



Ergebnisse der Bodenuntersuchungen

A.Bohner und C. Huemer

Einleitung

Für die Eutrophierung der Gewässer ist in erster Linie der Phosphor verantwortlich (Kummert & Stumm 1989). In den Einzugsgebieten eutrophierter und eutrophierungsgefährdeter Gewässer muss daher versucht werden, die Phosphor-Einträge aus punktuellen und diffusen Quellen zu verringern. Die Phosphor-Einträge werden sowohl vom Wasserhaushalt (insbesondere Niederschlagsmenge und –intensität), von der Parzellentopographie (insbesondere Hangneigung und Hanglänge) und von den Bodeneigenschaften (insbesondere Phosphor-Gehalt, pH-Wert, Redoxpotential, Gründigkeit, Textur, Struktur) als auch von der Art und Intensität der Bewirtschaftung sowie von der Art und vom Ausmaß der Bewirtschaftungsmaßnahmen (insbesondere Menge, Häufigkeit, Art und Zeitpunkt der Düngung) im Einzugsgebiet der Gewässer bestimmt (Frossard et al. 2004). Aus landwirtschaftlich genutzten Böden erfolgt der Phosphor-Eintrag durch Erosion, Abschwemmung und Auswaschung (Braun et al. 1991, Braun & Hurni 1993, Gächter et al. 1996, Frossard et al. 2004). Die Bodenerosion hat im Dauergrünland für die Eutrophierung der Gewässer im Allgemeinen nur eine geringe Bedeutung (Werner et al. 1991, Von Albertini et al. 1993). Eine Erosionsgefahr besteht am ehesten im Falle einer Neuansaat. Auch auf Wechselwiesen ist zeitweise eine nennenswerte Bodenerosion möglich, insbesondere wenn in der Fruchtfolge regelmäßig Mais angebaut wird. Vom Grünland können allerdings erhebliche Mengen an gelöstem Phosphor abgeschwemmt werden, insbesondere wenn Gülle kurz vor einem Starkregenereignis oder im Winter über schneebedeckten und/oder gefrorenen Boden ausgebracht wird (Braun & Leuenberger 1991, Von Albertini et al. 1993, Braun & Prasuhn 1997, Pommer et al. 2001). Beim Ackerland hingegen ist die Bodenerosion der wichtigste diffuse Eintragspfad für Phosphor in die Gewässer (Klaghofer 1997, Prasuhn 2001). Die Phosphor-Auswaschung kann sowohl im Ackerland als auch im Grünland unter bestimmten Boden-, Vegetations- und Witterungsverhältnissen für die Gewässer-Eutrophierung von Bedeutung sein (Scheffer 1977, Otto 1980, Diepolder et al. 2006, Bohner et al. 2007a, Diepolder & Raschbacher 2007 a,b). Die Phosphor-Einträge in die Gewässer aus landwirtschaftlich genutzten Böden nehmen generell mit steigenden Phosphor-Gehalten im Boden zu (Scheffer 1977, Otto 1980, Meissner et al. 1992, Römer 1997). Um die tatsächlichen und möglichen Phosphor-Einträge aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung qualitativ beurteilen zu können, sind zunächst einmal Kenntnisse über den Phosphor-Gehalt der landwirtschaftlich genutzten Böden im Einzugsgebiet von Gewässern erforderlich. Anschließend können wirksame Maßnahmen zur Verminderung der Phosphor-Einträge aus landwirtschaftlich genutzten Böden in die Gewässer sowie Maßnahmen, welche ein Ansteigen dieser Phosphor-Einträge nachhaltig verhindern, ausgearbeitet werden.

Mit der vorliegenden Studie werden primär folgende Ziele verfolgt:

- Beurteilung und Bewertung des Phosphor-Versorgungszustandes der landwirtschaftlich genutzten Böden im Hinblick auf die Eutrophierungsgefahr der Antiesen
- Analyse des Einflusses verschiedener Kulturarten und der Reliefposition auf den Phosphor-Gehalt im Boden

- Beurteilung des Phosphor-Eintragspotentials aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in die Antiesen infolge Erosion, Abschwemmung und Auswaschung
- Bereitstellung von Bodenanalysedaten für Düngeempfehlungen an die Landwirtinnen und Landwirte
- Bereitstellung von Daten und Informationen für die Schulung und Beratung der Landwirtinnen und Landwirte mit dem Ziel, die Wasserqualität der Antiesen zu verbessern, gleichzeitig aber auch die Lebensmittelproduktion zu optimieren
- Schaffung von Grundlagen für die Entwicklung von regionalen Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität der Antiesen.

Material und Methoden

Im Untersuchungsgebiet wurden 498 Bodenproben für die routinemäßigen Bodenanalysen zur Bewertung der Nährstoffsituation und 100 Bodenproben für umfassendere Bodenanalysen primär zur Beurteilung der Phosphor-Speicherkapazität und des Phosphor-Sättigungsgrades aus dem Oberboden (0-15 cm Bodentiefe) gezogen. Damit wurden alle landwirtschaftlich genutzten Flächen beprobt. Die Probenahme erfolgte vor der Düngung im Sommer und Herbst 2010 sowie im Frühjahr 2011. Untersucht wurden 383 Ackerflächen, 109 Grünlandflächen und 6 Waldflächen. Gemäß ÖNORM L 1056 (Probenahme von Dauergrünland) und ÖNORM L 1055 (Probenahme von ackerbaulich genutzten Böden) werden in Österreich die Bodenproben auf Grünlandflächen aus der Tiefenstufe 0-10 cm und auf Ackerflächen aus 0-20 cm gezogen. Um die Grünlandböden mit den Ackerböden hinsichtlich ihres Nährstoffgehaltes im Oberboden vergleichen zu können, erfolgte die Probenahme auf allen Flächen einheitlich aus der Tiefenstufe 0-15 cm. Für den Nachweis einer erosionsbedingten horizontalen Nährstoffverlagerung wurde auf jedem Schlag zumindest vom Ober-, Mittel- und Unterhang (inklusive Hangfuss) eine Bodenprobe gezogen. Auf jenen Schlägen, wo reliefbedingt die Eutrophierungsgefahr der Oberflächengewässer durch Bodenerosion größer ist, wurde die Anzahl der Bodenproben erhöht. Die Bodenproben wurden luftgetrocknet, homogenisiert und bei 2 mm Maschenweite gesiebt. Die Analysemethoden für die routinemäßigen Bodenanalysen richteten sich nach der jeweiligen ÖNORM (pH-Wert in einer 0.01 M CaCl₂-Lösung gemäß ÖNORM L 1083, elektrische Leitfähigkeit konduktometrisch gemäß ÖNORM L 1092, Phosphor und Kalium mit der CAL-Methode gemäß ÖNORM L 1087, wasserlöslicher Phosphor-Gehalt gemäß ÖNORM L 1092). Der Gesamtgehalt an Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel wurde mittels Elementaranalyse bestimmt. Die Aggregatstabilität wurde mit einem Tauchsiebverfahren nach Kemper und Koch (1966) ermittelt. Auf Grund der speziellen Problemstellung (Gewässer-Eutrophierung) wurden die Bodenanalysen auf den Phosphor fokussiert. Die unterschiedlich verfügbaren Phosphor-Anteile im Boden wurden mit verschiedenen Phosphor-Bestimmungsmethoden charakterisiert. Die in Österreich übliche Routineuntersuchungsmethode für Phosphor ist die Calcium-Acetat-Lactat-Methode (CAL-Methode). Mit der CAL-Extraktionsmethode wird der CAL-lösliche Phosphor-Pool im Boden erfasst. Damit kann der „Kapazitätsfaktor“ annähernd ermittelt werden. Mit der Messung des Phosphor-Gehaltes im Wasserextrakt wird der „Intensitätsfaktor“ festgestellt. Die Extraktion mit Wasser liefert Informationen über die Menge an wasserlöslichem und damit leicht mobilisierbarem Phosphor im Boden. Die Quantität des hauptsächlich an pedogene Aluminium-, Eisen- und Mangan-Oxide adsorbierten Phosphates wurde durch die Bestimmung des oxalatlöslichen Phosphors ermittelt (Pihl & Werner 1993, Leinweber et al. 1997). Der Gesamtelementgehalt an Phosphor repräsentiert den „Quantitätsfaktor“. Zur Abschätzung der Phosphor-Speicherkapazität der Acker- und Grünlandböden

und zur Beurteilung der potenziellen Gefahr von Phosphor-Verlusten durch Auswaschung wurden die Phosphor-Speicherkapazität (PSC) und der Phosphor-Sättigungsgrad (DPS) folgendermaßen berechnet (Eckhardt & Leinweber 1997):

$$\text{PSC (in mmol kg}^{-1}\text{)} = 0,5 \times (\text{Al}_{\text{ox}} + \text{Fe}_{\text{ox}} + \text{Mn}_{\text{ox}})$$

$$\text{DPS (in \%)} = 100 \times \text{P}_{\text{ox}}/\text{PSC}$$

Im Rahmen der umfassenderen Bodenanalysen wurden oxalateextrahierbares Aluminium, Eisen und Mangan sowie oxalatlöslicher Phosphor nach Schwertmann (1964) analysiert. Die Gesamtelementgehalte an Aluminium, Eisen, Mangan und Phosphor wurden nach Mikrowellenaufschluss mit Königswasser bestimmt. Der Gesamtgehalt an anorganischem Phosphor wurde nach Extraktion mit 0,1 M H₂SO₄ ermittelt. Der Gesamtgehalt an organischem Phosphor wurde als Differenz aus Phosphor-Gesamtgehalt und Gesamtgehalt an anorganischem Phosphor errechnet.

Ergebnisse

Die untersuchten Ackerböden befinden sich nahezu ausschließlich im Karbonat- und Silikat-Pufferbereich (Abbildung 1). Die untersuchten Grünlandböden gehören zum Großteil dem Silikat-Pufferbereich an (Abbildung 2). Dieser pH-Bereich ist aus Sicht der Grünlandbewirtschaftung ideal. Die Grünlandböden im Austauscher-Pufferbereich haben bereits einen Kalkbedarf; eine Aufkalkung (pH-Ziel im Grünland: 5.0-6.2) ist sinnvoll. Der Großteil der Ackerböden fällt hinsichtlich des Gehaltes an CAL-löslichem Phosphor und Kalium in die Gehaltsstufe C (ausreichende Phosphor- und Kalium-Gehalte) (Abbildung 3,4). Die Grünlandböden hingegen sind – bewertet nach den „Richtlinien für die sachgerechte Düngung“ (2006) – meist sehr schlecht mit CAL-löslichem Phosphor versorgt; der Großteil fällt in die Gehaltsstufe A (sehr niedrige Phosphor-Gehalte) (Abbildung 5). Auch Heinzlmaier et al. (2005), Bohner & Eder (2006) sowie Bohner & Schink (2007) mussten in anderen österreichischen Naturräumen den Großteil ihrer untersuchten Grünlandböden hinsichtlich des Gehaltes an CAL-löslichem Phosphor der Gehaltsstufe A zuordnen. Nach Gerzabek et al. (2004) zeigen Grünlandböden in Österreich tendenziell eine Unterversorgung mit CAL-löslichem Phosphor. Ein hoher Anteil an ungenügend mit CAL-löslichem Phosphor versorgten Grünlandböden dürfte somit kein Unikum des Untersuchungsgebietes sein. Eine Überprüfung der zurzeit gültigen Gehaltsklassen-Einstufung für den CAL-löslichen Phosphor-Gehalt von Grünlandböden gemäß den „Richtlinien für die sachgerechte Düngung“ (2006) ist daher notwendig. Etwas günstiger ist die Versorgung der Grünlandböden mit CAL-löslichem Kalium. Die Mehrheit der untersuchten Böden befindet sich in der Gehaltsstufe B und C (niedrige und ausreichende Kalium-Gehalte) (Abbildung 6).

Der Humusgehalt, die Humusqualität und die Nährstoffgehalte im Oberboden sind stark von der Kulturart abhängig (Tabelle 1,2). Der Humusgehalt und somit auch die Gesamtgehalte an Stickstoff und Schwefel sind in den Böden des Dauergrünlandes in den obersten 15 cm im Durchschnitt deutlich höher als in den Ackerböden. Generell weisen die Böden des Dauergrünlandes höhere Humusgehalte auf als Ackerböden (Klapp 1971). Die schlechtere Bodendurchlüftung und der fehlende „Verdünnungseffekt“ auf Grund nicht stattfindender Bodenbearbeitung, die geringere Bodenerwärmung infolge ganzjähriger und weitgehend geschlossener Vegetationsdecke und die vergleichsweise höheren jährlichen Mengen an ober- und unterirdischen Bestandesabfällen sind die wichtigsten Gründe hierfür. Das C:N-Verhältnis im Oberboden ist ein Maß für die Humusqualität und ein wichtiger geoökologischer Standortindikator (Scheffer & Schachtschabel 2002). Dieser Quotient

beträgt im A-Horizont von Böden des Wirtschaftsgrünlandes meist 9-12:1 (Bohner et al. 2007b) und in Ap-Horizonten von ertragreichen Ackerböden liegt er meist bei 10 (Scheffer & Schachtschabel 2002). Generell steigt mit sinkendem C:N-Verhältnis die Humusqualität. Die Ackerböden mit den Kulturarten Mais und Getreide weisen im Durchschnitt in den obersten 15 cm die niedrigsten C:N-Verhältnisse auf. Dies zeigt einen vergleichsweise stickstoffreicheren Humus in diesen Böden an. Die C:S- und N:S-Verhältnisse hingegen sind in den Böden des Dauergrünlandes im Durchschnitt am engsten. Dies sind Hinweise für einen vergleichsweise schwefelreicheren Humus in diesen Böden. Der CAL-lösliche Phosphor-Gehalt im Oberboden hängt primär von der Höhe der zugeführten Düngermenge in der Gegenwart und/oder Vergangenheit ab und ist daher ein guter Indikator für das langjährige Düngungsniveau der Acker- und Grünlandflächen (Ruthsatz 2001, Bohner 2005). Der CAL-lösliche Kalium-Gehalt hingegen wird nicht nur von der Form und Höhe der ausgebrachten Düngermenge, sondern sehr wesentlich auch von der mineralogischen Zusammensetzung des bodenbildenden Locker- und Festgesteins, vom Verwitterungsgrad und von der Verwitterungsintensität am Standort sowie von der Art und Intensität der Bewirtschaftung beeinflusst (Bohner & Eder 2006). Die Ackerböden mit den Kulturarten Getreide, Mais und Ölpflanzen (Raps, Lein) sind im Oberboden im Durchschnitt besser mit CAL-löslichem und wasserlöslichem Phosphor versorgt als die Böden des Dauergrünlandes. Dies sind Hinweise für vergleichsweise nährstoffreichere Bodenverhältnisse in den Ackerböden. Wie die polynomische Regressionsfunktion in Abbildung 7 zeigt, nimmt der wasserlösliche Phosphor-Gehalt im Oberboden mit steigendem CAL-löslichem Phosphor-Gehalt im Schwankungsbereich der gemessenen Phosphor-Werte tendenziell zu. Ungefähr 47 % des CAL-löslichen Phosphors im Oberboden liegen in wasserlöslicher und damit leicht mobilisierbarer und sofort auswaschbarer Form vor. In den Grünlandböden ist dieser prozentuale wasserlösliche Phosphor-Anteil mit 51 % im Durchschnitt etwas höher als in den Ackerböden mit 45 %. Die Böden des Dauergrünlandes sind in den obersten 15 cm im Durchschnitt am besten mit CAL-löslichem Kalium versorgt. Die Aggregatstabilität ist ein Maß für die Widerstandsfähigkeit des Bodens gegen die Verschlammung durch Wasser (Schachtschabel & Hartge 1959). Eine hohe Aggregatstabilität und eine ganzjährig geschlossene Vegetationsdecke vermindern die Erosionsanfälligkeit der Böden. Eine niedrige Aggregatstabilität hingegen führt häufig zu Verschlammung und Verkrustung der Bodenoberfläche sowie bei Hanglage zu Bodenerosion (Franken & Loh 1987). Pflanzenwurzeln und Bodenorganismen haben eine große Bedeutung für die Aggregatstabilität im Boden (Kandeler & Murer 1993). Die Aggregatstabilität wird daher sehr wesentlich von der Kulturart beeinflusst. Sie ist in den obersten 15 cm in den Böden des Dauergrünlandes im Durchschnitt deutlich höher als in den Ackerböden. Die intensivere Durchwurzelung der Grünlandböden dürfte dafür hauptverantwortlich sein. Die Gefahr einer Bodenerosion ist somit bei sonst gleichen Standortverhältnissen auf Grünlandflächen deutlich niedriger als auf Ackerflächen.

Der vorhandene Phosphor-Vorrat liegt im Oberboden in unterschiedlicher Bindungsform vor. Es besteht ein deutlicher Unterschied zwischen Acker- und Grünlandböden. Die Ackerböden weisen – im Vergleich zu den Grünlandböden – im Durchschnitt einen niedrigeren Gesamtelementgehalt an Phosphor und einen niedrigeren Gesamtgehalt an organischem Phosphor auf, dafür sind die Gehalte an anorganischem Phosphor und oxalatrextrahierbarem Phosphor vergleichsweise höher (Tabelle 3). Der niedrigere Humusgehalt in den Ackerböden (Tabelle 1) und die vergleichsweise stärkere Düngung der Ackerflächen dürften dafür hauptverantwortlich sein. Der Anteil des organisch gebundenen Phosphors am Phosphor-Gesamtgehalt beträgt in den Ackerböden im Durchschnitt 50 % und in den Grünlandböden 63 % (Tabelle 3). Erst durch mikrobiellen Abbau der organischen Substanz

bzw. durch enzymatische Spaltung wird dieser organisch gebundene Phosphor pflanzenverfügbar. Diese Prozesse sind primär vom Wärme- und Wasserhaushalt des Standortes und folglich auch von der Witterung abhängig. In den Ackerböden ist der oxalateextrahierbare Phosphor und in den Grünlandböden der organisch gebundene Phosphor die dominierende Phosphor-Fraktion und somit der größte Phosphor-Pool im Oberboden. In den Ackerböden sind die $C_t:P_t$ - und $C_t:P_o$ -Verhältnisse im Oberboden mit durchschnittlich 29:1 und 58:1 enger als in den Grünlandböden; hier betragen die entsprechenden Quotienten im Durchschnitt 39:1 und 63:1. Die Gehalte an amorphen Aluminium-, Eisen- und Manganoxiden bzw. -hydroxiden beeinflussen die Phosphor-Sorptionskapazität des Bodens. In den untersuchten Acker- und Grünlandböden haben vor allem die oxalateextrahierbaren Eisenoxide und -hydroxide eine große Bedeutung für die Adsorption und Festlegung von Phosphat (Tabelle 4). Die Phosphor-Speicherkapazität ist in den Ackerböden – bedingt durch die niedrigeren Gehalte an oxalateextrahierbarem Eisen, Aluminium und Mangan – in den obersten 15 cm im Durchschnitt geringfügig niedriger als in den Grünlandböden (Tabelle 3). Der Phosphor-Sättigungsgrad ist sowohl in den Ackerböden als auch in den Grünlandböden mit durchschnittlich 19 bzw. 16 % sehr niedrig (Tabelle 3). Ein Phosphor-Sättigungsgrad über 30 % wird in der internationalen Literatur als kritischer Wert für einen erhöhten Phosphor-Austrag in Gewässer angeführt (Schoeters et al. 1995, De Smet et al. 1996, Lookman et al. 1996, Leinweber et al. 1997). Dieser Grenzwert wird in den Ackerböden zumindest in den obersten 15 cm sechsmal und in den Grünlandböden nur einmal überschritten. Auf Grund des überwiegend niedrigen Phosphor-Sättigungsgrades dürfte die Gefahr einer erhöhten Phosphor-Auswaschung mit dem Sickerwasser bei den untersuchten Acker- und Grünlandböden gering sein.

In den Tabellen 5 und 6 sind die Bodenkennwerte in Abhängigkeit von der Reliefposition dargestellt. Der Unterhang weist sowohl bei den Acker- als auch bei den Grünlandböden im Durchschnitt höhere Humus- und somit auch höhere Gesamtgehalte an Stickstoff als der Oberhang auf und die C:N-Verhältnisse sind vergleichsweise weiter. Dies sind Hinweise für eine Anreicherung von stickstoffärmerem Humus im Unterhang der Acker- und Grünlandböden. Auch der Anteil des organisch gebundenen Phosphors am Phosphor-Gesamtgehalt ist sowohl bei den Acker- als auch bei den Grünlandböden im Unterhang größer als im Oberhang. Dies ist ein Hinweis für eine stärkere Anreicherung von organisch gebundenem Phosphor im Unterhang der Acker- und Grünlandböden. Bemerkenswert ist ferner die höhere Aggregatstabilität bei den Ackerböden im Unterhang im Vergleich zum Oberhang. Der höhere Humusgehalt im Unterhang dürfte dafür verantwortlich sein. Auffallend und zurzeit nicht plausibel ist die fehlende Phosphor-Anreicherung im Unterhang der Ackerböden. Bei den Grünlandböden sind die Phosphorgehalte der einzelnen Phosphor-Fractionen im Unterhang sogar deutlich niedriger als im Oberhang. In der Tabelle 7 ist das Verhältnis der einzelnen Bodenkennwerte zwischen Ober- und Unterhang angeführt. Die Quotienten sind mit drei Ausnahmen (S_t , CAL-K, P_{org}) bei den Ackerböden immer enger als bei den Grünlandböden. Dies ist ein Hinweis für eine relativ stärkere Humus- und Nährstoffanreicherung im Unterhang der Ackerböden im Vergleich zu den Grünlandböden.

Diskussion und Schlussfolgerung

Die Daten aus den Bodenanalysen ermöglichen eine Beurteilung und Bewertung des Phosphor-Versorgungszustandes der landwirtschaftlich genutzten Oberböden im Hinblick auf die Eutrophierungsgefahr der Antiesen. Die Auswertung der Analyseergebnisse zeigt, dass im

Untersuchungsgebiet der Phosphor-Versorgungszustand der landwirtschaftlich genutzten Oberböden sehr wesentlich von der Kulturart abhängt. Die Grünlandböden sind – bewertet nach den „Richtlinien für die sachgerechte Düngung“ (2006) – meist sehr schlecht mit CAL-löslichem Phosphor versorgt; der Großteil fällt in die Gehaltsstufe A (sehr niedrige Phosphor-Gehalte). Nur wenige Grünlandböden gehören der Gehaltsstufe D und E an (hohe und sehr hohe Phosphor-Gehalte). Der Großteil der Ackerböden hingegen fällt hinsichtlich des Gehaltes an CAL-löslichem Phosphor in die Gehaltsstufe C (ausreichende Phosphor-Gehalte). Allerdings gehören nur wenige Ackerböden der Gehaltsstufe D (hohe Phosphor-Gehalte) an. Die Ackerböden sind im Oberboden im Durchschnitt besser mit CAL-löslichem und wasserlöslichem Phosphor versorgt als die Böden des Dauergrünlandes. Auch die Gehalte an anorganischem Phosphor und oxalateextrahierbarem Phosphor sind in den Ackerböden trotz niedrigerem Gesamtelementgehalt vergleichsweise höher. Dies sind Hinweise für eine stärkere Anreicherung anorganischer Phosphor-Fractionen in den Ackerböden im Vergleich zu den Böden des Dauergrünlandes. Das höhere Düngungsniveau auf den Ackerflächen dürfte dafür hauptverantwortlich sein. Die Phosphor-Speicherkapazität ist in den Ackerböden in den obersten 15 cm im Durchschnitt etwas niedriger als in den Grünlandböden. Der Phosphor-Sättigungsgrad ist sowohl in den Ackerböden als auch in den Grünlandböden zumindest im Oberboden meist sehr niedrig. Auf Grund des überwiegend niedrigen Phosphor-Sättigungsgrades dürfte die Gefahr einer erhöhten Phosphor-Auswaschung mit dem Sickerwasser bei den untersuchten Acker- und Grünlandböden im Falle einer standortangepassten Bewirtschaftung, sachgerechten Düngung und durchschnittlichen Niederschlagsereignissen gering sein. Die Aggregatstabilität ist in den obersten 15 cm in den Böden des Dauergrünlandes im Durchschnitt deutlich höher als in den Ackerböden. Die Gefahr einer Bodenerosion ist somit auf Grünlandflächen beträchtlich niedriger als auf Ackerflächen. Erosionsrillen auf einigen Ackerflächen zeigen an, dass eine Bodenerosion im Ackerland auch tatsächlich stattfindet. Auffallend und zurzeit nicht plausibel ist eine fehlende erosionsbedingte Phosphor-Anreicherung im Unterhang der Ackerböden. Sowohl bei den Acker- als auch bei den Grünlandböden konnte allerdings eine Anreicherung von stickstoffärmerem Humus im Unterhang festgestellt werden. Auch der Anteil des organisch gebundenen Phosphors am Phosphor-Gesamtgehalt ist bei den Acker- und Grünlandböden im Unterhang größer als im Oberhang. Möglicherweise wird auf den Ackerflächen bei erosionsauslösenden Starkniederschlägen das von den Hangflächen erodierte Bodenmaterial zum Großteil direkt in die Oberflächengewässer verlagert. Die Humusanreicherung, das weitere C:N-Verhältnis und der höhere Anteil des organisch gebundenen Phosphors am Phosphor-Gesamtgehalt im Unterhang der Acker- und Grünlandböden dürften weniger die Folge einer Sedimentation von erodiertem humusreichen Bodenmaterial sondern vielmehr das Ergebnis einer reliefbedingten (staunässebedingten) geringeren Mineralisierung der organischen Substanz im Unterhang sein.

Nachdem die Phosphor-Einträge in die Gewässer aus landwirtschaftlich genutzten Böden mit steigenden Phosphor-Gehalten im Boden zunehmen (Scheffer 1977, Otto 1980, Meissner et al. 1992, Römer 1997) kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass von den mit anorganischem Phosphor stärker angereicherten und erosionsgefährdeten Ackerböden ein höheres Phosphor-Austragsrisiko als von den Böden des Dauergrünlandes ausgeht. Die Grünlandböden sind meist sehr schlecht mit CAL-löslichem Phosphor versorgt und der Phosphor-Sättigungsgrad ist in der Regel sehr niedrig. Daher kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die tatsächlichen und möglichen Phosphor-Einträge aus den Grünlandböden in das Grundwasser und in die Oberflächengewässer bei standortangepasster Grünlandbewirtschaftung und durchschnittlichen Witterungsverhältnissen gering sein dürfte. Allerdings besteht die Möglichkeit, dass größere Phosphor-Mengen von

„Problemflächen“ mit überdurchschnittlich hohen Phosphor-Gehalten im Oberboden, wie beispielsweise die unmittelbare Umgebung von Güllegruben und Mistlagerstätten in die Gewässer gelangen. Das Phosphor-Eintragspotenzial aus Grünlandflächen ist auch erhöht, wenn es durch falsche Grünlandbewirtschaftung zu einer Narbenauflockerung und Lückenbildung im Pflanzenbestand kommt und/oder die Oberböden in Hanglagen verdichtet werden. Verdichtete, strukturgeschädigte Böden in Hanglagen weisen infolge verminderter Infiltration von Regen- und Schneeschmelzwasser einen erhöhten Oberflächenabfluss sowie eine niedrigere Infiltrationsrate der Flüssigdünger (Gülle, Jauche) auf. Dies erhöht das Risiko für eine Phosphor-Abschwemmung aus aufgebrauchten Düngemitteln in die Oberflächengewässer (Von Albertini et al. 1993). Somit ist anzunehmen, dass die Bodenerosion auf Ackerland und die Abschwemmung auf Grünland die wichtigsten diffusen Eintragspfade für Phosphor von landwirtschaftlich genutzten Flächen in die Antiesen darstellen. Bei der Ausarbeitung regionaler Maßnahmen zur Verminderung der Phosphor-Einträge aus landwirtschaftlich genutzten Böden in die Antiesen muss daher auf Ackerland die Bodenerosion und auf Grünland die Abschwemmung mit höchster Priorität berücksichtigt werden.

Zusammenfassung

In den Jahren 2010 und 2011 wurde in einem Teileinzugsgebiet der Antiesen der Nährstoffstatus (insbesondere Phosphor-Versorgungszustand) der landwirtschaftlich genutzten Böden erhoben. Insgesamt wurden 498 Bodenproben für die routinemäßigen Bodenanalysen zur Bewertung der Nährstoffsituation und 100 Bodenproben für umfassendere Bodenanalysen primär zur Beurteilung der Phosphor-Speicherkapazität und des Phosphor-Sättigungsgrades aus dem Oberboden (0-15 cm Bodentiefe) gezogen. Damit wurden alle landwirtschaftlich genutzten Flächen im Untersuchungsgebiet beprobt. Untersucht wurden vor allem Acker- und Grünlandflächen. Für den Nachweis einer erosionsbedingten horizontalen Nährstoffverlagerung wurde auf jedem Schlag zumindest vom Ober-, Mittel- und Unterhang (inklusive Hangfuss) eine Bodenprobe gezogen. Primäres Ziel dieser Studie war, einen Überblick über den Phosphor-Versorgungszustand der landwirtschaftlich genutzten Oberböden im Untersuchungsgebiet zu gewinnen und daraus das Phosphor-Verlustrisiko infolge Erosion, Abschwemmung und Auswaschung abzuschätzen. Die im Boden unterschiedlich verfügbaren Phosphor-Anteile wurden mit verschiedenen Methoden ermittelt. Die Ergebnisse der Bodenanalysen belegen sehr niedrige Gehalte an CAL-löslichem Phosphor auf den meisten Grünlandflächen. Der Großteil der untersuchten Grünlandböden fällt nach den „Richtlinien für die sachgerechte Düngung“ (2006) in die Gehaltsstufe A (sehr niedrige Phosphor-Gehalte). Deutlich günstiger ist die Phosphor-Versorgung auf den Ackerflächen; die Mehrheit der untersuchten Ackerböden befindet sich hinsichtlich des Gehaltes an CAL-löslichem Phosphor in der Gehaltsstufe C (ausreichende Phosphor-Gehalte). Die Ackerböden mit den Kulturarten Getreide, Mais und Ölpflanzen (Raps, Lein) sind im Oberboden im Durchschnitt besser mit CAL-löslichem und wasserlöslichem Phosphor versorgt als die Grünlandböden. Dies sind Hinweise für vergleichsweise nährstoffreichere Bodenverhältnisse in den Ackerböden. Der Phosphor-Sättigungsgrad ist sowohl in den Acker- als auch in den Grünlandböden mit wenigen Ausnahmen sehr niedrig. Eine erosionsbedingte Phosphor-Anreicherung im Unterhang konnte bei den Ackerböden nicht festgestellt werden. Somit dürfte im Untersuchungsgebiet der Phosphor-Eintrag aus den Ackerböden, vor allem aber aus den Grünlandböden in das Grundwasser und in die Oberflächengewässer bei standortangepasster Bewirtschaftung, sachgerechter Düngung und durchschnittlichen Niederschlagsereignissen gering sein. Bei Starkregenereignissen in Kombination

mit eutrophierungsfördernden Relief- und Bodenverhältnissen (steile Hanglage, verdichtete Oberböden) besteht allerdings die Gefahr erhöhter Phosphor-Einträge in die Antiesen durch Bodenerosion auf Ackerflächen und Phosphor-Abschwemmung auf Grünlandflächen.

Literatur

Bohner, A., 2005: Bodenindikatoren für die Bewirtschaftungsintensität und die floristische Artenvielfalt im Wirtschaftsgrünland. Mitt. der Österr. Bodenkundl. Ges., Heft 72, 67-73.

Bohner, A. und G. Eder, 2006: Boden- und Grundwasserschutz im Wirtschaftsgrünland. Seminar Umweltprogramme für die Landwirtschaft, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 53-64.

Bohner, A. und M. Schink, 2007: Ergebnisse der Bodenuntersuchungen im Einzugsgebiet des Mondsees und Irrsees mit besonderer Berücksichtigung des Phosphors. Schriftenreihe BAW 26, 34-50.

Bohner, A., G. Eder und M. Schink, 2007a: Nährstoffkreislauf und Stoffflüsse in einem Grünland-Ökosystem. 12. Gumpensteiner Lysimetertagung. Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 91-99.

Bohner, A., F. Grims und M. Sobotik, 2007b: Die Rotschwingel-Straußgraswiesen im Mittleren Steirischen Ennstal (Österreich) – Ökologie, Soziologie und Naturschutz. Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, Band 136, 113-134.

Braun, M., M. Frey und P. Hurni, 1991: Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffverluste aus diffusen Quellen in die Gewässer im Rheineinzugsgebiet der Schweiz unterhalb der Seen (Stand 1986). FAC Liebefeld, 87 S.

Braun, M. und P. Hurni, 1993: Abschwemmung von Phosphor auf Grasland an zwei verschiedenen Standorten im Einzugsgebiet des Sempachersees. Landwirtschaft Schweiz, Band 6, 615-620.

Braun, M. und J. Leuenberger, 1991: Abschwemmung von gelöstem Phosphor auf Ackerland und Grasland während den Wintermonaten. Landwirtschaft Schweiz, Band 4, 555-560.

Braun, M. und V. Prasuhn, 1997: Maßnahmen, um die Gewässerbelastung zu vermindern. Agrarforschung 4, 339-342.

Diepolder, M., F. Peretzki, L. Heigl und B. Jakob, 2006: Nitrat- und Phosphorbelastung des Sickerwassers bei Acker- und Grünlandnutzung. Schule und Beratung, Heft 4/06.

Diepolder, M. und S. Raschbacher, 2007a: Saubere Seen – Forschungsprojekt Schwarzach 2002-2005. Abschlussbericht des Instituts für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft für das Bayerische Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, München.

Diepolder, M. und S. Raschbacher, 2007b: Quantifizierung von P-Austrägen aus landwirtschaftlichen Flächen – Ergebnisse eines Forschungsprojekts. Schule und Beratung, Heft 8-9/07, 5-12.

Eckhardt, K.-U. und P. Leinweber, 1997: P-Fractionen zur Vorhersage von P-Austrägen aus landwirtschaftlich genutzten Böden. Mitt. der Deutschen Bodenkundl. Ges. 85, II, 871-874.

- Franken, H. und M. Loh, 1987: Der Einfluss ackerbaulicher Maßnahmen auf die Dynamik der Aggregatstabilität. Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 28, 35-41.
- Frossard, E., P. Julien, J.-A. Neyroud und S. Sinaj, 2004: Phosphor in Böden, Düngern, Kulturen und Umwelt – Situation in der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 368, 172 S.
- Gächter, R., A. Mares, C. Stamm, U. Kunze und J. Blum, 1996: Dünger düngt Sempachersee. Agrarforschung 3, 329-332.
- Gerzabek, M.H., A. Baumgarten, M. Tulipan und S. Schwarz, 2004: Ist die Nährstoffversorgung der Pflanzen noch ausgewogen? Eine Analyse aufgrund von Bodenuntersuchungsergebnissen und Langzeitversuchen. Ländlicher Raum 2/2004, 1-8.
- Heinzlmaier, F., M.H. Gerzabek, M. Tulipan und A. Baumgarten, 2005: Pflanzennährstoffe in Österreichs Böden: Räumliche und zeitliche Variationen sowie Wechselwirkungen mit Bodeneigenschaften. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 17, 96-97.
- Kandeler, E. and E. Murer, 1993: Aggregate stability and soil microbial processes in a soil with different cultivation. Geoderma 56: 503-513.
- Kemper, W.D. and E.J. Koch, 1966: Aggregate stability of soils from Western United States and Canada. Measurement procedure, correlations with soil constituents. Technical Bulletin 1355, Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, Washington, 1-52.
- Klaghofer, E., 1997: Bodenerosion. In: Bodenschutz in Österreich. Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft, 37-45.
- Klapp, E., 1971: Wiesen und Weiden. 4. Auflage. Parey Verlag, 620 S.
- Kummert, R. und W. Stumm, 1989: Gewässer als Ökosysteme. Grundlagen des Gewässerschutzes. Teubner Verlag, 331 S.
- Leinweber, P., F. Lünsmann and K.U. Eckhardt, 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.
- Lookman, R., K. Jansen, R. Merckx and K. Vlassak, 1996: Relationship between soil properties and phosphate saturation parameters. A transect study in northern Belgium. Geoderma 69, 265-274.
- Meissner, R., H. Klapper und J. Seeger, 1992: Wirkungen einer erhöhten Phosphatdüngung auf Boden und Gewässer. Wasser und Boden 4, 217-220.
- Otto, A., 1980: Gewässerbelastung durch Land- und Forstwirtschaft. Wasser und Boden 1/1980, 26-30.
- Pihl, U. und W. Werner, 1993: Zur Interpretation von Quantitäts-/Intensitäts-Quotienten als Kriterien vertikaler Phosphatverlagerung in Böden. VDLUFA Kongressband 1993, 37, 99-102.
- Pommer, G., R. Schröpel und F. Jordan, 2001: Austrag von Phosphor durch Oberflächenabfluss auf Grünland. Wasser & Boden, 53/4, 34-38.

Prasuhn, V., 2001: Abschätzung der P- und N-Einträge in die Gewässer des Kantons Zürich mittels GIS. Mitt. der Deutschen Bodenkundl. Ges., Band 96, Heft 2, 645-646.

Richtlinien für die sachgerechte Düngung, 2006: Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft. 6. Aufl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 80 S.

Römer, W., 1997: Phosphoraustrag aus der Landwirtschaft in Gewässer. Wasser & Boden, 49. Jahrgang, 51-54.

Ruthsatz, B., 2001: Pflanzen- und Boden-Indikatoren für die Intensivierung der Landwirtschaft in Mittelgebirgen – am Beispiel des Wirtschaftsgrünlandes einer kleinen Gemeinde bei Trier. Arch. für Nat.-Lands. Vol. 40, 289-323.

Schachtschabel, P. und K. Hartge, 1959: Die Verbesserung der Strukturstabilität von Ackerböden durch eine Kalkung. Z. f. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 83, 193-202.

Scheffer, B., 1977: Stickstoff- und Phosphorverlagerung in nordwestdeutschen Niederungsböden und Gewässerbelastung. Geol. Jb. F4, 203-221.

Scheffer, F. und P. Schachtschabel (Begr.), 2002: Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, 593 S.

Schoeters, L., R. Lookmann, R. Merckx and K. Vlassak, 1995: Inventorisation and evaluation of phosphate saturation in Northern Belgium. Proceedings of the International Workshop, Phosphorus Loss to Water from Agriculture, Wexford, 79-80.

Schwertmann, U., 1964: Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. Z. f. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 105, 194-202.

Von Albertini, N., M. Braun und P. Hurni, 1993: Oberflächenabfluss und Phosphorabschwemmung von Grasland. Landwirtschaft Schweiz, Band 6, 575-582.

Werner, W., H.-W. Olf, K. Auerswald und K. Isermann, 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.

