a 2-year study, phosphorus budgets and balances of 404 arable and pasture soils under conventional, integrated and organic management have been determined. We wanted to answer the question to which extent phosphorus budgets depend on the farming system. Positive phosphorus balances and high phosphorus budgets were classified environmentally undesirable since they do not increase yields, nor preserve phosphorus resources.

Regarding the P balances on field level, management systems did not differ significantly. P budgets of soils under organic farming turned out to be significantly lower than those under conventional and integrated farming. The percentage of fields with positive P balances and high P budgets was highest under integrated farming (17%). With conventionally managed arable and pasture soils this portion amounted to 8%, respectively. Under organic farming no fields with high P budgets and positive P balances were observed.

Soils with high P budgets ought to be depleted down to grade C by omitting any mineral P fertiliser applications and by prohibiting any application of secondary fertilisers. P inputs due to farmyard manures should not exceed P removal from these field, in order to achieve a P depletion at least in the long run.

Key words: Phosphorus budgets, phosphorus balances, conventional, integrated, organic management

Einleitung

Der erhöhte Eintrag von Stickstoff- und Phosphorverbindungen in die Oberflächengewässer führt zur Eutrophierung. Dabei stellt Phosphor in der Regel den limitierenden Nährstoff für das Algenwachstum in Fließgewässern und Seen dar, während Stickstoff in den Meeren der limitierende Nährstoff ist (Gerdes et al. 1998). Erhebliche Reduktionen der Phosphoremissionen wurden vor allem durch gezielte Maßnahmen in den kommunalen Kläranlagen und bei industriellen Abwassereinleitern erzielt. Dadurch stieg der relative Anteil der Phosphorbelastung der Gewässer durch die Landwirtschaft an. Er lag im Jahr 2000 bei 55% (Behrendt et. al. 2003). Dennoch wurden auch in der Landwirtschaft Erfolge bezüglich der Reduzierung von Phosphoreinträgen in die Gewässer erzielt. So ging der Phosphordüngemittelabsatz im gesamten Bundesgebiet, wie auch in Rheinland-Pfalz, in den letzten 25 Jahren um rund 50 kg P_2O_5 ha^{-1} zurück (Abb. 1). In der gleichen Größenordnung ging auch der Phosphorüberschuss der Landwirtschaft zurück, da dieser im Wesentlichen durch den Handelsdüngereinsatz beeinflusst wird (Bach & Frede 1998).

Vor allem im landwirtschaftlichen Bereich besteht jedoch noch weiterer Bedarf zur Reduzierung der Phosphor-

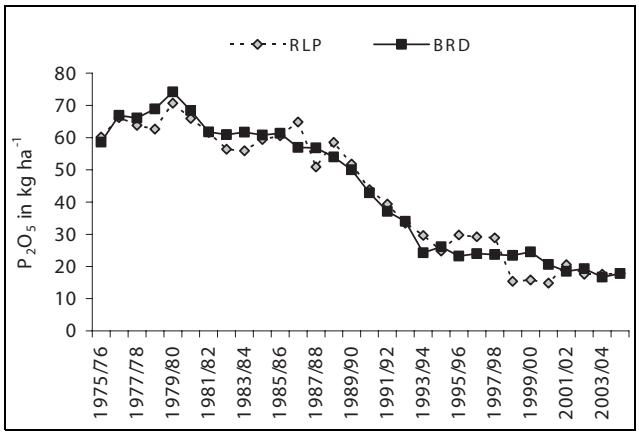

Abb. 1: Phosphordüngemittelabsatz in Rheinland-Pfalz (RLP) und der Bundesrepublik Deutschland (BRD) zwischen 1975/76 und 2004/05 in kg P_2O_5 ha^{-1} (eigene Berechnung nach Angaben des Statistischen Bundesamtes, Anonymus mehrere Jahrgänge a, Anonymus mehrere Jahrgänge b)
P-fertiliser sales in Rhineland-Palatinate (RLP) and in the Federal Republic of Germany (BRD) between 1975/76 and 2004/05 in kg P_2O_5 ha^{-1} (own calculations according to data of the federal bureau of statistics, Anonymus several annual sets a, Anonymus several annual sets b)

einträge in die Gewässer und zum Abbau sehr hoch mit Phosphor versorgter Böden, denn die Phosphorgehalte steigen in Gebieten mit hoher Viehbesatzdichte weiterhin an. Dies ergibt sich aus den hohen Bilanzüberschüssen in Regionen mit intensiver Tierhaltung, während die Flächenbilanzen reiner Ackerbaubetriebe derzeit im Mittel negativ sind (Frede 2003).

Neben der Phosphorbelastung der Gewässer ist ein geringerer Phosphoreinsatz auch deshalb von großer Bedeutung, weil es sich bei den Apatiten der Rohphosphat-Lagerstätten um eine nicht-erneuerbare, endliche Ressource handelt. Aus ihnen werden über 80% der phosphorhaltigen Mineraldünger hergestellt. Nach verschiedenen Schätzungen und unter Zugrundelegung verschiedener Szenarien werden die Rohphosphate weltweit nach 50 bis 130 Jahren aufgebraucht sein (Werner 1999).

Um zu prüfen, inwieweit die Phosphorgehalte von den Bewirtschaftungssystemen abhängig sind, und in welchem Maße die Phosphorgehalte bei der Düngung berücksichtigt werden, wurden schlagbezogene Phosphorbilanzen und Phosphorgehalte von insgesamt 404 Acker- und Grünlandschlägen unterschiedlicher Bewirtschaftungssysteme (konventionell, integriert und biologisch) im Raum Trier ermittelt. Dabei erfolgte die biologische Bewirtschaftung nach den „Rahmenrichtlinien für den ökologischen Landbau“ (Anonymus 2001) und die integrierte Bewirtschaftung nach den Richtlinien des integriert-kontrollierten Landbaus im Rahmen des rheinland-pfälzischen „Förderprogramms Umweltschonende Landbewirtschaftung“ (Anonymus 1993).

Eine Bewertung der schlagbezogenen Phosphorsalden erfolgte in Verbindung mit den Phosphorgehalten des Bodens. So sind positive Phosphorsalden bei niedrigen und sehr niedrigen Phosphorgehalten ebenso erwünscht wie negative Salden bei hohen und sehr hohen Bodengehalten. Negative Phosphorsalden bei sehr niedrigen Bodengehalten stellen aus Sicht des Umweltschutzes zwar kein Problem dar, jedoch könnte auf diesen Schlägen eine Ertragssteigerung durch positive Salden erreicht werden. Auf jeden Fall sollten hohe Salden bei hohen und sehr hohen Bodengehalten vermieden werden, da sie weder ertragssteigernd noch ressourcenschonend und umweltverträglich sind.

Tab. 1: Lage und Eigenschaften der Untersuchungsstandorte
Location and characteristics of the study sites

Naturräumliche Einheit	Höhenlage m NN	Geologie	Leitbodentypen	Ackerzahlen
Hunsrück	400 – 500	Unterdevonischer Tonschiefer	Ranker, Braunerden	23 - 52; 35 im Mittel
Eifel	340 – 400	Muschelkalk und Keuper	Rendzinen, Braunerden	29 - 75; 41 im Mittel
Moseltal	120 – 140	Sedimente der Niederterrasse	Auenböden	43 - 71; 58 im Mittel

Tab. 2: Phosphorsalden und -gehalte konventionell (KON), integriert (INT) und biologisch (BIO) bewirtschafteter Acker- und Grünlandschläge (Median und Standardabweichung). Ungleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Systemen; Mann-Whitney-U-Test, $p < 0,05$
Phosphorus balances and budgets of conventionally (KON), integrated (INT) and organically (BIO) managed arable and pasture fields (median and standard deviation). Different letters indicate significant differences between management systems; Mann-Whitney-U-test, $p < 0.05$

	Acker [1]		Grünland [2]	
	P-Gehalt mg P_2O_5 100 g^{-1} TS	P-Saldo kg P_2O_5 ha^{-1}	P-Gehalt mg P_2O_5 100 g^{-1} TS	P-Saldo kg P_2O_5 ha^{-1}
KON	17,2 ± 8,4 b	-23,3 ± 72,9	14,1 ± 8,1 b	-2,5 ± 62,8
INT	18,0 ± 7,3 b	-17,4 ± 91,0		
BIO	11,6 ± 6,3 a	-21,5 ± 27,1	9,0 ± 6,5 a	-1,8 ± 20,4

[1] n = 314
[2] n = 90

Material und Methoden

Die Untersuchung fand in der Region Trier statt, wo unterschiedliche Ausgangsgesteine eine Vielzahl an Bodentypen und große Schwankungen in den Ackerzahlen hervorrufen (Tab. 1). Mit einer durchschnittlichen Betriebsgröße von 120 ha repräsentieren die Untersuchungsbetriebe die größeren, zukunftsfähigeren Betriebe der Region. Die Viehbesatzdichte lag in jedem Bewirtschaftungssystem im Mittel bei 0,7 VE ha^{-1}.

Ermittlung der schlagbezogenen Phosphorbilanzen

Bei der Erstellung der schlagbezogenen Phosphorbilanzen wurde die Phosphormenge erfasst, die den einzelnen Schlägen in Form von Saatgut, Handels-, Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdünger zu- und als Erntegut wieder abgeführt wurde. Dabei wurde großer Wert auf eine sichere Datenakquisition gelegt, indem beispielsweise die ausgebrachten Wirtschaftsdüngermengen mit transportablen Wägeplatten gewogen und die Phosphorgehalte in den Wirtschaftsdüngern und im Erntegut analysiert wurden. Einzelheiten zur Bilanzierung finden sich bei QUIRIN (2004).

Ermittlung der tolerierbaren Viehbesatzdichte

Zur Abreicherung von hoch mit Phosphor versorgten Flächen wurde eine tolerierbare Viehbesatzdichte ermittelt. Sie ergab sich für einen Betrieb, indem die betriebsspezifische Phosphorausscheidung einer GV durch die gesamtbetriebliche Phosphorabfuhr vom Feld dividiert wurde. Die Phosphorausscheidung je GV wurde berechnet, indem die „Phosphorausscheidung in kg je Stallplatz und Jahr“ durch die „GV je Tier“ dividiert wurde. Dabei wurden die Mengen der Phosphorausscheidungen bei Milchkühen der Milchleistung angepasst. Sie stammen aus FRITSCH (2000), der GV-Schlüssel wurde ANONYMUS (1990) entnommen.

Bodenchemische Analyse

Die Bestimmung der Phosphorbodengehalte erfolgte mit der CAL-Methode nach SCHÜLLER (1969). Hierzu wurden 5 g luftgetrockneter Boden mit 100 ml Calcium-Acetat-Lactat-Gebrauchslösung versetzt und 2 Stunden über Kopf geschüttelt. Nach dem filtrieren wurden die extrahierten Phosphorverbindungen mittels der Molybdän-Blau-Methode angefärbt und bei 710 nm photometrisch bestimmt.

Statistische Auswertung

Die deskriptive Statistik umfasste für normalverteilte metrische Merkmale die Berechnung des Mittelwertes und für nicht normalverteilte metrische Merkmale die Berechnung des Medians. Die Prüfung auf Normalverteilung erfolgte mit dem Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest. Hiernach bestand eine signifikante Abweichung von der Normalverteilung, wenn $p < 0,05$ war.

Da die Annahmen der Normalverteilung bei den Phosphorgehalten und −salden nicht aufrechterhalten werden konnten, erfolgte der Mittelwertvergleich von mehr als zwei unabhängigen Stichproben durch paarweises Testen mit dem U-Test von Mann-Whitney. Als Signifikanzniveau wurde $p < 0,05$ festgesetzt.

Ergebnisse

Die Phosphorgehalte der biologisch bewirtschafteten Ackerschläge waren signifikant niedriger als die der konventionell und integriert bewirtschafteten Ackerschläge, während sich konventionell und integriert bewirtschaftete Ackerschläge nicht signifikant unterschieden. Die Phosphorversorgung der Grünlandflächen war geringer als die der Ackerflächen. Analog zu den Ackerflächen waren die Phosphorgehalte der biologisch bewirtschafteten Grünlandflächen ebenfalls signifikant niedriger als die der konventionell bewirtschafteten Grünlandflächen. Die Phosphorsalden der einzelnen Bewirtschaftungssysteme unterschieden sich weder auf den Ackerschlägen noch auf den Grünlandschlägen signifikant voneinander (Tab. 2).

In Abb. 2 sind Schläge, die oberhalb der Gehaltsstufe C liegen und positive Salden aufweisen, grau hinterlegt. Die Einteilung in die Phosphorgehaltsklassen erfolgte nach Empfehlung des Landesamtes für Pflanzenbau und Pflanzenschutz von Rheinland-Pfalz (Gehaltsklasse A: < 5; B: 6-11; C: 12-20; D: 21-30; E: > 31 mg P_2O_5 100 g^{-1} Boden; FRITSCH 2000).

In Versorgungsstufe D und E befanden sich 41% der integriert, 38% der konventionell und 11% der biologisch bewirtschafteten Ackerflächen. Im Grünland waren 23% der konventionell und 7% der biologisch bewirtschafteten Flächen hoch bzw. sehr hoch mit Phosphor versorgt.

Der Anteil an Ackerschlägen mit positiven Phosphorsalden und hohen bzw. sehr hohen Phosphorgehalten war im integrierten Landbau mit 17% am höchsten. Im konventio-

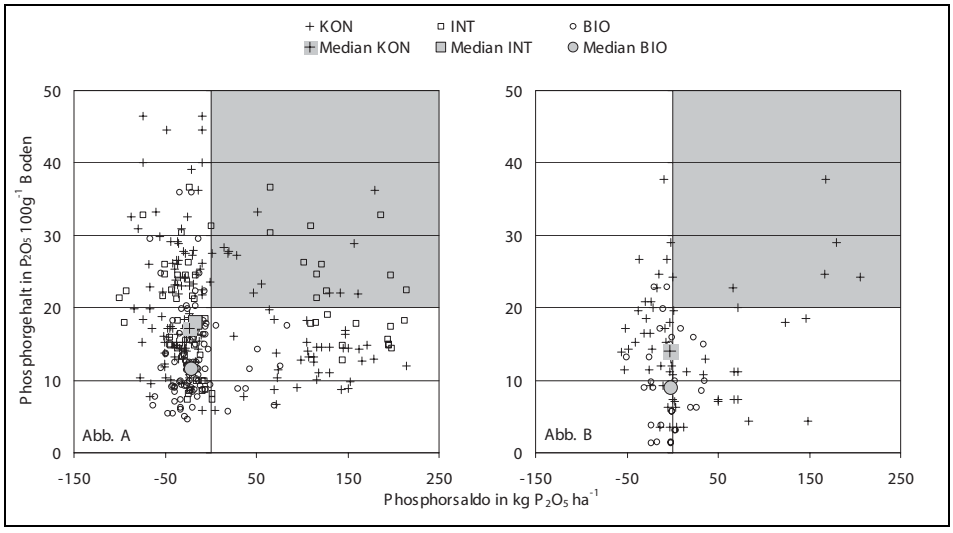

Abb. 2: Phosphorsalden und -gehalte konventionell (KON), integriert (INT) und biologisch (BIO) bewirtschafteter Acker- (Abb. A, n = 314) und Grünlandschläge (Abb. B, n = 90)
Phosphorus balances and budgets of conventionally (KON), integrated (INT) and organically (BIO) managed arable (Fig. A, n = 314) and pasture fields (Fig. B, n = 90)

Tab. 3: Tolerierbare Viehbesatzdichte der Untersuchungsbetriebe in Abhängigkeit von der gesamtbetrieblichen Phosphorabfuhr vom Feld und dem Phosphoranfall aus der Tierhaltung
Tolerable livestock units of the farms investigated depending on the whole-farm P removal from the field and the amount of P excreted by livestock

Untersuchungsbetriebe	KON I	KON II	INT I	BIO I	BIO II	BIO III
P-Abfuhr vom Feld			kg P_2O_5 $ha^{-1}a^{-1}$			
Haupternteprodukte	35	23	22	25	18	15
Nebenernteprodukte	6	5	3	4	3	1
Grünland	30	16	22	0	12	22
Summe	71	44	47	29	33	38
P-Anfall aus der Tierhaltung						
Vorherrschende Tierart, Leistungsniveau	Milchkühe, 7500 l	Milchkühe, 5500 l	Milchkühe, 5500 l	Mastkälber	Milchkühe, 4500 l	Mutterkühe mit Kalb
P_2O_5-Ausscheidung in kg je Stallplatz und Jahr [a]	45	37	37	8	33	29
GV je Tier [b]	1	1	1	0,3	1	1
P_2O_5-Ausscheidung in kg GV^{-1}	45	37	37	26,7	33	29
Tolerierbare Viehbesatzdichte (Abfuhr : Anfall) in GV ha^{-1}	1,6	1,2	1,3	1,1	1,0	1,3
Tatsächliche Viehbesatzdichte in GV ha^{-1}	0,9	0,6	0,7	0,3	0,7	1,1

[a] Fritsch (2000)
[b] Anonymus (1990)

nellen Landbau lag dieser Anteil sowohl für die Ackerschläge als auch für die Grünlandschläge bei 8%. Im biologischen Landbau wies keine Acker- oder Grünlandfläche positive Phosphorsalden auf, wenn der Boden hoch bzw. sehr hoch mit Phosphor versorgt war (Abb. 2).

Von den hoch und sehr hoch versorgten konventionell und integriert bewirtschafteten Ackerschlägen mit positiven Phosphorsalden wurden 52% mit mineralischem Phosphor, 40% mit Wirtschaftsdünger und 24% mit Klärschlamm bzw. einem anderen Sekundärrohstoffdünger versehen. Auf 16% dieser Flächen wurde Mineral- und Wirtschaftsdünger aufgebracht, darunter sämtliche hoch und sehr hoch versorgten konventionell bewirtschafteten Grünlandschläge mit positiven Phosphorsalden.

Grundvoraussetzung dafür, dass die Zufuhr mit betriebseigenem Wirtschaftsdünger auf allen Betriebsflächen unterhalb der Abfuhr liegt und somit hoch versorgte Flächen abgereichert werden, ist eine betriebliche Viehbesatzdichte, bei der nicht mehr Phosphor in Wirtschaftsdüngern anfällt als von dem gesamten Pflanzenbestand eines Betriebes entzogen wird (Tab. 3). In den Untersuchungsbetrieben variierte die betriebliche Phosphorabfuhr vom Feld zwischen 29 und 71 kg P_2O_5 ha^{-1} a^{-1}. Diese Spanne ist vor allem ein Ausdruck der unterschiedlichen Bewirtschaftungsintensität, wobei daneben noch die Produktivität des Standortes und die Kulturart eine Rolle spielen. Die Phosphorausscheidung je GV variierte in den Untersuchungsbetrieben zwischen 26 und 45 kg P_2O_5 ha^{-1} a^{-1}. Hierbei sind die Unterschiede auf die verschiedenen Tierarten und bei den Milchkühen auf die differierende Milchleistung zurückzuführen. Die sich aus den beiden genannten Größen ergebende maximal tolerierbare Viehbesatzdichte lag in den Untersuchungsbetrieben zwischen 1,0 und 1,6 GV ha^{-1}. Diese tolerierbare Viehbesatzdichte wurde in keinem der untersuchten Betriebe erreicht bzw. überschritten. Eine Überschreitung würde allein durch die Ausbringung von betriebseigenen Wirtschaftsdüngern zu einer Anhebung der Bodenphosphorgehalte führen, so dass die Böden in Abhängigkeit von den Ausgangsphosphorgehalten und der übrigen Phosphorzufuhr über kurz oder lang in die Gehaltsstufen D und E überführt werden würden bzw. schon in den Gehaltsstufen D und E sind.

Diskussion

Da bei Phosphorgehalten über 20 mg P_2O_5 100 g^{-1} Boden (CAL-Methode) durch eine Phosphordüngung „eine Ertragsbeeinflussung weitgehend auszuschließen ist“, und nur in wenigen Versuchen ausreichende Mehrerträge erzielt wurden (Kerschberger & Hege 1996, S. 6), sollte angestrebt werden, höher versorgte Böden abzureichern. Hierzu ist eine jährliche Betrachtung der schlagbezogenen Phosphorsalden in Verbindung mit den Phosphorgehalten des Bodens unumgänglich. Denn hoch und sehr hoch versorgte Flächen sollten in jedem Jahr negative Phosphorsalden aufweisen, nicht nur im mehrjährigen Mittel oder über eine Fruchtfolge. Auch betriebsbezogene Phosphorsalden sind zur Abreicherung hoch versorgter Flächen nur bedingt geeignet, da hier die Phosphorversorgung der einzelnen Flächen nicht berücksichtigt wird.

Nach der am 14.01.2006 in Kraft getretenen novellierten Düngeverordnung ist sowohl die Berechnung von Phosphorbilanzen in Form einer betrieblichen Flächenbilanz wie auch die Berechnung von Phosphorbilanzen für Einzelschläge bzw. Bewirtschaftungseinheiten möglich. Letztere müssen jedoch zu einer betrieblichen Flächenbilanz

zusammengefasst werden. Für Betriebe, deren mittlerer Phosphorgehalt über 20 mg P_2O_5 100 g^{-1} Boden liegt, soll im Durchschnitt der sechs letzten Düngejahre ein betrieblicher Phosphorüberschuss von 20 kg P_2O_5 $ha^{-1}a^{-1}$ nicht überschritten werden (ANONYMUS 2006). Diese Tatsache, dass bei hohen und sehr hohen Phosphorgehalten noch ein Phosphorüberschuss toleriert wird, führt dazu, dass diese Flächen weiterhin mit Phosphor angereichert werden können. Damit trägt die novellierte Düngeverordnung nicht zum Phosphorabbau hoch versorgter Flächen bei.

Um hoch und sehr hoch mit Phosphor versorgte Flächen abzureichern, sollte entgegen dem VDLUFA-Standpunkt zur P-Düngung (KERSCHBERGER et al. 1997) und den allgemeinen Empfehlungen der Beratung, auf Flächen mit Phosphorgehalten über 20 mg P_2O_5 100 g^{-1} Boden (CAL-Methode) keine verminderte Düngung erfolgen, sondern eine Düngung nach Möglichkeit ganz ausbleiben. Auf jeden Fall sollte auf den hoch und sehr hoch versorgten Flächen aus Gründen des Ressourcenschutzes, wegen des Risikos von Phosphorausträgen und auch aus ökonomischen Gründen eine mineralische Phosphordüngung unterlassen werden.

Des Weiteren sollten hoch und sehr hoch versorgte Flächen mit einem generellen Verbot für die Ausbringung von Klärschlamm oder anderen Sekundärrohstoffdüngern belegt werden. Bisher besteht ein Ausbringungsverbot von Klärschlamm für Flächen, die höher als 39 mg P_2O_5 100 g^{-1} versorgt sind (Gehaltsklasse E nach ANONYMUS 1994). Die zuständigen Behörden sollten bestrebt sein, auch Neukunden für die Ausbringung von Klärschlamm zu gewinnen und nicht - wie es häufig praktiziert wird - verlässliche Abnehmer bevorzugt zu beliefern, bis deren Böden die erlaubte Obergrenze der Phosphorversorgung erreicht haben.

In Betrieben mit einer geringen Viehbesatzdichte sollte der anfallende Wirtschaftsdünger auf Flächen ausgebracht werden, die eine geringe Phosphorversorgung aufweisen. In Betrieben mit hoher Viehbesatzdichte, wo bereits alle Flächen hoch oder sehr hoch mit Phosphor versorgt sind, sollte die Zufuhr mit betriebseigenem Wirtschaftsdünger unterhalb der Abfuhr liegen, so dass diese Böden zumindest auf lange Sicht abgereichert werden. ISERMANN (1999) fordert dagegen, dass jegliche Phosphorzufuhr auf hoch und sehr hoch versorgten Böden unterlassen werden soll. Nach GUTSER & EBERTSEDER (2002) sollte die Phosphorzufuhr über Wirtschaftsdünger bei sehr hoch versorgten Böden maximal die Hälfte der Phosphorabfuhr betragen. Längerfristig fordern sie, dass sehr hoch mit Phosphor versorgte Böden nicht mehr gedüngt werden sollen.

Für Betriebe, die aufgrund eines hohen Wirtschaftsdüngeranfalls einen hohen Anteil an hoch bzw. sehr hoch mit Phosphor versorgten Flächen aufweisen, stellt die in dieser Arbeit vorgestellte tolerierbare Viehbesatzdichte ein geeignetes Maß dar, um zu überprüfen, inwieweit der Viehbesatz reduziert werden müsste, damit eine weitere Anhebung der Phosphorbodengehalte vermieden wird. Als Beispiel für eine Region mit einem hohen Anteil an hoch mit Phosphor versorgten Flächen aufgrund intensiver Tierhaltung, kann das agrarische Intensivgebiet von Südoldenburg herangezogen werden, wo über 80% der Untersuchungsflächen sehr hoch mit Phosphor versorgt sind (LEINWEBER et al. 1993).

In Betrieben, in denen der überwiegende Teil der Flächen in Versorgungsstufe A und B liegt, wäre auch eine höhere als die hier berechnete Viehbesatzdichte tolerierbar. Allerdings nur für einen gewissen Zeitraum, da die Flächen durch eine höhere Viehbesatzdichte kontinuierlich mit Phosphor angereichert werden.

Neben der Reduzierung des Viehbesatzes können viehhaltende Betriebe, deren Flächen überwiegend in Versorgungsstufe D und E liegen, diese abreichern, indem sie ihre Gülle an eine Güllebörse abgeben. Allerdings stoßen Güllebörsen in viehstarken Regionen schon sehr bald an ihre Grenzen. Es bleibt dann noch die Möglichkeit die Gülle zu separieren, damit auch ein weiterer Transport rentabel wird. Darüber hinaus können die Feststoffe kompostiert und anschließend im Garten- und Gemüsebau eingesetzt werden. Langfristig sollte jedoch eine Umorientierung der Landwirtschaft hin zu einer flächengebundenen Tierhaltung angestrebt werden.

Trotz der flächengebundenen Tierhaltung in den Untersuchungsbetrieben, wurde ein Teil der hoch und sehr hoch mit Phosphor versorgten Schläge weiterhin mit Phosphor gedüngt. Da diese Phosphorzufuhr nicht auf ein Überangebot an Wirtschaftsdüngern zurückzuführen ist, wird vermutet, dass diese weitere Anreicherung aufgrund fehlender Kenntnisse über die Phosphorversorgung erfolgte. Diese Unkenntnis ist womöglich auf die vorherrschenden kleinen Parzellen mit ihren unterschiedlichen Phosphorgehalten zurückzuführen. So lag die mittlere Schlaggröße der Untersuchungsbetriebe bei 1,9 ha. Darüber hinaus ist die pauschale Anwendung von Mehrnährstoffdüngern als Ursache denkbar. Zur Unterbindung dieser immer noch vorhandenen Düngepraktik würde eventuell eine umfassende Beratung bereits ausreichen, zumal eine angepasste Düngung auch zu ökonomischen Einsparungen führt. Nach dem Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft in der Schweiz, betrachten einzelne Landwirte ein Laboranalysenblatt als eine Bewertung ihres beruflichen Könnens. Danach werden "reiche" Böden "armen" Böden vorgezogen und Bodenvorräte als "Risikoversicherung" betrachtet, ähnlich einer vollen Vorratskammer oder ausreichender Holzreserve für den Winter (FROSSARD et al. 2004).

Obwohl die Abreicherung hoch und sehr hoch mit Phosphor versorgter Flächen im Mittelpunkt dieses Artikels steht, soll nicht unerwähnt bleiben, dass die Phosphorgehalte bei sehr geringer Phosphorversorgung angehoben werden sollten. Vor allem nach langjähriger Umstellung auf biologischen Landbau gehen die Phosphorgehalte in der Regel deutlich zurück (NOLTE 1989, NEUERBURG 1995, WEISS 1990). RÖMER & LEHNE (2004) wiesen auf biologisch bewirtschafteten Ackerflächen nach, dass das Absinken der CAL-Phosphorgehalte in Gehaltsklasse A die N_2-Fixierung der Leguminosen mindert und den Kornertrag der nachfolgenden Kultur senkt. Durch die verminderte N_2-Fixierung ist das Futter ärmer an Protein, womit auch weniger Stickstoff im Wirtschaftsdünger anfällt, und es ist sehr wahrscheinlich, dass auch weniger N-haltige Ernterückstände der Leguminosen im Boden verbleiben.

In unserer Untersuchung waren die Phosphorgehalte bei biologischer Bewirtschaftung zwar signifikant niedriger als bei konventioneller Bewirtschaftung, jedoch befand sich lediglich eine biologisch bewirtschaftete Ackerfläche in Versorgungsstufe A. Im Grünland war der Anteil an Flächen in Versorgungsstufe A bei biologischer und konventioneller Bewirtschaftung mit 9 bzw. 7% annähernd gleich.

Danksagung

Für die Bereitstellung der Betriebsdaten danken wir den Betriebsleitern der Untersuchungsbetriebe. Ebenso danken wir den studentischen Hilfskräften für die Mithilfe bei der Probenahme und −aufbereitung, sowie Frau Petra Ziegler und Frau Elvira Sieberger für die Phosphoranalysen der Boden- und Pflanzenproben. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) danken wir für die finanzielle Förderung im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 522 „Umwelt und Region“.

Literatur

ANONYMUS, mehrere Jahrgänge a: Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland. Statistisches Bundesamt. Stuttgart.

ANONYMUS, mehrere Jahrgänge b: Fachserie 4: Produzierendes Gewerbe - Reihe 8.2: Düngemittelversorgung. Statistisches Bundesamt. Stuttgart.

ANONYMUS, 1990: KTBL-Taschenbuch Landwirtschaft. Daten für die Betriebskalkulation in der Landwirtschaft. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.

ANONYMUS, 1993: Förderprogramm umweltschonende Landbewirtschaftung. Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz, Mainz.

ANONYMUS, 1994: Vollzug der Klärschlammverordnung. Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Umwelt, vom 12.01.1994, Ministerialblatt der Landesregierung von Rheinland-Pfalz Nr. 3, S. 59, zuletzt geändert durch Verwaltungsvorschrift vom 10.12.1998 (MinBl. 1999 S. 2).

ANONYMUS, 2001: Rahmenrichtlinien für den ökologischen Landbau. Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Landbau. Stiftung Ökologie und Landbau, Sonderausgabe Nr. 17, Bad Dürkheim.

ANONYMUS, 2006: Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen. BGBl. I, Nr. 2, 34-43.

BACH, M. & H.-G. FREDE, 1998: Agricultural nitrogen, phosphorus and potassium balances in Germany – methodology and trends 1970 to 1995. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. **161**, 385-393.

BEHRENDT, H., M. BACH, R. KUNKEL, D. OPITZ, W. G. PAGENKOPF, G. SCHOLZ, & F. WENDLAND, 2003: Internationale Harmonisierung der Quantifizierung von Nährstoffeinträgen aus diffusen und punktuellen Quellen in die Oberflächengewässer Deutschlands. UBA-Texte 82/03, Umweltbundesamt. Berlin

FREDE, H. G., 2003: P-Bilanz Deutschlands. Vortrag anlässlich der Informationstagung zur P-Düngung am 27.11.2003 im Forum der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig

FRITSCH, F., 2000: Sachgerechte Düngung für Acker- und Grünland. Leitfaden zur Erstellung von Nährstoffvergleichen nach der Düngeverordnung und zur Düngeplanung im Acker- und Grünland. Landesamt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz. Mainz.

FROSSARD, E., P. JULIEN, J.-A. NEYROUD & S. SINAJ, 2004: Phosphor in Böden – Standortbestimmung Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 368, Bern.

GERDES, P., P. SCHWEIGERT, A. VAN KEMPEN & S. KUNST, 1998: Einträge aus diffusen Quellen in die Fließgewässer. Nähr- und Feststoffe. DVWK Materialien 5/1998, Bonn.

GUTSER, R. & T. EBERTSEDER, 2002: Definieren die Grundsätze der Düngeverordnung eine gute fachliche Düngepraxis ausreichend konkret? Kurzfassung des Referates anläßlich der DLG-Wintertagung 2002 in Berlin

ISERMANN, K., 1999: Handlungsziele angesichts hoher Phosphorgehalte in Böden vor dem Hintergrund eines nachhaltigen Phosphorhaushaltes der Landwirtschaft. VDLUFA-Schriftenreihe **50**, 103-131.

KERSCHBERGER, M. & U. HEGE, 1996: VDLUFA-Standpunkt: Einstufung der pflanzenverfügbaren P-Gehalte des Bodens in Gehaltsklassen und gegebenenfalls Versorgungsstufen sowie Ableitung von P-Düngungsempfehlungen auf der Grundlage aktueller Versuchsergebnisse. VDLUFA, Selbstverlag, Darmstadt, http://www.VDLUFA.de.

KERSCHBERGER, M., U. HEGE & A. JUNGK, 1997: VDLUFA-Standpunkt: Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf. VDLUFA, Selbstverlag, Darmstadt, http://www.VDLUFA.de.

LEINWEBER, P., K. GEYER-WEDELL & E. JORDAN, 1993: Phosphorversorgung der Böden im agrarischen Intensivgebiet Südoldenburg. Vechtaer Verlag, Vechta.

NEUERBURG, W., 1995: Schwachstellenanalyse in ökologischen Betrieben - Ausgewählte Ergebnisse aus 4-jährigen Praxiserhebungen in Rheinland-Pfalz. Beiträge zur 3. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 229-232.

NOLTE, C., 1989: Bilanzierung des Nährstoffkreislaufes auf dem biologisch-dynamisch bewirtschafteten "Boschheidehof" sowie Untersuchungen zum Phosphor- und Kaliumhaushalt in drei ausgewählten Böden im Vergleich zu drei Böden einen benachbarten konventionellen Betriebes. Diss. Univ. Bonn.

QUIRIN, M., 2004: Nährstoffbilanzen und Energiekenngrößen konventionell, integriert und biologisch bewirtschafteter Acker- und Grünlandschläge in einem Mittelgebirgsraum (Region Trier). Trierer Bodenkundliche Schriften, Bd. 8., Trier. Diss. Univ. Trier.

RÖMER, W. & P. LEHNE, 2004: Vernachlässigte Phosphor- und Kaliumdüngung im ökologischen Landbau senkt die biologische Stickstofffixierung bei Rotklee und den Kornertrag bei nachfolgendem Hafer. J. Plant Nutr. Soil Sci. **167**, 106-113.

SCHÜLLER, H., 1969: Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates in Böden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. **123**, 48-63.

WEISS, K., 1990: Bodenuntersuchungen aus Vergleichsflächen von alternativ und konventionell bewirtschafteten Böden in Baden-Württemberg. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft **113**, Nährstoffdynamik und Nährstoffbilanz in alternativ wirtschaftenden Betrieben, 103-116.

WERNER, W., 1999: Ökologische Aspekte des Phosphor-Kreislaufs – Anthropogene Eingriffe in den globalen Phosphorkreislauf und deren Folgen für die Umwelt. Z. Umweltchem. Ökotox. **11** (6), 343-351.

Eingegangen am 22. Dezember 2005;
angenommen am 16. Februar 2006

Anschrift der Verfasser: Dr. Markus Quirin, Prof. Dr. Christoph Emmerling & Prof. Dr. Dietmar Schröder, Universität Trier, FB VI – Bodenkunde, Campus II, Behringstraße, D-54286 Trier, quirin@uni-trier.de