

Maßnahmen zur Verminderung der Phosphoreinträge in das Grundwasser und in Oberflächengewässer mit besonderer Berücksichtigung des Grünlandes

A. Bohner, M. Diepolder und M. Wendland

Zusammenfassung

Das primäre Ziel dieser Studie war, in den Einzugsgebieten des Mondsees und Irrsees sowie des Waginger-Tachinger Sees praxisbezogene Maßnahmen zur Verminderung der Phosphoreinträge aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung in das Grundwasser und in die Oberflächengewässer zu erarbeiten und zu bewerten. Aufgrund der dort großen flächenmäßigen Bedeutung des Dauergrünlandes stellt die Verminderung der Phosphorabschwemmung in Hanglagen eine sehr wichtige landwirtschaftlich umsetzbare Maßnahme zur Verringerung der Phosphorbelastung der Seen und ihrer Zuflüsse dar. Dies wird in erster Linie durch die richtige Wahl des Düngezeitpunktes, durch den Schutz des Bodens vor einer nachhaltigen, schädlichen Oberbodenverdichtung und durch eine dichte, geschlossene Grasnarbe erreicht. An besonders auswaschungs- und abschwemmungsgefährdeten Standorten sind insbesondere in Gewässernähe die Senkung phosphorhaltiger Düngergaben oder ein Verzicht auf Düngung und daraus resultierend die Verminderung der Nutzungsintensität sowie auch spezielle Techniken der Gülleausbringung gerade auf drainierten Flächen (z.B. flache Injektion) langfristig betrachtet weitere wirksame und nachhaltige Gewässerschutzmaßnahmen.

Measures to reduce phosphorus losses to groundwater and to surface water with special regard to grassland

Summary

The primary aim of this study was to develop suitable measures to reduce losses of phosphorus from agricultural used soils to the groundwater and to the surface water in the catchments of the lakes Mondsee, Irrsee, and Waginger-Tachinger See. In the study area grassland is a very important land-use pattern. Therefore, phosphorus losses from grassland by surface runoff are prevailing. In order to minimize these phosphorus losses the optimum timing of fertilizer application, the avoidance of soil compaction, and the maintenance or establishment of a dense grass sward without gaps are important measures. On sites very susceptible to leaching and surface runoff – especially nearby surface waters - measures such as reduction in the rate of phosphorus-fertilizer application or cessation of fertilizing and the resulting decrease in management intensity as well as – especially on drained grassland - special techniques of slurry application (for example flat injection) are further effective and sustainable measures for the protection of the groundwater and the surface water in the long-term.

1. Einleitung

Für die Eutrophierung der Gewässer ist in erster Linie der Phosphor verantwortlich (KUMMERT & STUMM, 1989). Die Maßnahmen zur Verringerung der Eutrophierung von Oberflächengewässern haben sich deshalb auf diesen Nährstoff zu konzentrieren. Die Belastung der Gewässer durch Phosphor erfolgt sowohl durch punktuelle Quellen (kommunale und industrielle Kläranlagen sowie Regenwasserentlastungen) als auch durch diffuse Quellen (diffus anthropogene Belastung sowie natürliche Hintergrundlast). In den letzten Jahren haben die diffusen Quellen gegenüber den punktuellen Quellen relativ an Bedeutung gewonnen (PRASUHN, 2001); deswegen sind Gewässerschutzmaßnahmen gegen Phosphoreinträge aus diffusen Quellen besonders wichtig. Zur diffus anthropogenen Belastung zählen nach BRAUN et al. (1997) vor allem Phosphoreinträge durch die landwirtschaftliche Nutzung der Böden, durch Luftverschmutzung mit anschließender Deposition und durch freizeitbedingte Flächennutzung (Sportanlagen, Schrebergärten etc.). Aus landwirtschaftlich genutzten Böden kann Phosphor durch Erosion, Abschwemmung und Auswaschung ausgetragen werden (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 Silomais angebaut wird. Vom Grünland können allerdings erhebliche Mengen an gelöstem Phosphor abgeschwemmt werden, insbesondere wenn Gülle kurz vor einem Starkregenereignis oder im Winter über schneebedecktem und/oder gefrorenem 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 Eintragungspfad für Phosphor in die Gewässer (KLAGHOFER, 1997; PRASUHN, 2001). Die Phosphorauswaschung kann sowohl im Ackerland als auch im Grünland unter bestimmten Boden-, Vegetations- und Witterungsverhältnissen für die Eutrophierung der Gewässer von Bedeutung sein (SCHEFFER, 1977; OTTO, 1980; DIEPOLDER et al., 2006; BOHNER et al., 2007; DIEPOLDER & RASCHBACHER, 2007a, b).

In den Einzugsgebieten des Mondsees und Irrsees sowie des Waginger-Tachinger Sees ist der überwiegende Teil der landwirtschaftlich nutzbaren Fläche Dauergrünland, während der Ackerbau flächenmäßig eine geringe Bedeutung hat. Für die Eutrophierung der Gewässer durch landwirtschaftliche Nutzung der Böden ist daher die Bodenerosion weniger wichtig als die Abschwemmung und Auswaschung. Folglich sind die Maßnahmen zur Verminderung der landwirtschaftsbedingten Phosphoreinträge in das Grundwasser und in die Oberflächengewässer auf die Abschwemmung und Auswaschung im Dauergrünland fokussiert. Nicht eingegangen wird im Rahmen dieser Studie auf mögliche Kontaminationsquellen, die in keinem Zusammenhang mit der Landwirtschaft oder dem Gartenbau stehen, wie beispielsweise die Phosphorbelastung der Gewässer aus dem gesamten kommunalen, gewerblichen und industriellen Bereich.

Das primäre Ziel dieser Studie ist es daher, praxisbezogene und von der Landwirtschaft auch umsetzbare Maßnahmen zur Verminderung der Phosphor-Einträge aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung in das Grundwasser und in die Oberflächengewässer zu erarbeiten und zu bewerten.

Bei den vorgeschlagenen und einzuleitenden Gewässerschutzmaßnahmen geht es vor allem darum, die Bedürfnisse der Landwirtschaft und die Anforderungen des Gewässerschutzes möglichst optimal aufeinander abzustimmen. Es muss somit eine standortangepasste – und auch ökonomisch sinnvolle bzw. rentable – Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Flächen gewährleistet sein, aber gleichzeitig dafür gesorgt werden, dass möglichst wenig Nährstoffe (insbesondere Phosphor) aus den landwirtschaftlich genutzten Flächen in die Gewässer gelangen.

Diese Studie basiert auf Geländebeobachtungen und auf einer umfangreichen Literaturrecherche. Sie erhebt nicht den Anspruch einer wissenschaftlichen Untersuchung mit dem Ziel wesentliche neue Erkenntnisse zu gewinnen, sondern sie dient primär der Wissensvermittlung von der Forschung hin zur landwirtschaftlichen Praxis.

2. Maßnahmen

2.1 Dauerwiesen und Feldfutterbestände

An besonders auswaschungs- und abschwemmungsgefährdeten Standorten sind extensiv genutzte Dauerwiesen und naturnahe Wälder die günstigste Landnutzungsform in Bezug auf Schutz des Grundwassers und der Oberflächengewässer vor erhöhten Phosphoreinträgen (OTTO, 1980; DIEPOLDER & RASCHBACHER, 2007a, b). Besonders auswaschungsgefährdet sind stärker versauerte, grobporige, sandige, skelettreiche, flachgründige Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität, insbesondere wenn sie in kühlen, niederschlagreichen Gebieten mit häufigen Starkniederschlägen, intensiver Schneeschmelze oder ungünstiger topographischer Lage vorkommen. Ferner zählen dazu auch eutrophe, saure Anmoore, Niedermoore und Hochmoore (SCHEFFER, 1977). Besonders abschwemmungsgefährdet sind vor allem verdichtete, strukturgeschädigte Böden in steiler Hanglage, insbesondere wenn sie in niederschlagreichen Gebieten mit häufigen Starkniederschlägen oder intensiver Schneeschmelze vorkommen. An solchen auswaschungs- oder abschwemmungsgefährdeten Standorten sind im Falle einer bisherigen intensiven landwirtschaftlichen Nutzung ein Düngeverzicht oder die Senkung der Düngergaben sowie - daraus resultierend - die Verminderung der Nutzungsintensität langfristig betrachtet die wirksamsten und nachhaltigsten Gewässerschutzmaßnahmen. Dies setzt aber voraus, dass auch im Falle einer Extensivierung eine ganzjährig geschlossene Grasnarbe erhalten bleibt und offene Bodenstellen vermieden werden. Eine Flächenstilllegung (Grünlandbrache) hingegen ist für den Gewässerschutz nicht zielführend, denn ohne regelmäßigen Phosphorexport durch Mahd mit Abtransport des Mähgutes ist eine Phosphorabreicherung überdüngter Grünlandböden kaum

möglich; im Gegenteil, es besteht sogar die Gefahr einer Selbsteutrophierung des Ökosystems.

Vor allem in Hanglagen sollte eine Oberbodenverdichtung durch zu häufiges Befahren mit schweren landwirtschaftlichen Maschinen vermieden werden. Verdichtete, strukturgeschädigte Böden in Hanglagen weisen infolge verminderter Infiltration von Regen- und Schneeschmelzwasser einen erhöhten Oberflächenabfluss sowie eine geringere Infiltrationsrate der flüssigen Wirtschaftsdünger (Gülle, Jauche) auf. Dies verstärkt das Risiko für eine Phosphorabschwemmung aus aufgebrauchten Düngemitteln in die Oberflächengewässer.

Um die Gefahr einer Phosphorabschwemmung und Gewässereutrophierung zu reduzieren, gleichzeitig aber auch die gasförmigen Ammoniakverluste gering zu halten, sollten flüssige Wirtschaftsdünger in steiler Hanglage insbesondere im Nahbereich von Gewässern keinesfalls vor einem Dauer- oder Gewitterregen sondern idealer Weise nach einem leichten Regen oder kurz davor in verdünnter Form (Gülle: 1:1; Jauche: 2:1) ausgebracht werden.

Für den Gewässerschutz von Bedeutung ist die Erhaltung oder Wiederherstellung eines porösen, lockeren, feinaggregierten Krümelgefüges im Oberboden anstelle eines dichten, groben Plattengefüges. Nutzungsbedingte Gefügestörungen im Oberboden und eine nachhaltige, schädliche Oberbodenverdichtung können weitgehend vermieden werden, wenn das Befahren der Wiesen auf das absolut notwendige Minimum beschränkt wird. Eine Verringerung der mechanischen Bodenbelastung ist außerdem durch die Verwendung leichter Traktoren und Arbeitsmaschinen sowie durch eine richtige Bereifung (angepasster Reifendruck, Breit- und Niederdruckreifen) möglich (BRAUN et al., 1997). Eine natürliche Regeneration des Grünlandbodens (Auflockerung des verdichteten Oberbodens durch Bildung sekundärer Grobporen) kann erfolgen durch Quellen und Schrumpfen (insbesondere in tonreichen Böden), Bodenfrost (insbesondere in wassergesättigten Böden), grabende Bodentiere (insbesondere Regenwürmer) und Pflanzenwurzeln. Besonders verdichtungsempfindliche Böden (vor allem humusärmere, schluffreiche Böden) in abschwemmungsgefährdeter Hanglage sollten aus Gründen des Gewässerschutzes möglichst nur extensiv landwirtschaftlich genutzt werden.

Bestehende Geländemulden dienen als natürliche Sedimentationsbecken und Wasserspeicher (HURNI et al., 1992). Sie sollten daher in der Nähe von Oberflächengewässern ebenso wie Hecken, Gehölzstreifen, Feldgehölze, Streuwiesen und Auwälder unbedingt erhalten werden.

Boden- und standortspezifische Düngeempfehlungen berücksichtigen neben dem Wärme- und Wasserhaushalt des Standortes auch die Reliefposition. Unterhang-, Mulden- und Rinnenlagen sowie Hangverebnungen und Hangfußbereiche sind natürliche Anreicherungsstandorte und haben somit meist einen geringeren Düngebedarf.

Generell ist die Nährstoffverfügbarkeit im Boden bei vergleichbarer Düngung auf feuchten Standorten größer als auf trockenen Standorten, weil durch den höheren Massenfluss und die größeren Diffusionskoeffizienten eine bessere Nährstoffanlieferung zu den Pflanzenwurzeln erfolgt. Daraus leitet sich ein vergleichsweise niedrigerer Düngebedarf auf feuchten Standorten oder in niederschlagreichen Jahren ab.

Die Düngung ist an den zeitlichen und mengenmäßigen Nährstoffbedarf der Vegetation anzupassen. Grünlandpflanzen haben ihren höchsten Phosphorbedarf im Frühjahr. Mit dem ersten Aufwuchs werden etwa 10 bis 14 kg Phosphor pro Hektar entzogen. Eine mineralische Phosphorergänzungsdüngung sollte daher bevorzugt im Frühjahr kurz vor Beginn der Vegetationsperiode erfolgen.

Auf eine richtige Wahl der Düngemittel ist zu achten. Eine mineralische Phosphorergänzungsdüngung in Form von Hyperphosphat ist vor allem auf kalkreichen, trockenen Böden mit pH-Werten über 6,2 wegen der geringen Düngereffizienz nicht zu empfehlen.

Im Rahmen eines differenzierten abgestuften Wiesenbaus (DIETL & LEHMANN, 2006) ist eine sinnvolle Verteilung der Wirtschaftsdünger auf die vorhandenen Grünlandflächen entsprechend ihres Ertragspotentials notwendig. Demzufolge sollten auch hofnahe Eigenflächen gegenüber hoffernen Pachtflächen nicht bevorzugt werden.

Durch Fehler bei der Mineral- und Wirtschaftsdüngerausbringung kann es zu kleinräumigen Phosphoranreicherungs-zonen mit erhöhtem Phosphoraustragspotential kommen (WERNER et al., 1991). Eine gleichmäßige Verteilung der Dünger auf der jeweiligen Grünlandfläche wird durch eine geeignete Applikationstechnik erreicht.

Eine weitgehende Anpassung der Nutztierbestände an die vorhandene Futterfläche und deren Ertragspotential ist sowohl aus pflanzenbaulichen als auch aus wasserwirtschaftlichen Gründen notwendig. Bei gravierender Diskrepanz ist eine Reduzierung des Viehbestandes und/oder eine Flächenausdehnung notwendig.

Die Phosphorbilanz der landwirtschaftlichen Betriebe (Hoftorbilanz) und der einzelnen Schläge (Flächenbilanz) sollte ausgeglichen sein. Gravierende Phosphorbilanzüberschüsse auf den einzelnen Berechnungsebenen sind abzubauen. Ein permanenter Phosphorbilanzüberschuss führt allmählich zu einer Phosphoranreicherung im Oberboden und erhöht somit das Phosphoraustragsrisiko über mehrere Jahre.

Durch eine Verbesserung der Grundfutterqualität – sie wird vor allem durch die richtige Wahl des Schnittzeitpunktes und durch die Schaffung bzw. Erhaltung hochwertiger Pflanzenbestände erzielt – kann die Menge an zugekauftem Kraftfutter und damit auch die Höhe des Phosphorimports reduziert werden.

Die Abgabe überschüssiger Wirtschaftsdünger an andere landwirtschaftliche Betriebe, die Bildung von Betriebskooperationen, die Einrichtung einer Güllebörse sowie die Schaffung von ausreichendem Lagerraum für Gülle sind weitere düngetechnische Maßnahmen zum Schutz der Gewässer vor Eutrophierung.

Bei der Düngung und bei der Feldmietenzwischenlagerung sind die gesetzlich vorgeschriebenen Mindestabstände zu Oberflächengewässern oder Entwässerungsgräben strikt einzuhalten.

Die Schaffung bzw. Erhaltung einer ganzjährig geschlossenen, dichten Grasnarbe ist generell eine sehr wichtige erosions-, abschwemmungs- und auswaschungsmindernde pflanzenbauliche Gewässerschutzmaßnahme. Sie erfolgt primär durch eine standortangepasste Grünlandbewirtschaftung und erst sekundär durch eine Nachsaat mit geeignetem Saatgut.

Auch beim Feldfutterbau muss auf eine dichte, geschlossene Grasnarbe durch eine standortgerechte Wahl der Saatgutmischung geachtet werden.

Die Art der Bewirtschaftung (Wiese, Weide, Mähweide) und die Intensität der Nutzung (Anzahl der Schnitte oder Weidegänge pro Jahr) sowie die Beurteilung des Nährstoffzustandes im Boden haben sich immer an der naturräumlichen Standortbonität zu orientieren. Bei geringerer naturräumlicher Standortbonität ist die Düngungs- und Nutzungsintensität entsprechend zu verringern. Die Grenzen der Intensivierung und die ökologische Nachhaltigkeit der Grünlandbewirtschaftung können mit Hilfe von Indikationskennwerten festgestellt werden (BOHNER, 2005). Bewährte feldbodenkundliche Indikatoren sind beispielsweise die Struktur und Farbe des Oberbodens. Günstig (Sollzustand) ist ein lockeres, poröses, feinaggregiertes Krümelgefüge; ungünstig ist ein dichtes, grobes Plattengefüge mit zahlreichen Roströhren als Zeichen einer nutzungsbedingten Oberbodenverdichtung und daraus resultierender Krumenwechselfeuchtigkeit. Auch die Grünlandvegetation zeigt den Grad der Trophie des Bodens und nutzungsbedingte Gefügestörungen im Oberboden an. In diesem Zusammenhang sind vor allem Überdüngungszeiger (insbesondere *Rumex obtusifolius*, *Anthriscus sylvestris*, *Heracleum sphondylium* ssp. *sphondylium*, *Aegopodium podagraria*, *Elymus repens*), nährstoffliebende Ackerunkräuter und Ruderalpflanzen (Therophyten wie beispielsweise *Capsella bursa-pastoris*, *Stellaria media*, *Bromus hordeaceus*) sowie Zeigerpflanzen für Oberbodenverdichtung und Krumenwechselfeuchtigkeit (insbesondere *Ranunculus repens*, *Agrostis stolonifera*, *Poa annua*, *Poa trivialis*) zu erwähnen. Diese Pflanzenarten zeigen bei gehäuftem Vorkommen eutrophe (überdüngte) Grünlandböden mit hohem Nährstoffaustragspotential und/oder verdichtete, krumenwechselfeuchte und somit abschwemmungsgefährdete Grünlandböden an.

Neben Bodenanalysedaten aus dem Oberboden und idealer Weise auch aus dem Unterboden sollten in Zukunft bei Düngeempfehlungen vor allem der Pflanzenbestand, der Zeigerwert der Grünlandpflanzen, die Bodeneigenschaften (insbesondere Gründigkeit, Textur, Struktur), die mineralogische Zusammensetzung

des bodenbildenden Muttergesteins, die Geländeform, der Wärme- und Wasserhaushalt sowie die langjährige Düngungs- und Nutzungsgeschichte des Standortes stärker berücksichtigt werden. Die Gehaltsklasseneinstufung für den CAL-löslichen Phosphorgehalt bei Grünlandböden gemäß den Richtlinien für die sachgerechte Düngung (BMLFUW, 2006; BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 2007) hingegen kann nur eine sehr grobe Orientierung für Phosphor-Düngeempfehlungen liefern.

Bei der regelmäßigen Bodenuntersuchung zur Feststellung des Phosphordüngebedarfs sollte unbedingt auf eine sorgfältige und repräsentative Bodenprobenahme geachtet werden.

2.2 Dauerweiden

In den intensiv genutzten Kulturweiden sind lokale Phosphoranreicherungen im Oberboden in der Umgebung von Viehtränken (WEST et al., 1989), im Lagerbereich der Weidetiere sowie beim Weideeingang (BOHNER & TOMANOVA, 2006) möglich. Um lokale Phosphoranreicherungen im Oberboden zu minimieren, sollten je nach Größe der Weidefläche mindestens zwei Tränkestellen vorhanden sein. Eine Tränke am entlegensten Punkt der Weide ist zweckmäßig, weil dadurch die Beweidung gleichmäßiger erfolgt und Harn und Kot besser auf der Weidefläche verteilt werden (HÄUSLER, 2006). Die Tränkestelle sollte sich nicht am Weideeingang befinden, da hier der Oberboden ohnehin stark mit Phosphor angereichert ist. Günstig ist eine mobile Tränke (Wassertank mit Schwimmerbecken), deren Standplatz während der Weideperiode ständig gewechselt wird.

Die Weideführung muss so erfolgen, dass eine möglichst gleichmäßige Trittbelastung und gute Verteilung von Harn und Kot erreicht wird. Bevorzugte Liegeplätze der Weidetiere und stark frequentierte Weidebereiche sollten zeitweise ausgezäunt, deren Aufwuchs gemäht und das Mähgut abtransportiert werden.

Die Weidefläche sollte eine möglichst einheitliche Futterqualität aufweisen, regelmäßig nachgemäht werden und keine größere Hangneigung aufweisen (HÄUSLER, 2006). Steilere Hanglagen (über 15°) sollten keinesfalls stärker mit Rindern beweidet werden, denn durch intensive Rinderbeweidung werden die Oberböden verdichtet (BOHNER & TOMANOVA, 2006). Aufgrund der daraus resultierenden verminderten Infiltration des Regen- und Schneeschmelzwassers sowie der flüssigen Wirtschaftsdünger (Gülle, Jauche) erhöht sich in Hanglagen das Risiko für eine Phosphorabschwemmung aus aufgebrauchten Düngemitteln und eine Urinverlagerung in Oberflächengewässer ist möglich. Außerdem entstehen in steileren Hanglagen bei ständig intensiver Rinderbeweidung Trittschäden (Viehgangeln) mit stellenweise vegetationsfreiem Boden. Während eines Dauer- oder Gewitterregens und bei der Schneeschmelze kann infolge fehlender Vegetationsschicht Phosphor durch Erosion in Oberflächengewässer verlagert werden. Auf diesen vegetationsfreien und somit erosionsgefährdeten Teilflächen ist eine

Nachsaat mit geeignetem Saatgut dringend notwendig. Nachhaltiger ist allerdings eine Bewirtschaftungsänderung. Steilere Hanglagen sollten insbesondere im Nahbereich von Gewässern extensiv als Mähwiese genutzt werden; auch eine extensive Beweidung mit Schafen oder Ziegen ist möglich.

Bei der Düngung ist zu berücksichtigen, dass in der Vegetationsperiode je nach Beweidungsdauer ein Großteil der Exkremente auf der Weidefläche ausgeschieden wird und somit in Abhängigkeit von der Besatzstärke eine beachtliche Nährstoffrücklieferung über Harn und Kot der Weidetiere erfolgt. Am günstigsten ist eine mehrmalige Düngung während der Vegetationsperiode mit jeweils kleinen Wirtschaftsdüngergaben (maximal $10-15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) in Form von verdünnter Jauche (2:1) oder Gülle (1:1) (HÄUSLER, 2006). Aus wasserwirtschaftlicher Sicht betrachtet ist zumindest auf stark durchlässigen, flachgründigen Böden und/oder in Gebieten mit hohen Herbstniederschlägen eine späte Herbsdüngung (ab Mitte Oktober) insbesondere mit flüssigen Wirtschaftsdüngern wegen der Gefahr einer erhöhten Phosphorauswaschung und/oder Phosphorabschwemmung problematisch. Eine mineralische Phosphorergänzungsdüngung sollte nur im Frühjahr kurz vor Beginn der Vegetationsperiode durchgeführt werden. Um die Gefahr einer Phosphorabschwemmung und Gewässereutrophierung zu reduzieren, gleichzeitig aber auch die gasförmigen Ammoniakverluste gering zu halten, sollten flüssige Wirtschaftsdünger in Hanglage insbesondere im Nahbereich von Gewässern keinesfalls vor einem Dauer- oder Gewitterregen sondern idealer Weise nach einem leichten Regen oder kurz davor in verdünnter Form ausgebracht werden.

Die bevorzugten Aufenthaltsorte der Weidetiere, der Weideeingang oder die unmittelbare Umgebung von Viehtränken sollten nicht oder nur sehr selten gedüngt werden. Diese Phosphoranreicherungszone sollten bei der Bodenprobenahme ausgelassen oder getrennt von der restlichen Weidefläche beprobt werden, wenn die Bodenuntersuchungswerte die Basis für Düngeempfehlungen sind (WEST et al., 1989).

Ist die Weidefläche stellenweise infolge Trittschäden lückig, empfiehlt sich eine Nachsaat mit geeignetem Saatgut.

Der freie Zugang der Weidetiere zu Oberflächengewässern muss durch einen Zaun verhindert werden. Quellbereiche und vernässte Stellen in der Weidefläche sind auszuzäunen.

Generell sind Feucht- und Nassstandorte nicht oder nur bedingt weidefähig; die ökologisch günstigste Bewirtschaftungsart auf diesen Standorten ist die ein- bis zweimalige Schnittnutzung pro Jahr mit Abtransport des Mähgutes (BOHNER & EDER, 2006).

In der Nähe von eutrophierungsgefährdeten Gewässern ist eine Verringerung der Beweidungsintensität durch eine integrierte Schnittnutzung erforderlich (LANDWEHR & ISSELSTEIN, 2001). Diese sollte bevorzugt gegen Ende der Vegetationsperiode

stattfinden (FREDE & DABBERT, 1998). In Gewässernähe dürfen auch keine Tränke- oder Zufütterungsplätze angelegt werden (FREDE & DABBERT, 1998) und im unmittelbaren Seeuferbereich sollte keine Beweidung stattfinden.

Bei der Anlage von Viehtriebwegen ist darauf zu achten, dass deren Oberflächenabfluss nicht direkt in Gewässer einmündet, weil es durch Erosion und Abschwemmung zu erheblichen Phosphoreinträgen kommen kann.

2.3 Haus- und Schrebergärten

Gartenböden sind in den obersten 10 cm häufig mit Phosphor stark überdüngt (BOHNER & SCHINK, 2007). Die Information und Beratung der Bevölkerung durch die Gemeinde oder Gärtner ist eine nichtlandwirtschaftliche Maßnahme zur Verminderung der Phosphoreinträge in das Grundwasser und in die Oberflächengewässer.

2.4 Drainagen

Starkregenereignisse, die unmittelbar auf eine Gülledüngung folgen, können auf drainiertem Grünland hohe Phosphorausträge aus Drainagen bewirken (HÖLTL & VOGL, 1983; SEIFFERT, 1990). Auch neuere Forschungsergebnisse der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (DIEPOLDER et al., 2005a, b) lassen darauf schließen, dass Starkregenereignisse direkt nach Düngung bei Grünland über den Pfad Makroporen und Drainagen (Zwischenabfluss) erhebliche Belastungsspitzen für den Phosphoreintrag in Oberflächengewässer bedeuten können.

Für den wahrscheinlichen Fall, dass drainierte wertvolle Flächen meist auch weiterhin als Futtergrundlage für die Milchviehhaltung benötigt werden, sollte geprüft werden ob und inwieweit gerade hier überbetrieblich die Möglichkeit geschaffen werden kann, eine streifenförmige Gülleausbringung (flache Injektion oder Schleppschuh) gegenüber der praxisüblichen Pralltellertechnik zu etablieren.

Anhaltspunkte für diese Überlegungen bilden Untersuchungen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (DIEPOLDER et al., 2005a, b; DIEPOLDER & RASCHBACHER, 2007a) auf Praxisflächen, wo bei flacher Gülleinjektion nach unmittelbar auf die Gülledüngung folgenden (simulierten) Starkregenereignissen im Dränwasser niedrigere Phosphorkonzentrationen, Phosphorfrachten und ein geringerer Anteil an partikulärem Phosphor gegenüber oberflächlicher Ausbringung mit dem Prallteller gemessen wurde. Das flache Einschlitzen der Gülle in die Grasnarbe mit einem Praxisgerät bewirkte dabei einen im Mittel um 60 % reduzierten Austrag an Gesamtphosphor. Somit deuten die Ergebnisse darauf hin, dass dieses Verfahren gerade bei ökologisch sensiblen Gewässern mit einem hohen Anteil an drainierten Grünlandflächen im Einzugsgebiet eine Möglichkeit sein kann, Phosphoreinträge und Phosphorkonzentrationen zu senken. Ob und inwieweit sich jedoch

auch ohne solche „worst case Bedingungen“ (die als Folge des Klimawandels jedoch eher zunehmen dürften) Unterschiede in Bezug auf den Phosphoraustrag und die Phosphorfraktionen ergeben und/oder ob sich auch andere, nicht flächige Applikationstechniken wie Schleppschlauch oder Schleppschuh positiv auswirken, bleibt weiteren Forschungsvorhaben vorbehalten.

In der unmittelbaren Umgebung eutrophierungsgefährdeter Gewässer sollte weiterhin nach ökonomisch und für die betroffenen landwirtschaftlichen Betriebe akzeptablen Möglichkeiten gesucht werden, Drainagen aufzulassen und die betreffenden - sich wieder vernässenden - Flächen extensiv in Form einer ein- bis zweischnittigen Mähnutzung ohne oder nur mit geringer Düngung zu bewirtschaften. Eine sinnvolle Verwertung des Mähgutes sollte dabei im Vorfeld solcher Überlegungen sichergestellt sein.

Prinzipiell sollten Feucht- und Nassstandorte (insbesondere saure Anmoore und Niedermoore) wegen der erhöhten Phosphorlöslichkeit im Boden und des daraus resultierenden größeren Phosphorauswaschungspotentials nicht oder nur sehr maßvoll während der Vegetationszeit mit phosphorhaltigen Düngemitteln gedüngt werden. Hydromorphe Böden und ihre Standorte sollten im Rahmen einer ökologisch orientierten nachhaltigen Grünlandbewirtschaftung Vorrangflächen für den Naturschutz darstellen und somit extensiv als Grünland bewirtschaftet werden.

2.5 Gewässerrandstreifen

Entlang von eutrophierungsgefährdeten Gewässern sollten Gewässerrandstreifen angelegt werden. Damit diese Saumbiotope ihre Filterfunktion erfüllen können, müssen sie eine Mindestbreite von 10 m haben und eine dichte Vegetation aufweisen (KNAUER & MANDER, 1989; BRAUN et al., 1997). Um eine Selbsteutrophierung zu verhindern, müssen diese Pufferzonen regelmäßig gemäht werden, wobei das Mähgut unbedingt abzuführen ist. Auch die Streuwiesen im Verlandungsbereich der Seen sollten aus diesem Grund regelmäßig im Herbst geschnitten werden; ein Abtransport des Mähgutes wird dringend empfohlen. Diese ökologisch wertvollen Flächen dürfen selbstverständlich nicht gedüngt werden. Eine Verwertung des Mähgutes ist dabei im Vorfeld sicherzustellen.

2.6 Sonstige Maßnahmen

Die Ausarbeitung von kostengünstigen Routinemethoden, die eine bessere Beurteilung des Gehaltes der Böden an pflanzenverfügbarem Phosphor als die CAL-Methode ermöglichen, die Quantifizierung der atmogenen und pedogenen Phosphorbasisfracht (Hintergrundlast) in verschiedenen naturnahen Ökosystemen, die Festlegung regionaler Grenzwerte für den Phosphorgehalt von Böden im Hinblick auf die Phosphorausstragsgefährdung, die Ausarbeitung und Überprüfung von geeigneten Maßnahmen, um die Phosphormobilität im Boden an besonders auswaschungs-

gefährdeten Standorten zu senken, sowie die Ausarbeitung und Überprüfung von Abmagerungsstrategien bei zu hoch mit Phosphor versorgten Böden sind Herausforderungen für die Wissenschaft zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung mit Phosphor aus landwirtschaftlichen Quellen. Eine Überprüfung der zur Zeit in Österreich gültigen Gehaltsklasseneinstufung für den CAL-löslichen Phosphorgehalt von Grünlandböden gemäß den Richtlinien für die sachgerechte Düngung (BMLFUW, 2006) wird dringend empfohlen. Weitere landwirtschaftliche Maßnahmen, wie beispielsweise Erosionsschutzmaßnahmen im Ackerland, sind im Untersuchungsgebiet derzeit nur kleinräumig relevant, so dass darauf nicht gesondert eingegangen werden muss. Die gesetzlichen Bestimmungen und Umweltauflagen hinsichtlich Boden- und Gewässerschutz (z.B. Wasserrechtsgesetz, Trinkwasserverordnung, EU-Nitratrichtlinie, Aktionsprogramm Nitrat, Düngemittelgesetz, Bodenschutzgesetze der österreichischen Bundesländer) sind in der landwirtschaftlichen Praxis selbstverständlich strikt zu befolgen.

3. Umsetzung

Bei den angeführten Gewässerschutzmaßnahmen handelt es sich sowohl um Symptombekämpfungsmaßnahmen wie beispielsweise die Anlage von Gewässerstrandstreifen als auch um Ursachenbekämpfungsmaßnahmen wie beispielsweise die Extensivierung besonders auswaschungs- oder abschwemmungsgefährdeter Flächen. Für einen wirksamen und nachhaltigen Gewässerschutz haben allerdings die Ursachenbekämpfungsmaßnahmen eine vergleichsweise höhere Priorität.

Die einzelnen Maßnahmen zur Senkung der Phosphorverluste aus landwirtschaftlich genutzten Flächen müssen zunächst einmal eine breite Akzeptanz bei den Landwirtinnen und Landwirten finden. Die Information, Motivation, Schulung und Beratung der Landnutzer in den Seengebieten durch Behörden, Interessensvertreter und landwirtschaftliche Berater ist daher Grundvoraussetzung für eine effiziente und sachgerechte Umsetzung der vorgeschlagenen und einzuleitenden Maßnahmen.

Besonders wichtig erscheint die Abstimmung der zu ergreifenden Maßnahmen auf den Standort (aktueller Boden- und Vegetationszustand, Witterungsverhältnisse), den landwirtschaftlichen Betrieb und auf die regionalen Gegebenheiten (Bewirtschaftungspraxis in der Region; agrarpolitische, umweltpolitische und sozioökonomische Rahmenbedingungen).

Die Anstellung landwirtschaftlicher Seenmanager für die Information, Schulung und Beratung der Landnutzer, Gemeinden und Bevölkerung hinsichtlich Bedeutung, Notwendigkeit und Gestaltung der einzuleitenden Gewässerschutzmaßnahmen ist für die Verminderung der Gewässereutrophierung ebenfalls von großer Bedeutung.

Die Umsetzung einzelner Gewässerschutzmaßnahmen, wie beispielsweise die Extensivierung vorher intensiv genutzter, auswaschungs- oder abschwemmungsgefährdeter Grünlandflächen, ist aus landwirtschaftlicher Sicht betrachtet

problematisch, da sie auch mit finanziellen Einbußen für die Landwirtinnen und Landwirte verbunden ist. Die Bewirtschaftungsschwernisse, Mehrarbeit, Zusatzkosten, Einschränkungen in der Düngung und Nutzung, Wertminderung der Grünlandfläche, Ertragsrückgänge und Verschlechterung der Futterqualität aufgrund von Gewässerschutzmaßnahmen sollten finanziell abgegolten werden.

Bei der Umsetzung der angeführten Einzelmaßnahmen müssen immer auch deren Folgen (Konsequenzen) berücksichtigt werden. Beispielsweise darf die Extensivierung vorher intensiv genutzter, auswaschungs- oder abschwemmungsgefährdeter Grünlandflächen nicht dazu führen, dass die Ertragsrückgänge und Minderung der Futterqualität infolge Gewässer-schonender Grünlandnutzung durch einen (verstärkten) Zukauf von Kraftfutter und/oder durch eine Erhöhung der Düngergaben auf anderen Grünlandflächen ausgeglichen werden.

4. Erfolgskontrolle

Die Erfolgskontrolle hinsichtlich sachgerechter Umsetzung, Wirksamkeit und Folgen der eingeleiteten Gewässerschutzmaßnahmen hat durch landwirtschaftliche Seenmanager, Behörden und wissenschaftliche Institutionen zu erfolgen.

Der Zeitraum und die Häufigkeit der Kontrolle richten sich danach, ob es sich um kurzfristig wirksame oder um sehr langfristig wirksame Gewässerschutzmaßnahmen handelt. Bei der Erfolgskontrolle ist zu beachten, dass es für die einzelnen Maßnahmen eine unterschiedlich lange Zeitverzögerung zwischen Maßnahmensetzung und deren Wirkung gibt. Beispielsweise kann es mehrere Jahre dauern, bis ein Düngeverzicht eindeutig und nachhaltig eine Verminderung der Phosphorauswaschung mit dem Sickerwasser bewirkt.

Die Erfolgskontrolle soll auch dazu beitragen, die einzelnen Gewässerschutzmaßnahmen weiterzuentwickeln und regionenspezifische Prioritätenlisten aufzustellen.

Im Falle einer unbefriedigenden Entwicklung der Wasserqualität der Seen sind zusätzliche für den Gewässerschutz relevante Maßnahmen zu ergreifen oder entsprechende Maßnahmenkombinationen nach Abstimmung aller betroffenen Interessensgruppen einzuleiten.

Dank

Dem anonymen Begutachter danken wir für Anmerkungen und konstruktive Kritik.

5. Literaturverzeichnis

- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL), 2007: Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland (Gelbes Heft), 8. überarbeitete Auflage 2007, Freising.
- BMLFUW, 2006: Richtlinien für die sachgerechte Düngung. 6. Auflage, Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, Wien, 80 S.
- 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., G. EDER und M. SCHINK, 2007: Nährstoffkreislauf und Stoffflüsse in einem Grünland-Ökosystem. 12. Gumpensteiner Lysimetertagung, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 91-99.
- BOHNER, A. and O. TOMANOVA, 2006: Effects of cattle grazing on selected soil chemical and soil physical properties. Grassland Science in Europe, Vol. 11, 89-91.
- 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.
- 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 Liebfeld, 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., D. KOPSE ROLLI und V. PRASUHN, 1997: Verminderung des Nährstoffeintrages in Gewässer durch Maßnahmen in der Landwirtschaft. Schriftenreihe Umwelt Nr. 293, BUWAL, 100 S.
- 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., S. RASCHBACHER und T. EBERTSEDER, 2005a: Versuchsergebnisse zum P-Austrag aus Drainagen unter Grünland bei Düngerapplikation unmittelbar vor einem Starkregenereignis. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 17, 134-135.
- DIEPOLDER, M., S. RASCHBACHER und T. EBERTSEDER, 2005b: P-Austrag aus Drainagen unter Wirtschaftsgrünland. Schule und Beratung, Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, 6-11.
- 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.
- DIETL, W. und J. LEHMANN, 2006: Ökologischer Wiesenbau. Österreichischer Agrarverlag, 136 S.
- FREDE, H.-G. und S. DABBERT, 1998 (Hrsg.): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft. ecomed Verlagsgesellschaft, 451 S.
- 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.
- HÄUSLER, J., 2006: Die Weide wird wieder salonfähig! *top Journal* 4/2006, 26-29.
- HÖLTL, W. und H. VOGL, 1983: Untersuchungen zur Ermittlung des Nährstoffaustrages durch die Dränung mit Hilfe von Beregnungsversuchen. *Berichte über Landwirtschaft* 61, 400-415.
- HURNI, P., M. BRAUN und F. SCHÄRER, 1992: Abschätzung der P-Einträge in den Sempachersee aus diffusen Quellen und Maßnahmen zu deren Reduktion. *EAWAG-Mitteilungen* 34 D, 33-36.
- KLAGHOFER, E., 1997: Bodenerosion. In: *Bodenschutz in Österreich*. Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft, 37-45.
- KNAUER, N. und Ü. MANDER, 1989: Untersuchungen über die Filterwirkung verschiedener Saumbiotope an Gewässern in Schleswig-Holstein. 1. Mitteilung: Filterung von Stickstoff und Phosphor. *Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung* 30, 365-376.
- KUMMERT, R. und W. STUMM, 1989: *Gewässer als Ökosysteme. Grundlagen des Gewässerschutzes*. Teubner Verlag, 331 S.
- LANDWEHR, B. und J. ISSELSTEIN, 2001: Zum Einfluss von Frühjahrs- und Herbstmahd auf die Nitratauswaschung unter Mähweiden. 45. Jahrestagung Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau in der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 155-157.
- OTTO, A., 1980: Gewässerbelastung durch Land- und Forstwirtschaft. *Wasser und Boden* 1/1980, 26-30.
- 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. Dtsch. Bodenkundl. Ges.*, Band 96, Heft 2, 645-646.
- SCHEFFER, B., 1977: Stickstoff- und Phosphorverlagerung in nordwestdeutschen Niederungsböden und Gewässerbelastung. *Geol. Jb. F4*, 203-221.
- SEIFFERT, P., 1990: Stoff-Einträge aus der Landwirtschaft in ein kleineres Stehgewässer. *Ökologie & Naturschutz* 3, 127-149.
- VON ALBERTINI, N., M. BRAUN und P. HURNI, 1993: Oberflächenabfluss und Phosphorabschwemmung von Grasland. *Landwirtschaft Schweiz*, Band 6, 575-582.
- WERNER, W., H.-W. OLFS, 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.
- WEST, C.P., A.P. MALLARINO, W.F. WEDIN and D.B. MARX, 1989: Spatial variability of soil chemical properties in grazed pastures. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53, 784-789.

Autoren:

Dr. Andreas Bohner¹

Dr. Michael Diepolder² und Dr. Matthias Wendland²

¹Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Abteilung für Umweltökologie, 8952 Irdning, Österreich

²Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, 85354 Freising, Deutschland



gefördert von der Europäischen Union mit Mitteln aus dem Europäischen Regionalfonds im Rahmen der Gemeinschaftsinitiative INTERREG IIIA