

Institut für Ökosystemforschung
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Phosphor in der Landschaft Management eines begrenzten Nährstoffes



Abschlussbericht des Projektes Az.: 31180 – 34 der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt,

Dr. Bettina Holsten, Dr. Matthias Pfannerstill und PD Dr. Michael Trepel

Kiel, August 2016



Projekt Az.: 31180-34

Phosphor in der Landschaft – Management eines begrenzten Nährstoffes

Abschlussbericht

Projektbearbeitung:	Dr. Bettina Holsten Dr. Matthias Pfannerstill
Projektleitung:	PD Dr. Michael Trepel
Wissenschaftliche Begleitung:	Prof. Dr. Joachim Schrautzer Dr. Wilhelm Windhorst
Projektverwaltung:	Britta Witt

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	31180	Referat	34	Fördersumme	124.080 €
----	--------------	---------	-----------	-------------	------------------

Antragstitel	Phosphor in der Landschaft - Management eines begrenzten Nährstoffs				
Stichworte	Phosphorausträge Landwirtschaft, Phosphordüngung, Gewässereutrophierung, Maßnahmenkatalog				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
32 Monate	1.12.2013	31.08.2016			
Zwischenberichte	Januar 2015				
Bewilligungsempfänger	Präsidium der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel			Tel 0431 – 880 4030	
	vertreten durch den Präsidenten			Fax 0431 – 880 4083	
	Herrn Prof. Dr. G. Fouquet			Projektleitung	
	Christian-Albrechts-Platz 4			PD Dr. Michael Trepel	
	D-24118 Kiel			Bearbeiter	
				Dr. B. Holsten, Dr. M. Pfannerstill	

Kooperationspartner***Zielsetzung und Anlass des Vorhabens***

Phosphor ist ein begrenzt vorhandener Rohstoff, der in der Pflanzenernährung nicht ersetzbar ist. Ziel des Projektes ist es, das Wissen zum Verhalten von verschiedenen Phosphorfraktionen in der Landschaft verständlich aufzuarbeiten, ihre ökologische Wirksamkeit zu erläutern und Möglichkeiten zum effizienten Einsatz von Phosphor aufzuzeigen. Durch die verständliche Aufbereitung des vorhandenen Wissens in Form einer Informationsbroschüre wird den verantwortlichen Akteuren aus der Landwirtschaft und Entscheidungsträgern ein Handwerkszeug zur Verfügung gestellt, mit dem ein nachhaltiger Umgang mit der Ressource Phosphor und ein effizienterer Gewässerschutz umgesetzt werden kann.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Die erste Arbeitsphase bestand aus einer umfangreichen Literaturlaufarbeit mit dem Ziel, betriebsindividuelle Optimierungspotentiale für den Phosphoreinsatz in der Landwirtschaft unter Einbeziehung der bundesweiten landschaftlichen Gegebenheiten zu identifizieren, sowie praxistaugliche Maßnahmen-Anleitungen zur Optimierung der Phosphorausnutzung zu erarbeiten. Hierzu erfolgte eine bundesweite Betrachtung von Bodeneigenschaften, Relief und Wasserflüssen, um dem Anwender durch eine Anleitung zur ortsspezifischen Analyse der Phosphoraustragspfade eine effiziente Maßnahmenauswahl zu ermöglichen. Diese Ergebnisse wurden nach einer ersten Phase von 11 Monaten auf den Internetseiten des gemeinnützigen Vereins ISIP zur Abstimmung mit Fachleuten und Experten eingestellt. Die Kommentierung der Zwischenergebnisse wurde durch Pressearbeit und gezielte Befragung von Fachleuten begleitet. Anschließend wurden die eingehenden Kommentare eingearbeitet und die jeweiligen Erfahrungen im Phosphormanagement auf Landschaftsebene evaluiert. Nach der Endabstimmung des Textes wurde in einer dritten Phase die Informationsbroschüre angefertigt, in der schließlich die Optimierungspotentiale für den Phosphoreinsatz in der Landwirtschaft aufgezeigt werden und praxistaugliche Maßnahmen zur Optimierung der Phosphorausnutzung vorgeschlagen werden. Darüber hinaus wurde ein Faltblatt entwickelt, welches auf die Informationsbroschüre und die Projektergebnisse aufmerksam macht. Diese beiden Dokumente sind sowohl in gedruckter Form, als auch über das Internet als pdf-Datei verfügbar (http://www.ecosystems.uni-kiel.de/projekt_phosphor.shtml). Beide Veröffentlichungsformen wenden sich direkt an die für die Umsetzung von Maßnahmen geeigneten Zielgruppen wie Landwirte, Wasser- und Bodenverbände, Umweltschützer und landwirtschaftliche Berater. Darüber hinaus werden die Projektergebnisse nach der Projektlaufzeit im Rahmen eines Fachgesprächs der Flussgebietsgemeinschaft Elbe zielgerichtet Entscheidungsträgern vorgestellt.

Ergebnisse und Diskussion

Das übergeordnete Ziel des Projekts war die literaturbasierte Erarbeitung und Zusammenstellung praxistauglicher Managementstrategien zur Verminderung des Phosphoraustrags landwirtschaftlich genutzter Flächen und der nachhaltigen Nutzung der Ressource Phosphor in der Landwirtschaft. Das Ergebnis dieser Zusammenstellung, die gemeinsam mit den Akteuren der Praxis aus den Wasser- und Bodenverbänden, der Land- und Wasserwirtschaft, des Naturschutzes sowie der Wissenschaft diskutiert wurde, ist ein Katalog mit über 80 Maßnahmen zu Verminderung von Phosphorausträgen aus landwirtschaftlichen Flächen und der effektiveren Ausnutzung der Phosphorvorräte auf landwirtschaftlichen Flächen. Gegliedert nach Gruppen, lassen sich eine Reihe von Maßnahmen unter dem Überbegriff Nährstoff-Management zusammenfassen, weitere gehören zum Tierbestandsmanagement, Feldfruchtmanagement, Bodenmanagement, Landnutzungsmanagement und eine weitere setzt beim Oberflächenwassermanagement an. Jeder einzelnen Maßnahme wurde eine Wirksamkeit in Bezug auf den Austragspfad Wasser zugeordnet und es wurde eine Einschätzung der räumlichen und zeitlichen Wirksamkeit sowie eine qualitative Effektivitäts-Einschätzung der jeweiligen Maßnahme vorgenommen. Auf Grund dieser räumlichen und zeitlichen Differenzierung für jede einzelne Maßnahme ist es dem Anwender in der Praxis möglich, die wirkungsvollste Maßnahme zur Reduzierung des Phosphoraustrags aus der landwirtschaftlich genutzten Fläche sowie eine optimale Ausnutzung der im Boden vorliegenden Phosphorreserven zu identifizieren. Aus der vorgenommenen Literaturrecherche geht hervor, dass die Maßnahmen am effektivsten sind, wenn diese auf die Austräge über den Oberflächenabfluss wirken. Die Höhe der Phosphorausträge über die Erosion ist regional sehr unterschiedlich stark ausgeprägt. Neben der Erosion können auf Einzugsgebietsebene weitere Wasserwege für den Phosphoraustrag verantwortlich sein. Es ist deshalb unerlässlich, geeignete Maßnahmen gemäß der Austragsituation zu wählen. Im Hinblick auf die Maßnahmeneffizienz stellt sich heraus, dass die vorgeschlagenen Maßnahmen überwiegend kurzfristig umsetzbar sind und auch kurzfristig zur Verminderung der Phosphorausträge beitragen können. Der Schlüssel zur nachhaltigeren Nutzung von Phosphor in der Landwirtschaft und der Schonung der Gewässer ist allerdings in den Bodengehaltklassen für Phosphor und dem konsequenteren Ersatz von Mineraldünger durch Wirtschaftsdünger zu sehen. Durch den Aufbau von beträchtlichen Phosphorgehalten in landwirtschaftlich genutzten Böden wird über Jahrzehnte ein hohes Austragspotenzial für Phosphor gegeben sein. Aus diesem Grund sollte der am Pflanzenbedarf angepassten Phosphordüngung und der optimierten, betriebsübergreifenden Ausnutzung von Wirtschaftsdüngern eine höhere Aufmerksamkeit zukommen. In der durchgeführten Literaturrecherche hat sich gezeigt, dass Höchststräge in der Landwirtschaft auch bei niedrigeren Phosphorgehalten im Boden zu erzielen sind. Die wichtigste Maßnahme ist daher die öffentliche Diskussion über die Senkung der oberen Grenzen der bundesweiten Bodengehaltklassen. Insbesondere in Bundesländern wie Niedersachsen und Schleswig-Holstein, die von den Empfehlungen der VDLUFA von 1997 und 2015 nach oben abgewichen sind, kommt der Information der Landwirte zu diesem Thema eine besondere Bedeutung zu.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Ergebnisse des Projekts wurden bisher über Printmedien und digitale Informationswege verbreitet. Hierzu wurden drei Artikel in fachspezifischen Zeitschriften veröffentlicht: Bauernblatt (Schleswig-Holstein), Land & Forst (Niedersachsen), Wasser und Abfall (überregional). Darüber hinaus weist ein Faltblatt komprimiert auf die Projektergebnisse hin und wird auf zukünftigen Informationsveranstaltungen vom Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein und der CAU Kiel ausgelegt. Weiterhin wurde eine detaillierte Informationsbroschüre zur Verminderung von Phosphorausträgen aus landwirtschaftlichen Flächen und einer optimierten Ausnutzung der Phosphorreserven landwirtschaftlich genutzter Böden entworfen und gedruckt. Diese Broschüre und das Faltblatt sind digital verfügbar. Die Zwischenergebnisse des Projekts wurden bisher in Form von Vorträgen auf zwei Informationsveranstaltungen präsentiert und über einen Handzettel bei einer Konferenz zur Nachhaltigen Nutzung von Phosphor verbreitet. Zum Abschluss des Projekts wird im Rahmen eines Fachgesprächs der Flussgebietsgemeinschaft Elbe die Projektergebnisse zielgerichtet in Form einer Präsentation mit anschließender Diskussion Entscheidungsträgern vorgestellt.

Fazit

Die Hauptidee dieses Projekts ist, dass die endliche Ressource Phosphor in der Landwirtschaft gegenwärtig nicht nachhaltig eingesetzt wird und auch auf Grund der zu hohen Phosphordüngung in der Vergangenheit noch über Jahrzehnte mit Gewässerbelastungen durch Phosphorausträge aus landwirtschaftlichen Flächen zu rechnen ist. Das Hauptprodukt dieses Projekts ist eine Broschüre, die Vorschläge für einen nachhaltigeren Umgang mit der Ressource Phosphor unterbreitet. Zum Einen werden entsprechend der individuellen Austragsituation Maßnahmen zur kurzfristigen Reduzierung der Phosphorausträge aus landwirtschaftlichen Flächen für die Praxis aufgezeigt. Zum Anderen werden Empfehlungen für eine Herabsetzung der Bodengehaltklassen für Phosphor gegeben, um eine breite Diskussion in der Öffentlichkeit zu initiieren und nachhaltig die Phosphorausträge zu reduzieren.

Inhalt

1. Einleitung – Anlass und Zielsetzung des Projekts.....	11
2. Arbeitsschritte	13
3. Ergebnisse	15
3.1 Literaturoauswertung.....	15
3.2 Zusammenstellung von Maßnahmen zur Reduzierung von Phosphorausträgen	17
3.3 Aktuelle Definition der Phosphor-Bodengehaltsklassen.....	22
3.4 Empfehlungen für eine Überarbeitung der Phosphor-Bodengehaltsklassen	24
3.5 Die Rolle von Wirtschaftsdünger als Ersatz für mineralischen Dünger.....	25
3.6 Öffentlichkeitsarbeit.....	27
4. Diskussion.....	29
5. Fazit	31
6. Öffentlichkeitsarbeit.....	33
7. Literatur.....	35
8. Anhang.....	39

Abbildungen

Abbildung 1: Phosphorfraktionen und ihre Nachweisbarkeit in den ersten 20-30 cm eines Bodens.....	15
Abbildung 2: Höhe der Phosphorverluste über verschiedene Wasserwege	16
Abbildung 3: Schematische Darstellung der vier Kategorien zur Beschreibung von Phosphor-Austrägen.....	17

Tabellen

Tabelle 1: Maßnahmen zur Reduzierung der Phosphor-Austräge aus landwirtschaftlichen Flächen.	19
Tabelle 2: Vorschläge für die Phosphor-Bodengehaltsklassen	23
Tabelle 3: Überarbeitete Richtwerte der Phosphor-Bodengehaltsklassen nach VDLUFA.....	25
Tabelle 4: Fortlaufende Tabelle zur Zusammenstellung verschiedener Maßnahmen.	39

Zusammenfassung

Phosphor ist ein unverzichtbarer Nährstoff für die Pflanzenernährung, dessen leicht abbaubare Vorräte jedoch weltweit begrenzt sind. Jährlich werden etwa 566.535 t Phosphor für die pflanzliche Produktion in Deutschland aufgewendet, wovon jedoch etwa 24.000 t als Austräge über das Wasser verloren gehen. Diese Phosphorverluste sind für die landwirtschaftliche Produktion verloren und tragen zur Belastung der Oberflächengewässer bei. Die gegenwärtige Belastung der Gewässer durch Phosphor verdeutlicht den unmittelbaren Handlungsbedarf, die Ressource Phosphor stärker zu schonen. Ziel des Projekts war deshalb, Ansatzpunkte für eine nachhaltigere Nutzung von Phosphor in der Landwirtschaft aufzuzeigen und Akteure aus der Praxis sowie Entscheidungsträger in der konsequenteren Umsetzung von Maßnahmen zu unterstützen.

Dazu wurde zunächst das Wissen zum Verhalten von verschiedenen Phosphorfraktionen in der Landschaft, dessen Einsatz in der Landwirtschaft und ihre ökologische Wirksamkeit zusammengetragen. Um Wege für einen nachhaltigeren Einsatz von Phosphor in der Landwirtschaft und einen effektiveren Gewässerschutz aufzuzeigen, wurden geeignete Maßnahmen zur Verminderung von Phosphorausträgen aus landwirtschaftlichen Flächen identifiziert und deren Beitrag zu einem effektiveren Gewässerschutz bewertet. Dazu wurden Diskussionen und Interviews mit Experten und Akteuren aus der Praxis geführt.

Die Hauptideen des Projekts bezüglich einer nachhaltigeren Nutzung der Ressource Phosphor sind, dass die Reduzierung der Phosphorbodenvorräte auf landwirtschaftlichen Flächen, eine am tatsächlichen Pflanzenbedarf orientierte Düngung sowie ein flächendeckender Ersatz von mineralischem Dünger durch Wirtschaftsdünger unerlässlich ist. Um diese Erkenntnisse und darüber hinaus gehende Informationen zum Thema Phosphor in die Öffentlichkeit zu tragen und um betroffene Akteure für die Phosphorproblematik zu sensibilisieren, wurde unter anderem eine Informationsbroschüre erstellt, die das Hauptprodukt des Projekts ist. In dieser Broschüre erfolgt eine Zusammenstellung von mehr als 80 praxistauglichen Managementstrategien zur Verminderung des Phosphoraustrags landwirtschaftlich genutzter Flächen, welche gemeinsam mit den Akteuren der Praxis aus den Wasser- und Bodenverbänden, der Land- und Wasserwirtschaft, des Naturschutzes sowie der Wissenschaft erarbeitet wurden. Darüber hinaus wird das vorhandene Wissen über das Verhalten von Phosphor im Landschaftsstoffhaushalt und dessen Umweltrelevanz verständlich dargestellt. Somit wird der Praxis ein Handwerkszeug zur Verfügung gestellt, mit dem individuell und situationsbedingt die wirkungsvollsten Maßnahmen für einen nachhaltigeren Umgang mit der Ressource Phosphor in der Landschaft ausgewählt werden können. Die langfristige Sicherung landwirtschaftlicher Erträge und die Entlastung der Umwelt sind Ziele, die durch freiwillige Umsetzung erreicht werden können. Hierzu möchte das Projekt mit der Informationsbroschüre unterstützen und ermutigen.

1 Einleitung – Anlass und Zielsetzung des Projekts

Phosphor ist ein begrenzt vorhandener Rohstoff, der in der Pflanzenernährung nicht ersetzbar ist. Die EU Mitgliedsstaaten importieren fast 92 % des benötigten Phosphors und haben diesen 2014 in die Liste der 20 kritischen Rohstoffe aufgenommen (European Commission - IP/14/599 26/05/2014). Diese begrenzt verfügbaren Stoffe bedürfen erhöhter Aufmerksamkeit bei der Reduzierung des Verbrauches und der Förderung von Recyclingaktivitäten. Auch wenn nach neuesten Schätzungen der Bundesregierung die weltweiten Vorräte noch 385 Jahre lang reichen werden (Bundesregierung 2012), ist der umweltschonende Umgang mit Phosphor von großer Bedeutung, denn wirtschaftlich sinnvolle Verfahren der Rückgewinnung sind noch in der Entwicklung.

Für die nachhaltige Nutzung der Ressource Phosphor kommt der Landwirtschaft in Deutschland eine Schlüsselrolle zu, da hier jährlich 566.535 t Phosphor für die pflanzliche Produktion benötigt werden (Gethke-Albinus 2012), von denen etwa 24.063 t als Austräge über das Wasser verloren gehen (Behrendt et al. 2003). Dies bestätigt den ineffizienten Umgang mit der Ressource Phosphor.

Die hohen Phosphorausträge aus landwirtschaftlichen Flächen tragen erheblich zu erhöhten Phosphorkonzentrationen in den Gewässern bei und führen schließlich zur Beeinträchtigung der Wasserqualität. Erhöhte Phosphorkonzentrationen im Gewässer sind besonders kritisch für die Süßwasserlebensgemeinschaften der Ostsee sowie zahlreiche Land-Biozönosen, welche auf nährstoffarme Standortbedingungen angewiesen sind (Wassen et al. 2005, LLUR 2012). Zwischen 1985 und 2005 sind die Einträge von Gesamtphosphor in die Gewässer vor allem durch Effizienzsteigerungen im Bereich der Abwasserbehandlung um 71 % zurückgegangen (UBA 2011). Zeitgleich sind die Austräge aus der Landwirtschaft jedoch nur um 1 % gesunken (UBA 2011). Im Einzugsgebiet der Nordsee werden 50 % der Phosphoreinträge der Landwirtschaft zugeschrieben, bei der Ostsee sind es 63 %. Trotz des hohen Rückganges der bundesweiten Phosphorfrachten besteht immer noch ein hoher Handlungsbedarf bei der Reduktion der Phosphorausträge in die Gewässer.

Als Indikator für einen ineffizienten Umgang mit Phosphor in der Landschaft können die Orientierungswerte gelten, die als Komponente des physikalisch/chemischen Zustandes von Fließgewässern den Schwellenwert an der Klassengrenze gut zu mäßig beschreiben (LAWA 2007, OGeWV 2016). Eine Betrachtung der Orientierungswerte zeigt, dass bundesweit alljährlich hohe Mengen an Phosphor in die Gewässer gelangen. In Sachsen werden beispielsweise zurzeit die Orientierungswerte für Phosphor an etwa 70 % der Fließgewässer überschritten (Dehnert & Friese 2010). Diese Verfehlung der Zielwerte dokumentiert den unmittelbaren Handlungsbedarf für ein nachhaltigeres Management der Ressource Phosphor. Aus den aufgeführten Beispielen und der wenig nachhaltigen Nutzung von Phosphor leiten sich für das Projekt die Hauptziele ab.

Für einen nachhaltigeren Umgang mit der Ressource Phosphor ist es essentiell, dessen Funktion in der Landschaft und die gegenwärtige Nutzung dieser Ressource zu verstehen. **Ziel des Projektes war es daher, zunächst das Wissen zum Verhalten von verschiedenen Phosphorfraktionen in der Landschaft, dessen Einsatz in der Landwirtschaft und ihre ökologische Wirksamkeit zusammenzutragen und allgemein verständlich aufzubereiten.**

Durch die Aufbereitung des vorhandenen Wissens werden die betroffenen Akteure in die Lage versetzt, mit dem Nährstoff Phosphor ressourcen- und umweltschonender umzugehen. Es werden die Gründe für den ineffizienten Einsatz von Phosphor identifiziert und Möglichkeiten zum effizienten Einsatz abgeleitet. **Das Endprodukt dieses Projekts ist daher die Zusammenstellung praxistauglicher Managementstrategien zur Verminderung des Phosphorausstrags landwirtschaftlich genutzter Flächen, welche gemeinsam mit den Akteuren der Praxis aus den Wasser- und Bodenverbänden, der Land- und Wasserwirtschaft, des Naturschutzes sowie der Wissenschaft erarbeitet wurden.**

Die zusammengestellten Maßnahmen sind kategorisiert nach Nährstoff-Management (A), sowie nach Tierbestandsmanagement (B), Feldfruchtmanagement (C), Bodenmanagement (D), Landnutzungsmanagement (E) und dem Oberflächenwassermanagement (F). Alle Maßnahmen wurden darüber hinaus nach ihrer jeweiligen Effizienz bewertet. **Somit wird der Praxis ein Handwerkszeug zur Verfügung gestellt, mit dem individuell und situationsbedingt die wirkungsvollsten Maßnahmen für einen nachhaltigeren Umgang mit der Ressource Phosphor in der Landschaft ausgewählt werden können.**

2 Arbeitsschritte

Zur Erreichung der Projektziele wurde das Projekt in zwei Arbeitsphasen gegliedert. In der ersten Phase wurde mit Hilfe von Literaturlauswertungen und Interviews von Fachleuten das Wissen über Phosphor in der Landschaft zusammengetragen. Ein Schwerpunkt war dabei das Zusammentragen von Informationen zum gegenwärtigen Einsatz von Phosphor als unverzichtbarer Nährstoff in der Landwirtschaft. Anhand des gegenwärtigen Umgangs mit Phosphor auf landwirtschaftlichen Flächen wurden mögliche Maßnahmen zur Minderung des Phosphorausstrags zusammengestellt und Ansätze für einen nachhaltigeren Umgang mit der Ressource Phosphor entwickelt. Dabei ist die Festlegung der Grenzen der Phosphor-Bodengehaltssklassen ein wesentlicher und sehr umstrittener Parameter, wenn über die ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit der Phosphordüngung entschieden wird. Neben der notwendigen Anpassung der Bodengehaltssklassen als langfristiges Ziel eines nachhaltigen Düngermanagements, wurde die Umsetzung von kurzfristig wirksamen Maßnahmen auf und um die landwirtschaftlichen Flächen als Möglichkeit für einen verbesserten Gewässerschutz identifiziert. Ein Hauptanliegen der abgeleiteten und zusammengestellten Maßnahmen ist, eine Hilfestellung zur Identifizierung betriebsindividueller Optimierungspotentiale bezüglich des Phosphoreinsatzes in der Landwirtschaft unter Einbeziehung der bundesweiten landschaftlichen Gegebenheiten zu geben und praxistaugliche Maßnahmen zur Optimierung der Phosphorausnutzung vorzustellen. Dabei soll ein wirkungsvoller Gewässerschutz im Einklang mit einem nachhaltigen Einsatz des Nährstoffs Phosphor in der Landwirtschaft erreicht werden.

Das Ergebnis der Recherchen zum Verhalten von Phosphor in der Landschaft und dessen Einsatz als Düngemittel in der Landwirtschaft wurde online im Beratungsportal ISIP in einem Diskussionsforum veröffentlicht. Durch die öffentliche Diskussion wurde gewährleistet, dass sowohl die Aspekte aus der Praxis, aber auch das Wissen aus Forschung und Wissenschaft bei der finalen Zusammenstellung und Empfehlung von Maßnahmen Berücksichtigung finden.

In der zweiten Phase wurden Effizienzabschätzungen für die selektierten Maßnahmen durchgeführt. Diese Abschätzungen basieren auf den Ergebnissen einer Literaturrecherche und einer qualitativen Einordnung durch ein durch Expertenwissen abgeleitetes Bewertungssystem. Hierfür wurden Literaturlauswertungen herangezogen und vorhandene Modellierungsergebnisse ausgewertet. Nach der Diskussion der zusammengestellten Maßnahmen für ein nachhaltigeres Phosphormanagement in der Landwirtschaft mit Akteuren aus der Wissenschaft und Praxis wurden die Ergebnisse in einer Broschüre zusammengefasst. Diese Broschüre adressiert in erster Linie landwirtschaftliche Berater, landwirtschaftliche Betriebe und Entscheidungsträger. Um eine möglichst breite Verfügbarkeit zu gewährleisten, wurde der zusammengestellte Maßnahmenkatalog parallel digital verfügbar gemacht, um interessierte landwirtschaftliche Berater und Landwirte bei der Methodenwahl zur Minderung des Phosphorausstrags zu unterstützen. Neben der Informationsbroschüre wurden weitere

Medien und Informationskanäle gewählt, um auf das Thema Phosphor in der Landschaft sowie die Hauptkenntnisse des Projekts aufmerksam zu machen. Hierfür wurden einzelne Themen, wie zum Beispiel die Notwendigkeit zur Anpassung der Phosphor-Bodengehaltssklassen oder die Umsetzung von Maßnahmen in der Landschaft zu Minderung von Phosphorausträgen, zielgerichtet in Beiträgen (über-)regionaler Zeitschriften näher gebracht und auf die Informationsbroschüre verwiesen. Darüber hinaus wurde ein Faltblatt entworfen, welches in kompakter Form auf die Problematik des ineffizienten Umgangs mit Phosphor in der Landwirtschaft aufmerksam macht und die Informationsbroschüre als detaillierte Informationsquelle zu dem Thema Phosphor empfiehlt. Zum Abschluss des Projekts ist ein Fachgespräch in Zusammenarbeit mit der Flussgebietsgemeinschaft Elbe (FGG Elbe) geplant, in der die Erkenntnisse des Projekts mit Entscheidungsträgern diskutiert werden.

3 Ergebnisse

3.1 Literaturlauswertung

Das Ergebnis der Literaturlauswertung ist zunächst die Zusammenstellung der relevanten Bindungsformen von Phosphor im Boden, ihren Austragspfaden und deren regionale Bedeutung. Die Bindungsformen und die damit verknüpfte Pflanzenverfügbarkeit von Phosphor kann gemäß unterschiedlicher Phosphorgehalte in drei Klassen differenziert werden (Abb.1). Nach dieser Klassifizierung kommt Phosphor in gelöster Form oder gebunden im Boden vor und ist unterschiedlich stark pflanzenverfügbar (DLG e. V. 2008):

- 0,5 - 1 kg P ha⁻¹ oder 1,2 - 2,3 kg P₂O₅ gelöstes anorganisches Ortho-Phosphat ist sehr leicht verfügbar.
- 200 - 500 (450-1.200 kg P₂O₅) kg P ha⁻¹ liegen in labiler gebundener Form vor und
- 1.500 - 3.000 (3.500 - 7.000 kg P₂O₅) kg P ha⁻¹ sind fest gebunden und nur sehr langsam löslich.

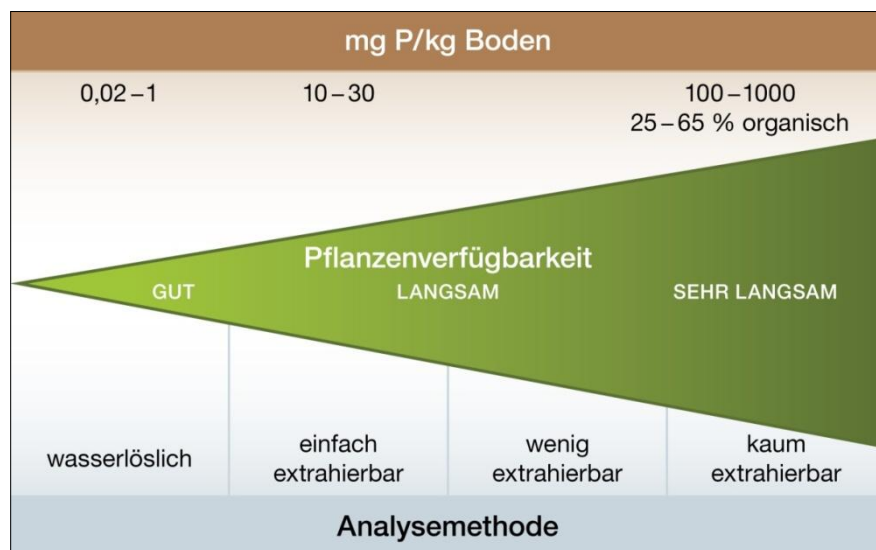


Abbildung 1: Phosphorfraktionen und ihre Nachweisbarkeit in den ersten 20-30 cm eines Bodens (effizient düngen (2012): nach Mengel & Kirkby 2001, verändert).

Die Hauptaustragspfade für Phosphor sind in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten Erosion, Abschwemmung, Dränabfluss und oberflächennaher Grundwasserabfluss (Abb.2). Die Höhe der jeweiligen Phosphorausträge unterscheidet sich regional sehr stark. So sind beispielsweise in der norddeutschen Tiefebene weiträumig Dränagen im Einsatz, um oftmals überhaupt eine landwirtschaftliche Nutzung der Flächen zu gewährleisten. Im Gegensatz dazu ist in den Mittelgebirgsregionen der Phosphoraustrag über Dränagen weniger relevant, wohingegen der Austrag über Erosion auf Grund der steileren Hänge von größerer Bedeutung ist.

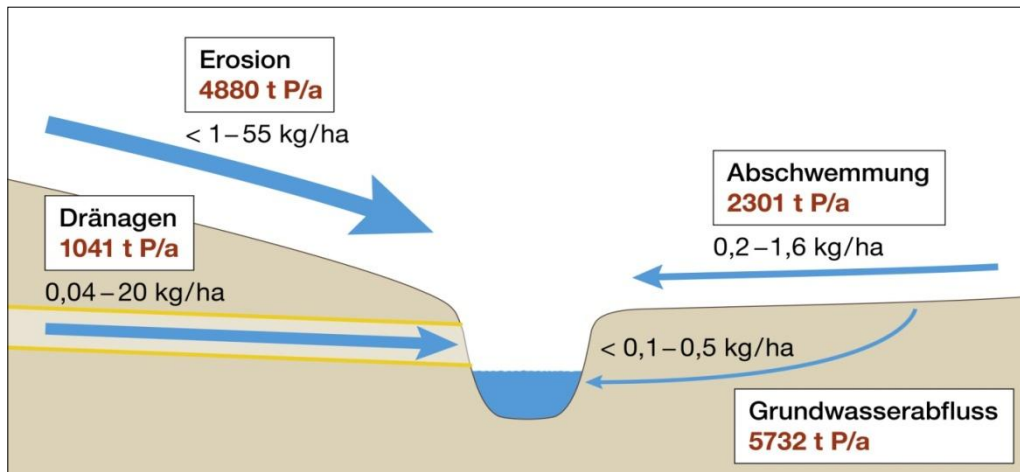


Abbildung 2: Höhe der Phosphorverluste über verschiedene Wasserwege in kg P pro ha und Jahr (schwarz) nach Modellierungen von Tetzlaff (2006) und Berechnungen der potenziellen Erosion nach BGR (2014). Umrechnung des potenziellen Bodenabtrags von t pro ha in kg P pro ha nach Messungen von Klik (2004) sowie Höhe der Phosphor-Einträge in die Gewässer in Deutschland in t P pro Jahr (rot) nach Fuchs et al. (2014).

Um die regionalen Unterschiede für das Phosphoraustragspotenzial abschätzen zu können, muss eine situationsbedingte Analyse erfolgen. Der Großteil der in den Gewässern gemessenen Phosphoreinträge kommt von gewässernahen Flächen und wird durch wenige Starkregenereignisse im Jahr mobilisiert. In vielen Einzugsgebieten hat sich gezeigt, dass die Mehrheit der Phosphorausträge nur aus wenigen Flächen resultiert. Aus Sicht des Gewässerschutzes und der Landwirtschaft ist es daher von entscheidender Bedeutung, Schutzmaßnahmen auf den austragsrelevanten Flächen durchzuführen, um Phosphorverluste aus der Fläche einzugrenzen und somit die Gewässerbelastung zu reduzieren. Zu den Risikoflächen gehören Schläge mit:

- großer Hangneigung,
- langer Hanglänge,
- hohen Phosphorbodengehalten,
- Moorböden,
- hohem Wirtschaftsdüngereinsatz,
- oberflächlicher Düngerausbringung
- und direkter Gewässeranbindung.

Das Austragspotenzial dieser Risikoflächen muss schließlich mit geeigneten Maßnahmen reduziert werden. Basierend auf den Erkenntnissen der Literaturrecherche zum Austragsverhalten von Phosphor wurde deshalb eine Klassifizierung der identifizierten Maßnahmen zur Reduzierung von Phosphorausträgen aus Risikoflächen vorgenommen (Abb.3).

Eine Reihe von Maßnahmen lassen sich unter dem Überbegriff Nährstoff-Management (A) zusammenfassen, weitere gehören zum Tierbestandsmanagement (B), Feldfruchtmanagement (C), Bodenmanagement (D), Landnutzungsmanagement (E) und eine Klasse fasst das Oberflächenwassermanagement (F) zusammen.

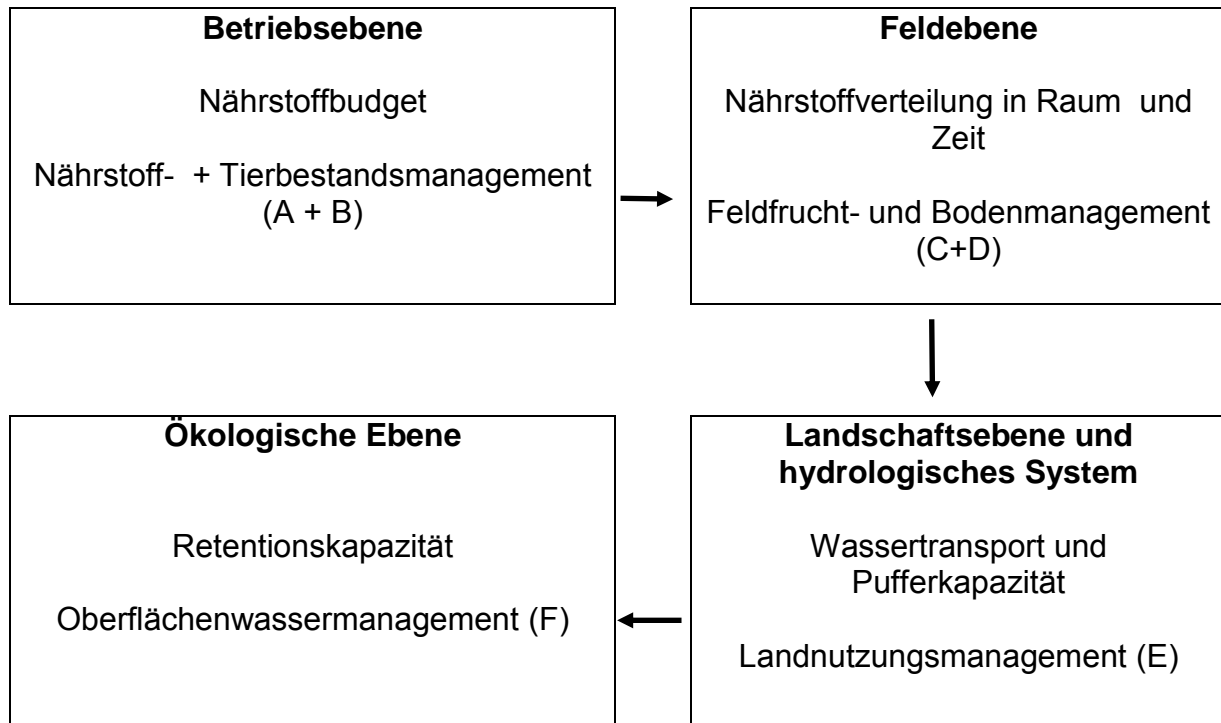


Abbildung 3: Schematische Darstellung der vier Kategorien zur Beschreibung von Phosphor-Austrägen mit jeweiligen Kategorien (nach Schoumans et al. 2014, verändert).

Diese Klassifizierung wurde während der Literaturstudie genutzt, um eine konsistente Einteilung der recherchierten Maßnahmen zur Minderung der Phosphorausträge vorzunehmen. Das Ergebnis dieser Literaturrecherche ist im Anhang unter Anhang Tabelle 4: Fortlaufende Tabelle ersichtlich. Aus den zahlreichen Studienergebnissen wurden die Informationen bezüglich Austragspfad, räumlich und zeitliche Wirkung, Minderungswirkung sowie der jeweiligen Literaturquelle extrahiert und in Anhang Tabelle 4: Fortlaufende Tabelle übersichtlich dargestellt. Für die Praxis sind die zahlreichen Studienergebnisse der vielen Studien jedoch kaum überschaubar und einzuordnen. Aus diesem Grund wurde eine Aggregation der gewonnenen Informationen vorgenommen, die im folgenden Kapitel näher beschrieben wird.

3.2 Zusammenstellung von Maßnahmen zur Reduzierung von Phosphorausträgen

Für die Zusammenstellung der Maßnahmen wurden die Informationen aus Tabelle 4 im Anhang zusammengefasst. Schließlich wurden diejenigen Maßnahmen ausgewählt, mit denen Phosphorausträge aus landwirtschaftlichen Flächen möglichst effizient verringert werden können und mit denen der Rückhalt in der Landschaft von

bereits mobilisiertem Phosphor gefördert werden kann. Zur Auswahl der Maßnahmen wurde in erster Linie auf in der Praxis bewährte Maßnahmenlisten zurückgegriffen:

- Agricultural Best Management Practices by the Scottish Environment Protection Agency (SEPA 2009),
- EU COST Action group 869 (<http://www.cost869.alterra.nl/>),
- SERA-17 Phosphorus best management practices protecting water quality by the USGS and NRCS,
- Schoumans et al. (2014).

Die vorgestellten Maßnahmen lassen sich bei verschiedenen Abflussverhältnissen einsetzen, sind flächig oder lokal wirksam und wirken unterschiedlich schnell. Für den Landwirt gilt es, die für seine Flächen günstigsten auszuwählen. Beispielsweise ist es betriebswirtschaftlich sinnvoll, die Entstehung von Oberflächenabfluss durch Zwischenfruchtanbau zu reduzieren (C 3,4.), weil z.B. gleichzeitig die Humusbilanz verbessert wird und anschließend die Düngung reduziert werden kann. Dadurch ist es vielfach nicht mehr erforderlich, Sedimentverluste durch permanent installierte Versickerungstrecken und Kiesfilter oder zeitlich variable begrünte Wasserwege zu reduzieren (F 1., E 3.). In anderen Fällen ist es sorten- oder witterungsbedingt nicht mehr möglich, Winterungen oder Zwischenfrüchte einzusäen (C 12., C 13., C 4.). Dennoch besteht immer noch die Ausbringung von Strohhacksel auf erosionsgefährdeten Standorten (C 8.) als Ersatzmaßnahme.

Für die praktische Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen sind jeweils Literaturhinweise gegeben, um dem interessierten Anwender oder Berater Anhaltspunkte für die weitere Recherche zu geben. Darüber hinaus ist für jede Maßnahme der Wasserpfad und somit ein Hinweis auf das Entgegenwirken des Phosphoraustragspfades genannt. In Verbindung damit sind für die Maßnahmen sowohl der Zeithorizont, bis die Maßnahme Wirkung zeigt, als auch die räumlich Ausdehnung der Wirkung in der Landschaft definiert. Weiterhin wurde mit Hilfe von Studien aus der Literatur und durch Experteneinschätzung eine Effizienz kategorisierung vorgenommen, um das Potenzial zum Phosphorrückhalt jeder einzelnen Maßnahme abschätzen zu können.

Tabelle 1: Maßnahmen zur Reduzierung der Phosphor-Austräge aus landwirtschaftlichen Flächen, mit Angaben zur Wirkung auf den Wasserpfad, einer Einschätzung der räumlichen und zeitlichen Wirksamkeit, zur Effizienz und einer Literaturnennung mit weiteren Hinweisen zur Umsetzung.

Nr.	Maßnahme	Wasserpfad	RW	ZW	E	Literatur
A: Nährstoffmanagement						
Nährstoff-Management						
A 1.	Analyse von Nährstoffgehalten von Wirtschaftsdüngern	E, A, D, G	F	L	++	1
A 2.	Nährstoffsalden berücksichtigen und Schlagkartei führen	E, A, D, G	F	L	+++	1
A 3.	Erstellung von Hoftorbilanzen	E, A, D, G	F	L	++	2
A 4.	Keine P-Düngung in den Bodengehaltsklassen D + E	E, A, D, G, Ü	F	L	+	
A 5.	Verlängerung der Sperrfrist für Düngerausbringung	E, A, D, G	F	L	+++	1
A 6.	P-Düngung auf Nährstoffbedarf abstimmen, N:P-Verhältnis im Dünger beachten	E, A, D, G, Ü	F	L	++	
A 7.	Düngezeitpunkt optimieren	E, A, D, G, Ü	F	L	+	1
A 8.	Düngung auf Problemstandorten anpassen	E, A, D, G, Ü	F	L	++	
A 9.	Schlitztechnik im Grünland	E, A, Ü	F	K	++	2
A 10.	Keine Düngerausbringung vor starken Regenfällen	E, A,	F	K	+	
A 11.	Unterfußdüngung statt flächiger Düngung	E, A, D, G	F	L	+	2
A 12.	Direkteinträge vermeiden, Abstände zu Gewässern einhalten	O	Lo	K	++	
A 13.	Ökologischer Landbau	E, A, D, G	F	L	++	2
A 14.	Keine P-Düngung auf moorigen oder anmoorigen Böden	D, G, Ü	F	L	++	
B: Tierbestandsmanagement						
Tierzucht						
B 1.	P-reduzierte Fütterung, Tierfütterung je nach Entwicklungsphase	E, A, D, G	F	L	++	2
B 2.	Futter mit reduziertem Phytase-P wählen oder Zugabe von Phytase um Verdaubarkeit von Phytase-P zu erhöhen	E, A, D, G	F	L	+	2
B 3.	Gütlager mit Speicherkapazität von 9 Monaten	E, A, D, G	F	L	++	1
B 4.	Separation von Gülle und Ferntransport	E, A, D, G	F	K	++	1
B 5.	Tierzahl reduzieren	E, A, D, G	F	L	++	
Fischzucht						
B 6.	Langsames Abfischen	O	Lo	K	+	10
B 7.	Anlegen eines Abfischgrabens oder einer Abfischgrube	O	Lo	K	+	10
B 8.	Reinigen von Teichen nach dem Ablassen, Entschlammung	O	Lo	K	+	3
B 9.	Einsatz von Feststoffabscheidern	O	Lo	K	+	
B 10.	Einsatz von Schlammfängen im Beckenboden	O	Lo	K	+	

Nr.	Maßnahme	Wasserpfad	RW	ZW	E	Literatur
B 11.	Anlage Pflanzenlagune für ablaufendes Wasser	O	Lo	K	+	
B 12.	Geringes Teichbodengefälle zum Abfluss hin	O	Lo	K	+	10
B 13.	Abfischen im Herbst	O	Lo	K	+	10

C: Feldfruchtmanagement

Ackerbau						
C 1.	P-Vorrat im Boden messen und Bodengehaltswert kritisch prüfen	E, A, D, G	F	L	++	1
C 2.	Fruchtfolge optimieren	E, D, G	F	K	+++	6
C 3.	Anbau von Zwischenfrüchten	E, D, G	F	K	+++	1
C 4.	Anbau von Untersaaten im Mais	E	F	K	+	1
C 5.	Keine Stoppelbearbeitung im Herbst	E	F	K	+	1
C 6.	Konservierende Bodenbearbeitung, bei der 30 % der Fläche unbearbeitet bleibt.	E	F	K	+++	
C 7.	Moorböden als Grünland nutzen	D, G, Ü	F	K	+++	
C 8.	Bodenabdeckung mit organischem Material	E	F	K	+++	
C 9.	Querdammhäufelung im Kartoffelbau	E	F	K	+	8
C 10.	Raues Saatbett schaffen	E	F	K	+	
C 11.	Frühe Einsaat von Winterungen	E, D, G	F	K	+	
C 12.	Anbau früher Kartoffel- und Maissorten mit anschließender Einsaat von Zwischenfrüchten oder Winterungen	E	F	K	+	2
C 13.	Maisengsaat	E	F	K	+	2
Grünland						
C 14.	Im Dauergrünland auf geschlossene Grasnarbe achten	E, D, G	F	K	+++	6
C 15.	Umbruchlose Grünlanderneuerung in Hanglagen	E	F	K	+++	6
C 16.	Tierzahl bei Nässe reduzieren	E	F	K	++	
C 17.	Standorte von Tränken und Futterplätzen verändern	E, A, D, G	Lo	K	++	

D: Bodenmanagement

Allgemein						
D 1.	Regelmäßige Kalkung	E, A, D, G	F	L	+	
D 2.	Bodendruck auf Ackerflächen und auf dem Grünland so gering wie möglich halten	E, A	Lo	K	+	
D 3.	Radlast reduzieren und Radschlupf vermeiden	E, A	Lo	K	+	
D 4.	Beseitigung von Bodenschadverdichtungen	E, A	Lo	K	+	
D 5.	Humusbilanz fördern	E, A, D, G	F	L	+++	
D 6.	Einschränkung der Bodenbearbeitung auf Flächen mit Erosionsgefahr	E	F	K	+	1
D 7.	Bodenbearbeitung quer zum Hang	E	F	K	+++	1
D 8.	Mulch- und Direktsaat, insbesondere in erosionsgefährdeten Lagen	E	F	K	+++	1
D 9.	Nasse Böden nicht befahren	E, A	Lo	K	+	
Weinbau						
D 10.	Alternierende Dauerbegrünung jeder 2. Rebasse im Wechsel mit Bodenbearbeitung, kein Wechsel der dauerbegrünten Gassen	E	F	K	+	5

Nr.	Maßnahme	Wasserpfad	RW	ZW	E	Literatur
D 11.	Böschungsbegrünung von Querterrassen	E	F	K	++	
D 12.	Alternierende Teilzeitbegrünung als Herbst-/Winterbegrünung im Wechsel mit Dauerbegrünung, Umbruch Mitte/Ende Mai	E	F	K	+	
D 13.	Rillenlose Bodenbearbeitung in Hanglagen	E	F	K	+	
D 14.	Beseitigung von Fahrspuren	E	F	K	+	
D 15.	Bodenabdeckung mit organischen Materialien	E	F	K	+	5
D 16.	Beidseitige Dauerbegrünung der Rebgassen	E	F	K	+	5
D 17.	Keine Winterbodenbearbeitung	E	F	K	+	
D 18.	Anlage von Querterrassen in Steillagen	E	F	K	++	
D 19.	Rodung von Altanlagen nach dem 1.3.	E	F	K	+	
D 20.	Herausziehen von Altanlagen ohne Pflug	E	F	K	+	
D 21.	Winterbegrünung	E	F	K	+	5

E: Landnutzungsmanagement

E 1.	Bei regelmäßigem Oberflächenabfluss Dränung optimieren	A	Lo	K	++	
E 2.	Verkürzung der erosiven Hanglänge bzw. Fließstrecken (Ranken, Gräben, Dämme, Furchen)	E	Lo	K	+	
E 3.	Einführung von begrünten Wasserwegen	E	Lo	K	+	1
E 4.	Ersetzen von Silomais durch Klee gras, Wickroggen mit Graseinsaat oder Ganzpflanzensilage an erosionsgefährdeten Hängen	E, D, G	F	K	+++	
E 5.	Erosionsgefährdete Hänge und Überschwemmungsflächen als Grünland nutzen	E, D, G, Ü	F	K	+++	6
E 6.	Anlage von Schonstreifen	E, A, G	Lo	K	++	1
E 7.	Uferrandstreifen	E, A, G	Lo	K	++	1
E 8.	Aufforstung in Risikolagen	E, D, G	F	K	++	1
E 9.	Wasserstände in organischen Böden so hoch wie möglich	D, G	F	L	+	1

F: Oberflächenwassermanagement

F 1.	Sickerstrecken, Kiesfilter	E, A	Lo	K	++	
F 2.	Klär- /Sedimentationsteiche	E, A, D	Lo	K	+++	1
F 3.	Vernässung von Feuchtgebieten	E, D, G	Lo	K	+++	1
F 5.	Verbreiterung der Grabensohle	E, D, G	Lo	K	+++	4
F 6.	Reduktion der Mahd von Strombetten und Grabenmanagement	E, D, G	Lo	K	+++	1
F 7.	Schaffung von Überflutungsräumen	E, D	Lo	K	+++	1
F 8.	Entrohrung von Gewässern	E	Lo	K	+	1
F 9.	Flurneuerungsverfahren unter dem Gesichtspunkt der Erosionsverminderung	E, D, G	F	L	++	7

Wasserpfad: E = Erosion, A = Abschwemmung, D = Dränabfluss, O = Oberflächenabfluss, G = Grundwasserabfluss, Ü = Überflutungen

RW: Räumliche Wirkung: Lo = Lokal, F = Flächig

ZW: Zeitliche Wirkung, K = Kurzfristig (0-5 Jahre), L = Langfristig (> 5 Jahre)

E : Effizienz: + = 0-120 g P ha⁻¹ a⁻¹, ++ = 120-500 g P ha⁻¹ a⁻¹, +++ = >500 g P ha⁻¹ a⁻¹ (Literaturangaben und Schätzungen).

Literatur:

- 1: Holsten, B., Ochsner, S., Schäfer, A. & Trepel, M. (2012): Praxisleitfaden für Maßnahmen zur Reduzierung von Nährstoffausträgen aus dränierten landwirtschaftlichen Flächen. CAU Kiel. http://www.ecosystems.uni-kiel.de/bilder/218_150/praxisleitfaden_interaktiv.pdf
- 2: Osterburg, B. & Runge, T. (2007): Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen in Gewässer - Eine wasserschutzorientierte Landwirtschaft zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Landbauforschung Völkenrode, 307.
- 3: Phillipson, S. (2007): Sachgerechtes Bewirtschaften, Abfischen und Besetzen von oberschwäbischen Weihern. http://www.gewaesserberater.de/Sachgerechtes_Bewirtschaften_Abfischen_und_Besetzen_von_oberschwaebischen_Weihern.pdf, abgerufen 11.9.2015.
- 4: Interwies, E., Kraemer, R.A. & Kranz, N. et al. (2004): Grundlagen für die Auswahl der kosteneffizientesten Maßnahmenkombinationen zur Aufnahme in das Maßnahmenprogramm nach Artikel 11 der Wasserrahmenrichtlinie - HANDBUCH. UBA Texte.
- 5: Umweltbundesamt (2003): Evaluierung der Effizienz von Erosionsschutzmaßnahmen im Österreichischen Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft (ÖPUL 2000) in Testgebieten. Endbericht Forschungsprojekt 1299.
- 6: Mohaupt, V., Rechenberg, J., Richter, S., Schulz, D. & Wolter, R. (2010): Gewässerschutz mit der Landwirtschaft. UBA. <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3894.pdf> UBA
- 7: Edelmann, H.-J. (2010): Erosionsschutz in der Flurneuordnung. Erosionsschutz – Aktuelle Herausforderung für die Landwirtschaft 8. Kulturlandschaftstag. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 3, 55-61.
- 8: Billen, N. (2007): Landwirtschaftlicher Hochwasserschutz. Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Univ. Hohenheim. <https://www.uni-hohenheim.de/i410a/steckbriefe/HochwasserSteckbriefe.pdf>
- 9: Schwab, A., Wahl, K. und R. May (2002): Die Begrünungsfrage in Franken - Welche Formen haben sich bewährt? http://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/weinbau/dateien/w1_begr%C3%BCnung_in_franken.pdf
- 10: Institut für Binnenfischerei e. V. Potsdam-Sacrow (2001): Ordnungsgemäße Teichwirtschaft - Auswirkungen guter fachlicher Praxis auf Nährstoffe in Karpfenteichen und Vorflutern. Schriften des Instituts für Binnenfischerei e. V. Potsdam-Sacrow, Band 7, 2. Auflage (2004).

3.3 Aktuelle Definition der Phosphor-Bodengehaltsklassen

Die Haupte Erkenntnis der Literaturstudie ist, dass der Schlüssel für einen nachhaltigen Umgang mit der Ressource Phosphor in der Landwirtschaft und damit der Reduzierung von Phosphoraussträgen aus landwirtschaftlichen Flächen in der Definition der Bodenversorgungsklassen liegt. Der Eintrag von Phosphor in Oberflächengewässer und das oberflächennahe Grundwasser wird zum großen Teil über die Höhe der Phosphorvorräte im Boden gesteuert. Bei hohen löslichen Phosphoranteilen im Boden kann es folglich zu erhöhten Austrägen, sowohl über oberflächennahen Austrag, als auch über unterirdischen Austrag kommen. Weiterhin wird bei hohen Phosphorvorräten im Boden partikulär gebundener Phosphor durch Erosion in die Gewässer eingetragen. Somit ist die angepasste Phosphordüngung die effektivste, aber auch erst nach langer Zeit wirkende Maßnahme zur entscheidenden Reduzierung der Phosphorbelastung in den Gewässern.

Für eine Anpassung der Phosphordüngung ist die Einteilung in Phosphor-Bodenversorgungsklassen ein Hauptansatzpunkt. Diese Bodenversorgungsklassen sind bundes- und europaweit sehr unterschiedlich definiert. In der Vergangenheit erfolgte die Abgrenzung der unterschiedlichen Phosphor-Bodengehaltsklassen in

den verschiedenen Regionen Deutschlands jeweils von der örtlichen LUFA. Zum Teil haben sich erhebliche Unterschiede in den Düngeempfehlungen bei gleichen Standortbedingungen ergeben. Ende der 1990er Jahre hat der Arbeitskreis Düngeberatung der Bundesländer diese Praxis überprüft und festgestellt, dass diese Unterschiede nicht gerechtfertigt sind (Kerschberger et al. 1997). Es wurde daher vorgeschlagen, die Klasse C einheitlich mit Werten zwischen 4,5 - 9 mg P bzw. 10 - 20 mg P₂O₅ anzugeben (Tab. 2). Dabei wurde die Klasse C so definiert, dass die Düngung einerseits ökonomisch sinnvoll ist und zu Mehrerträgen führt und andererseits die Phosphorgehalte nach der Ernte im Boden konstant bleiben. In der Klasse C wird somit der jeweiligen Kultur so viel Phosphor über die Düngung zugeführt, wie mit der Ernte abgefahren wird.

Tabelle 2: Vorschläge für die Phosphor-Bodengehaltsklassen nach Kerschberger et al. (1997)

Versorgungsklasse	mg P pro 100 g Boden (CAL)	mg P ₂ O ₅ pro 100 g Boden (CAL)
A (sehr niedrig)	≤ 2,0	≤ 5
B (niedrig)	2,1 – 4,4	6 - 9
C (anzustreben)	4,5 – 9,0	10 - 20
D (hoch)	9,1 – 15,0	21 - 34
E (sehr hoch)	≥15,1	≥ 35

Die Zweiteilung der Definition der Gehaltsklasse C führt in der Praxis regelmäßig zu Konflikten. Versuche in Baden-Württemberg zeigten bei einem 10-jährigen Verzicht auf die Phosphordüngung bei einem Ausgangswert von etwa 18 mg CAL-P₂O₅ pro 100 g Boden (Klasse C), dass mit einer Entzugsdüngung von 50 kg P₂O₅ pro ha und Jahr über diesen Zeitraum zwar gelegentlich Mehrerträge bei Getreide und Hackfrüchten gegenüber der ungedüngten Variante erzielt wurden, die Kosten für die Düngung aber höher lagen als der Gewinn durch den Mehrertrag. Die Düngung war demnach ökonomisch nicht sinnvoll. Da aber der Phosphor-Bodengehaltswert in dieser Zeit auf etwa 13 mg P₂O₅ pro 100 g Boden abgesunken war, ist die Schlussfolgerung, dass eine Düngung dennoch gerechtfertigt war (Mokry 1996). Besonders in den unteren Gehaltsklassen zeigen sich in der Praxis vielfach überraschende Ergebnisse. Hier konnte eine Phosphor-Düngung zum Teil keinen Mehrertrag erzielen und ein Verzicht auf Phosphor-Düngung konnte über viele Jahre durchgeführt werden, ohne dass geringere Ernten festgestellt wurden (Neyroud & Lischer 2003).

3.4 Empfehlungen für eine Überarbeitung der Phosphor-Bodengehaltsklassen

Nach Auswertung zahlreicher Versuchsergebnisse setzt sich unter Experten immer mehr die Meinung durch, dass die unteren Versorgungsklassen neu zu definieren sind. Demnach kann durch eine Verwendung von leicht löslichen Phosphor-Düngern ein stabiler Ernteertrag erzielt werden, ohne dass die Bodengehaltsklasse angehoben werden muss. In vielen Versuchen wurde das optimale Ertragsniveau bereits bei 5 mg P oder 11 mg P_2O_4 erreicht, so dass diese Standorte nur auf Entzug gedüngt werden müssen (Köster & Nieder 2007). Die vereinzelt aufgetretenen Fälle mit höheren Bodengehaltswerten, in denen mit Düngung noch Mehrerträge erzielt wurden, sollten neu bewertet werden.

Über eine Anpassung der Bodengehaltsklassen wird seit langem in der Praxis und Wissenschaft kontrovers diskutiert (z.B. Hege et al. 2008, Römer 2013, VDLUFA 2015). Laut Kerschberger et al. (1997) reichen 4,5 mg P oder 10 mg P_2O_5 pro 100 g Boden fast immer aus, um mit einer Erhaltungsdüngung den optimalen Ertrag zu erzielen. Dennoch wurde in der Empfehlung nach Kerschberger et al. (1997) die Obergrenze der Klasse C mit 9 mg P pro 100 g Boden deutlich höher gewählt. Um den Gehalt in den obersten 30 cm des Bodens um 1 mg P pro 100 g Boden anzuheben, sind im Mittel 100 kg P-Dünger nötig. Rein rechnerisch müssten es nur etwa 30 kg P sein, aber ein Teil des zugeführten Phosphors wird in Bindungsformen umgewandelt, die nicht mehr mit der DL- oder CAL-Methode nachweisbar sind. Werner (2010) konnte durch Düngung einer Fläche ohne Pflanzenbewuchs zeigen, dass bereits nach einem Tag nur noch 87 bzw. 78 % des zugeführten Phosphors nachweisbar waren, nach einem Monat waren es noch 82 bzw. 51 %.

Da mehrere 100 kg Phosphor zwischen der unteren und oberen Grenze der Gehaltsklasse C liegen, ist die obere Grenze der Bodengehaltsstufe C sehr umstritten. Verschiedenste Autoren halten aufgrund von umfangreichen Datenauswertungen 3 – 5 mg CAL-P pro 100 g oder 7 – 12 mg CAL- P_2O_5 Boden als Düngung in Höhe des Ernteentzugs für ausreichend (Köster & Nieder 2007, Isermann 2008, Kuchenbuch 2010, Hege et al. 2008, Werner 2010, Römer 2014).

Die VDLUFA (2015) nahm die jüngsten Ergebnisse aus dem Forschungs- und Versuchswesen in Bezug auf langjährige Abreicherungsversuche und den langjährig reduzierten P-Düngereinsatz in den Ackerbauregionen der neuen Bundesländer als Anlass, eine Neubewertung der Phosphor-Bodengehaltsklassen vorzunehmen. Neben den ökonomischen Aspekten diene die Neubewertung auch dazu, die Problematik der Endlichkeit der Ressource Phosphor und die mit Phosphor-Bilanzüberschüssen in Verbindung stehende Umweltbelastung durch Phosphor stärker im Düngermanagement zu berücksichtigen.

Die Ergebnisse der ökonomischen Auswertung langjähriger Datenreihen für Acker- und Grünlandstandorte legen eine Absenkung der Richtwerte (Tab. 3) für die Gehaltsklasse C nahe (VDLUFA 2015). Dies führt sowohl zur Absenkung des unteren Richtwertes der Bodengehaltsklasse C (von 4,5 mg P pro 100 g Boden auf 3 mg P pro 100g Boden), als auch zur Absenkung des oberen Richtwertes der Bodengehaltsklasse C (von 9 mg P pro 100 g Boden auf 6 mg P pro 100 g Boden). Eine Erhöhung des oberen Richtwertes in Bodengehaltsklasse C auf 7,5 mg P pro

100g Boden ist für Regionen mit niedriger Niederschlagssumme zulässig (VDLUFA 2015). Auch für die übrigen Bodengehaltsstufen werden Anpassungen der Richtwerte vorgeschlagen (Tab. 3).

*Tabelle 3: Überarbeitete Richtwerte der Phosphor-Bodengehaltsklassen nach VDLUFA (2015)
*6 mg P pro 100g Boden (CAL) für alle Standorte mit Niederschlagsmengen > ~550mm/Jahr,
in Trockengebieten (<~550 mm) erhöht sich der Wert auf 7,5 mg P pro 100g Boden (CAL)*

Versorgungsklasse	mg P pro 100 g Boden (CAL)	mg P ₂ O ₅ pro 100 g Boden (CAL)
A (sehr niedrig)	≤ 1,5	≤ 3,4
B (niedrig)	1,5 – 3,0	3,4 – 7,0
C (anzustreben)	3,0 – 6,0*	7,0 – 14,0
D (hoch)	6,0 – 12,0	14,0 – 27,0
E (sehr hoch)	≥12,0	≥27,0

3.5 Die Rolle von Wirtschaftsdünger als Ersatz für mineralischen Dünger

Neben der Herabsetzung der Phosphor-Bodengehaltsklassen könnte die Novellierung der Düngeverordnung (DüV) ein elementares Stellglied für einen nachhaltigeren Umgang mit der Ressource Phosphor sein. Während in der aktuell gültigen DüV noch ein P₂O₅-Überschuss von +20 kg pro Hektar im mehrjährigen Mittel in der Bodenversorgungsstufe C zulässig ist, wird nach der Novellierung der DüV dieser Wert voraussichtlich auf +10 kg Überschuss von P₂O₅ pro Hektar herabgesetzt (Stand 16.12.2015). Gleichzeitig ist für hoch oder sehr hoch versorgte Böden (Gehaltsklasse D und E) ein Phosphor-Saldo von 0 kg P₂O₅ im dreijährigen Mittel vorgesehen. Obwohl die Herabsetzung der zulässigen Phosphorüberschüsse einen Beitrag zur Verminderung von Phosphoreinträgen in die Gewässer leisten wird, ist diese Regelung aus Sicht des Gewässerschutzes als unzureichend einzustufen. Da die hoch und sehr hoch versorgten Böden über einen großen Phosphorvorrat verfügen, ist eine Düngung zum Ausgleich der erntebedingten Phosphorentzüge nicht notwendig und verhindert die Abreicherung der Bodenphosphorgehalte auf ein sinnvolles Maß (höchstens Gehaltsklasse C). Aus diesem Grund ist trotz der Novellierung der Düngeverordnung weiterhin nicht von einer ausreichenden Gewässerentlastung durch verringerte Phosphorausträge aus landwirtschaftlichen Flächen auszugehen.

Auch der Umgang mit Wirtschaftsdünger wird darüber entscheiden, wie nachhaltig die zukünftige Nutzung der Ressource Phosphor sein wird. Bereits ohne die novellierte DüV gibt es in Deutschland Regionen mit einem zu hohen Aufkommen an Wirtschaftsdünger durch eine hohe Tierdichte und eine hohe Anzahl an Biogasanlagen. In Niedersachsen und Schleswig-Holstein beispielsweise, ist in einzelnen Regionen der Phosphor-Düngebedarf allein durch anfallenden Wirtschaftsdünger mehr als gedeckt und führt bereits bei der Anwendung der

aktuellen DüV einzelbetrieblich zu Phosphorüberschüssen (Taube et al. 2015; LK Niedersachsen 2016).

Aus den derzeitigen Überschüssen an organischem Phosphordünger leitet sich der Bedarf von Wirtschaftsdüngerexporten in andere Landesteile ab, damit nicht zu viel Phosphor auf die landwirtschaftlichen Flächen aufgebracht wird. Generell liegen die Anteile der hoch versorgten Böden in den viehstarken Regionen höher als in ackerbauorientierten Regionen mit geringer Viehdichte (DLG e. V. 2008). Aus diesem Grund erscheint ein Export von Wirtschaftsdünger als naheliegende Lösung. Große Anteile des mineralischen Düngers in Ackerbauregionen könnten so durch Wirtschaftsdünger aus den Überschusslandkreisen ersetzt werden (Taube et al. 2015, LK Niedersachsen, 2016).

Darüber hinaus wird die novellierte Düngeverordnung die Dringlichkeit von Wirtschaftsdüngerexporten weiter verschärfen. Bei einem einzuhaltenden Kontrollwert von 10 kg P_2O_5 je Hektar in den Phosphorsalden werden weitere Regionen in Deutschland einen Überschuss an Wirtschaftsdünger produzieren und Schwierigkeiten haben, die Anforderungen an die Phosphorsalden einzuhalten. Somit ist in naher Zukunft ein noch größerer Bedarf an weiteren Wirtschaftsdüngerexporten absehbar. Nach Einschätzungen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LK Niedersachsen 2016) könnte beispielsweise die niedersächsische Landwirtschaft zukünftig gänzlich auf mineralische Phosphordüngungen verzichten und den Bedarf allein mit Wirtschaftsdünger decken.

Um eine nachhaltigere und effizientere Nutzung von Phosphor und die Einhaltung der Phosphorsalden zukünftig zu gewährleisten, ist die Anerkennung der Düngerwürdigkeit des organischen Düngers in der Praxis daher unumgänglich. Der Schlüssel zur nachhaltigen Nutzung liegt deshalb im Ersatz der mineralischen Phosphordüngung durch organisch gebundenen Phosphor aus Wirtschaftsdüngern. Hierzu muss jedoch das Problem gelöst werden, dass Gülle generell eine geringe Transportwürdigkeit besitzt. Durch die Separation von Gülle kann der Phosphor jedoch in der dicken Phase konzentriert werden und die Kosten können für einen Gülleexport sinken. Bei dem einfachsten Verfahren, das insbesondere bei Schweinegülle wirksam ist, wird allein die Schwerkraft genutzt und die Sinkschicht getrennt von der dünnen Schicht ausgebracht (Brosthaus 2009). Für eine stärkere Trocknung der Gülle können unterschiedliche Verfahren eingesetzt werden, wobei neben fest installierten Anlagen auch mobile Geräte in Frage kommen. Abhängig von den Eigenschaften des Ausgangssubstrates und der eingesetzten Separationstechnik können 10 bis 90 % des Phosphors abgetrennt werden.

Die erhöhte Transportwürdigkeit ermöglicht eine leichtere Umverteilung des anfallenden Wirtschaftsdüngers und schafft Vorteile für die Landwirtschaft und den Gewässerschutz zugleich. Mit dem Ersatz von mineralischem Dünger durch Wirtschaftsdünger können die Kosten der pflanzlichen Produktion gesenkt werden und regional konzentriert auftretende Phosphorüberschüsse reduziert werden. Davon profitieren gleichzeitig die Gewässer, da von einer Verminderung der diffusen Phosphorausträge aus den Phosphorüberschussregionen auszugehen ist.

3.6 Öffentlichkeitsarbeit

Ein übergeordnetes Ziel dieses Projekts war die Aufarbeitung und allgemein verständliche Zusammenstellung des Wissens zum Verhalten von verschiedenen Phosphorfraktionen in der Landschaft und die Erläuterung ihrer ökologischen Wirksamkeit. Aus dieser Zusammenstellung geht hervor, dass individuelle und situationsbedingt gewählte Maßnahmen ein Schlüssel zum nachhaltigen Umgang mit Phosphor sind. Dennoch werden trotz Umsetzung unterschiedlicher Maßnahmen auf landwirtschaftlichen Flächen weiterhin über viele Jahre Phosphoreinträge zur Beeinträchtigung der Gewässer führen. Der Grund liegt in den hohen Phosphorvorräten der landwirtschaftlichen Flächen, die selbst bei einer Anpassung des Düngermanagements noch über Jahre Phosphor freisetzen können. Aus diesem Grund wurde im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit dieses Projekts das Problem explizit dargelegt und diskutiert. Ein Artikel über nach oben abweichende Einstufungen der Phosphor-Bodengehaltsklassen in Schleswig-Holstein konnte nach intensiver Abstimmung mit der Landwirtschaftskammer im Bauernblatt Schleswig-Holsteins veröffentlicht werden. Auch für das Bundesland Niedersachsen wurde durch eine Veröffentlichung in der Zeitschrift Land & Forst die Überarbeitung der Bodengehaltsstufen für Phosphor empfohlen und auf die generelle Phosphorproblematik aufmerksam gemacht. Zum Abschluss des Projekts wird ein weiterer Artikel im Bauernblatt Schleswig-Holstein veröffentlicht, der die Hauptergebnisse dieses Projekts kurz und bündig darstellt und die erarbeitete Informationsbroschüre vorstellt. Mit diesem Artikel sollen in erster Linie die landwirtschaftlichen Berater angesprochen werden, um die Anwendung angepasster Phosphor-Bodengehaltsklassen und die empfohlenen Maßnahmen zur Reduzierung von Phosphorverlusten aus landwirtschaftlichen Flächen in die Praxis zu überführen. In einem Beitrag in der Zeitschrift Wasser & Abfall werden gezielt Entscheidungsträger auf die Phosphorproblematik und die im Projekt herausgearbeiteten Lösungsansätze adressiert. Somit wird mit den genannten Artikeln ein breites Spektrum an möglichen Interessenten an dem Thema Phosphor in der Landschaft erreicht. Alle genannten Beiträge sind im Anhang enthalten.

In der weiteren Öffentlichkeitsarbeit wurde weiterhin in diesem Zusammenhang die Problematik der Phosphor-Bodengehaltsklassen in Schleswig-Holstein am 02.09.2014 in einem Seminar des Bildungszentrums in Flintbek zur Diskussion gestellt. Ebenso wurde das Thema auf einem Seminar mit dem Thema „Landwirtschaft und Gewässerschutz“ am 07.10.2015 der NNA in Schneverdingen vorgestellt.

Ein wesentlicher Bestandteil der Öffentlichkeitsarbeit und zugleich wesentliches Endprodukt des Projekts ist die Broschüre zum nachhaltigen Umgang mit der Ressource Phosphor. In der zweiten Projektphase wurde sowohl die Maßnahmenliste zur Verminderung von Phosphoraussträgen aus der Landwirtschaft, als auch die Empfehlung zur Anpassung der Bodengehaltsklassen auf der landwirtschaftlichen Informationsplattform zur Diskussion gestellt. Die inhaltlich mit Experten abgestimmte Broschüre ist als Druckexemplar auf Anfrage bei der Christian-Albrechts-Universität zu beziehen und kann weiterhin digital abgerufen

werden. Die Verfügbarkeit der erarbeiteten Informationsbroschüre (Digitalversion und Printversion) selbst wird durch mehrere Pressemitteilungen öffentlich angezeigt. Darüber hinaus wurde ein kleines Faltblatt erarbeitet, welches künftig auf Veranstaltungen rund um das Thema Landwirtschaft und Gewässerschutz ausgelegt wird und ebenfalls digital verfügbar ist.

Die allgemeinen Projekthalte und Projektziele wurden in einem Handout auf der 2. European Sustainable Phosphorus Conference vom 5.-6.3.2015 in Berlin verbreitet. Außerhalb des Projekts wurde die Informationsbroschüre bereits als Praxishilfe an Gewässerschutzberater, an Entscheidungsträger und Lehrpersonal weitergeleitet. Somit haben die zusammengestellten Maßnahmen zur Reduzierung von Phosphoreinträgen in die Gewässer sowie die Umsetzung reduzierter Bodengehaltsklassen für Phosphor in der Düngerplanung bereits Eingang in die Praxis gefunden.

4 Diskussion

Die Hauptidee des Projekts ist, dass der gegenwärtige Umgang mit der Ressource Phosphor nicht nachhaltig ist und somit die Gewässer Deutschlands negativ beeinflusst. Die vorgestellten Maßnahmen sollten als Anreiz zur Verbesserung der gegenwärtigen Belastungssituation aufgefasst werden. Die Akteure in der Landwirtschaft sind dazu aufgerufen, die nach Eintragungssituation und Effizienz differenzierten Maßnahmen nach Möglichkeit umzusetzen, um die Umwelt weiter zu entlasten und die endliche Ressource Phosphor nachhaltiger zu nutzen. Durch die öffentliche Diskussion mit Experten im Rahmen des Projekts wurde sichergestellt, dass die vorgestellten Maßnahmen praxisnah sind, umgesetzt werden können und zur nachhaltigeren Nutzung der Ressource Phosphor in der Landwirtschaft beitragen.

Dennoch ist zu beachten, dass die vorgeschlagenen Maßnahmen allein nur einen Anteil an der Reduzierung der Phosphorbelastung der Gewässer ausmachen können. Langfristige Erfolge sind nur durch eine Herabsetzung der Phosphor-Bodengehaltsstufen zu erreichen. Aus der Bearbeitung des Projekts ging insbesondere in der Diskussion mit Experten hervor, dass trotz vorliegender wissenschaftlicher Erkenntnisse aus dem Versuchswesen zum Teil eine große Skepsis gegenüber einer verringerten Phosphordüngung besteht. Deshalb wird es in naher Zukunft notwendig sein, weitere Überzeugungsarbeit zu leisten. Hier trägt die Broschüre dazu bei, den Kenntnisstand verständlich an die Entscheidungsträger zu bringen.

Für eine deutliche Reduzierung der Phosphorbelastung der Gewässer müssen deutschlandweit maßvolle Bodengehaltsstufen auf Basis der aktuellen Ergebnisse aus der Forschung und dem Versuchswesen etabliert werden, wie es auch von der VDLUFA (2015) vorgeschlagen wird.

Darüber hinaus stellen die regional konzentriert auftretenden Phosphorüberschüsse durch hohe Tierbestände und eine hohe Anzahl an Biogasanlagen eine Herausforderung dar. Zum einen werden aus Sicht der Landwirtschaft viele landwirtschaftliche Betriebe Schwierigkeiten haben, die neuen Vorgaben für Phosphorsalden gemäß der novellierten DüV einzuhalten. Zum anderen wird es auf Grund des hohen Wirtschaftsdüngeraufkommens eine Herausforderung, die Phosphorgehalte im Boden regional weiter zu reduzieren und somit einen verbesserten Gewässerschutz zu erreichen.

Eine Voraussetzung zur nachhaltigen Nutzung der Ressource Phosphor ist daher die Weiterentwicklung von Separationsverfahren für Wirtschaftsdünger zur Steigerung der Transportwürdigkeit. Nur durch eine ökonomisch vertretbare Transportwürdigkeit und erleichterte Handhabung der aus Wirtschaftsdünger gewonnenen Phosphordünger kann ein effektives Düngermanagement etabliert werden, in dem Ackerbaubetriebe gänzlich auf mineralische Phosphordüngung verzichten. Im Hinblick auf eine gesteigerte Transportwürdigkeit und erleichterte Handhabung von Wirtschaftsdünger wird an zukünftige Separationsverfahren die Anforderung gestellt werden, die Stickstofffraktionen von den Phosphorfraktionen zu trennen. Bei einer Umsetzung der novellierten Düngeverordnung (Stand 16.12.2015), kann

einzelbetrieblich eine durch Wirtschaftsdüngernutzung hervorgerufene Überschreitung der Phosphorsalden eine stärkere Reduzierung der Stickstoffdüngung nach sich ziehen. Da bei einer Ausbringung herkömmlicher Wirtschaftsdünger das Verhältnis zwischen Stickstoff und Phosphor nur schwer zu beeinflussen ist, könnte zur Einhaltung der Grenzwerte für Phosphor eine Reduzierung der aufgebrauchten Wirtschaftsdüngermenge notwendig sein. Dadurch ist allerdings nicht zwangsweise sichergestellt, dass ausreichend Stickstoff gedüngt wird, so dass es hier zu einer mangelhaften Stickstoffversorgung kommen kann. Infolgedessen wird die Weiterentwicklung und Etablierung von Separationsverfahren, welche neben der Trennung von Fest- und Flüssigphase auch unterschiedliche Nährstoffe voneinander trennen können, unverzichtbar sein.

Eng in Verbindung mit einer effizienteren Ausgestaltung der Phosphordüngung steht der ökologische Nutzen. Gegenwärtig werden die Chancen, die sich durch einen nachhaltigeren Umgang mit der Ressource Phosphor für Landwirtschaft und Gewässerschutz ergeben, nicht ausreichend wahrgenommen. Die Landwirtschaft kann aus ökonomischer Sicht von einem Ersatz von Mineraldünger durch Wirtschaftsdünger und einer am tatsächlichen Pflanzenbedarf orientierten Phosphordüngung profitieren. Weitere gezielte Maßnahmen, wie z.B. die Anlage von Gewässerrandstreifen, können den erosionsbedingten Eintrag von Phosphor in die Gewässer weiter vermindern und als ökologische Vorrangflächen im Rahmen des für EU-Direktzahlungen geltend gemacht werden. Neben den ökonomischen Aspekten führen diese Maßnahmen aus ökologischer Sicht zu einem verbesserten Gewässerschutz. Die Phosphorüberschüsse werden durch das angepasste Düngermanagement reduziert und zeitgleich wird der Phosphoreintrag durch geringere Phosphorbodenvorräte vermindert. Gewässerrandstreifen als Sedimentfalle und artenreiches Landschaftselement unterstützen die Verminderung der Phosphoreinträge zusätzlich und werten die Landschaft weiterhin ökologisch auf. In Zukunft muss deshalb ein Hauptschwerpunkt darauf liegen, ein Bewusstsein für die gemeinsamen Vorteile für die Landwirtschaft und des Gewässerschutz zu schaffen. Die Informationsbroschüre kann dabei durch die allgemein verständliche Aufbereitung eines komplexen Themenfelds einen wesentlichen Beitrag dazu leisten.

5 Fazit

In dem Projekt „Phosphor in der Landschaft – Management eines begrenzt verfügbaren Nährstoffes“ wurde das Wissen über das Verhalten von Phosphor in der Landschaft, dessen Einsatz in der Landwirtschaft als Dünger und seine ökologische Wirksamkeit zusammengetragen und allgemein verständlich aufgearbeitet. Phosphor ist für die Landwirtschaft ein essentieller Nährstoff und zugleich eine begrenzt verfügbare Ressource. Somit ist allein schon aus Gründen der Nachhaltigkeit ein sorgsamer Umgang in der Landwirtschaft unverzichtbar. Im Rahmen des Projekts wurde verdeutlicht, dass zahlreiche Optimierungen und Effizienzsteigerungen in der Phosphordüngung erheblich dazu beitragen können, dass die Ressource Phosphor geschont wird und zugleich die Gewässer entlastet werden.

Mineralischer Phosphor ist als Düngemittel in seiner Verfügbarkeit begrenzt. Zur Schonung der Ressource Phosphor kommt dabei dem Ersatz von mineralischem Phosphor durch organisch gebundenen Phosphor in Wirtschaftsdüngern eine zentrale Rolle zu Teil. Infolge steigender Tierdichten und Biogasanlagen wird es auch in Zukunft in einzelnen Regionen Deutschlands ein hohes Wirtschaftsdüngeraufkommen geben. Gegenwärtig fallen in diesen Regionen bereits so hohe Mengen an Wirtschaftsdünger an, dass der Bedarf an Phosphor durch Wirtschaftsdünger mehr als erfüllt ist und Exporte in andere Landesteile nötig sind, damit die zulässigen Phosphorsalden eingehalten werden. Mit der Novellierung der Düngeverordnung wird diese Problematik noch weiter verschärft werden. Es ist daher unverzichtbar, die vorhandenen Phosphorressourcen im Wirtschaftsdünger effizienter zu nutzen. Die Umverteilung der Wirtschaftsdünger in die Ackerbauregionen, in denen noch vorwiegend mineralische Phosphordüngung erfolgt, muss konsequenter umgesetzt werden.

Dennoch bleibt der Phosphorgehalt im Boden das größte Stellglied zur Ressourcenschonenden Phosphordüngung und zur Minderung von Phosphoreinträgen in die Gewässer. Langfristig wird eine dem Nährstoffbedarf der Pflanzen angepasste Düngung die effektivste Maßnahme sein, um Phosphoreinträge in die Gewässer zu reduzieren. Versuchsergebnisse aus Deutschland und aus anderen Ländern Europas stimmen dahingehend überein, dass die gegenwärtige Phosphordüngung nicht am tatsächlichen Bedarf der Pflanzen ausgerichtet ist und ein hohes Einsparpotenzial in der applizierten Phosphordüngung besteht. Es ist daher unverzichtbar, die Herabsetzung der Phosphorgehalte durch eine Überarbeitung der Bodengehaltsklassen konsequent umzusetzen. Auch wenn gegenwärtig kontrovers diskutiert wird, wie hoch die Phosphorversorgung für gesicherte und hohe Erträge im Boden sein muss, zeigen die Versuchsergebnisse, dass eine Absenkung der Gehaltsklassen ohne Einbußen bei hohen Ernteerträgen möglich ist.

Neben dieser langfristig umzusetzenden Maßnahme sind durch das Projekt eine Vielzahl weiterer Maßnahmen identifiziert worden, die in der Praxis unmittelbar umgesetzt werden können. Diese Maßnahmen sind in der entwickelten Informationsbroschüre übersichtlich zusammengestellt und hinsichtlich ihrer zeitlichen und räumlichen Wirkung bewertet. Zusammen mit den verständlich aufbereiteten Informationen rund um das Verhalten von Phosphor in der Landschaft,

unterstützt die erarbeitete Broschüre betroffene Akteure und Entscheidungsträger, mit dem Nährstoff Phosphor Ressourcen- und umweltschonender umzugehen. Somit wird der Praxis ein Handwerkszeug zur Verfügung gestellt, mit dem individuell und situationsbedingt die wirkungsvollsten Maßnahmen für einen nachhaltigeren Umgang mit der Ressource Phosphor in der Landschaft ausgewählt werden können und Phosphoreinträge in die Gewässer reduziert werden können.

6 Öffentlichkeitsarbeit

Vorstellung der Projektergebnisse:

- „Die ökologische Qualität unserer Seen: Monitoring, Gütesicherung und Schutzmaßnahmen“, Vortrag im Bildungszentrum für Natur, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein in Flintbek am 02.09.2014
- „Verringerung der Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer und Meere aus landwirtschaftlichen Flächen“, Vortrag an der Alfred Toepfer Akademie in Schneverdingen am 07.10.2015
- „The 2nd European Sustainable Phosphorus Conference“, Projektvorstellung am 05. und 06.03.2015 in Berlin
- Phosphor in der Landschaft – Vorstellung der Projektergebnisse und der Informationsbroschüre, Vortrag im Rahmen eines Fachgesprächs der FGG Elbe, voraussichtlich Februar 2017

Veröffentlichungen:

- Informationsbroschüre: „Phosphor in der Landschaft – Management eines begrenzt verfügbaren Nährstoffes“ (Anhang 1)
- Faltblatt: „Phosphor – Nährstoff in der Landwirtschaft, Problemstoff im Gewässer“ (Anhang 2)
- Beitrag im Bauernblatt Schleswig-Holstein: „Ressourcen schonen – Zum nachhaltigen Umgang mit Phosphor“ (Anhang 3)
- Fachartikel in Wasser und Abfall: „Effektiver Gewässerschutz durch einen nachhaltigeren Umgang mit der Ressource Phosphor“ (Anhang 4)
- Beitrag im Bauernblatt Schleswig-Holstein: „Phosphordüngung im Einklang mit dem Gewässerschutz - Maßnahmen für einen nachhaltigeren Umgang mit der Ressource Phosphor“, Veröffentlichung voraussichtlich August/September (Anhang 5)
- Beitrag in Land & Forst: „Wirtschaftliches und umweltschonendes Phosphormanagement in der Landwirtschaft“, Veröffentlichung voraussichtlich August/September (Anhang 6)

7 Literatur

- Behrendt, H., Bach, M., Opitz, D., Pagenkopf, W.-G., Scholz, G. & Wendland, F. (2003): Internationale Harmonisierung der Quantifizierung von Nährstoffeinträgen aus diffusen und punktuellen Quellen in die Oberflächengewässer Deutschlands. UBA 82/03.
- Brosthaus, G., (2009): Die Schwerkraft nutzen. Landpost, 25.07.2009, 42-44
- BGR 2014: http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Ressourcenbewertung-management/Bodenerosion/Wasser/Karte_Erosionsgefahr_node.html;jsessionid=079B12478D5D78FEB4CD26E7C681670D.1_cid284, abgerufen 9.9.2015.
- Bundesregierung (2012): Phosphatvorräte reichen für rund 385 Jahre. <https://www.zfk.de/artikel/bundesregierung-phosphatvorräte-reichen-für-rd-385-jahre.html>, abgerufen 7.9.2015.
- Dehnert, J. & Friese H. (2010): Der kooperative Weg in Sachsen: Nährstoffmodellierung - Agrarumweltmaßnahmen - Arbeitskreise in „Hot Spot-Gebieten“. <http://www.umweltbundesamt.de/wasser-und-gewaesserschutz/gruene-woche/naehrstoffe.pdf>
- Effizient düngen (2012): Newsletter November 2012. http://www.effizientduengen.de/download/Phosphor_Bodenanalyse_Newsletter_11_2012.pdf
- EUROPEAN COMMISSION, 2014. *Große Herausforderung für die Industrie der EU: 20 kritische Rohstoffe*. European Commission - IP/14/599 26/05/2014. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-14-599_de.htm, abgerufen 1.10.2014.
- Fuchs, R., Dimitrova, S., Kittlaus, S. & Wander, R. (2014): Aktualisierung der Stoffeintragsmodellierung (Regionalisierte Pfadanalyse) für die Jahre 2009 bis 2011. Im Auftrag des UBA, Projektnummer 28104.
- Gethke-Albinus, K. (2012): Verfahren zur Gewinnung von Sekundärphosphaten aus flüssigen Stoffströmen und deren Einfluss auf die deutsche Phosphorbilanz. Dissertation an der Fakultät für Bauingenieurwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.
- Hege, U., Wendland, M. & Offenberger, K. (2008): Zur Bedeutung der Bodenversorgung mit Phosphat und Kali: Wie hoch müssen die Nährstoffgehalte im Boden sein? Pflanzenbauwissenschaften 12(2), 53 – 63.
- Isermann, K. (2008): Sustainable phosphorus balances and managements in the nutrition system of agriculture, human nutrition, waste and waste water management taking Germany as an example: P-Recommendations, - Shortages, - Recycling. Poster-Beitrag: Braunschweiger Nährstofftage 2008.
- Kerschberger, M., Hege, U. & Jungk, A. (1997): Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf. VDLUFA-Standpunkt, Eigenverlag Darmstadt.
- Klik, A. (2004): Bodenerosion durch Wasser. Ländlicher Raum 6/2004, 1 – 11.

- Köster, W. & Nieder, R. (2007): Wann ist eine Grunddüngung mit Phosphor, Kalium und Magnesium wirtschaftlich vertretbar? http://www.beratung-malanders.de/pdf/Wann_ist_eine_Grundduengung_wirtschaftlich_DIN_A_4.pdf, abgerufen 9.9.2015.
- Kuchenbuch, R. (2010): Brauchen wir neue Düngekonzepte? Bundesarbeitskreis Düngung BAD (Hrsg.), Frankfurt a.M., 163 – 168
- LK Niedersachsen (2016): Nährstoffbericht in Bezug auf Wirtschaftsdünger für Niedersachsen 2014/2015, Oldenburg, 208 Seiten.
- LAWA-AO (2007): Rahmenkonzeption Monitoring. Teil B: Bewertungsgrundlagen und Methodenbeschreibungen.
- LLUR (Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein) (2012): Beurteilung der physikalisch-chemischen Bedingungen der Fließgewässer Schleswig-Holsteins und Maßnahmen zur Verringerung der Nährstoffbelastung. Hintergrundpapier, Flintbek, 12 Seiten.
- Mengel, K. & Kirkby, E.A. (2001): Principles of plant nutrition. Kluwer Academic Publishers.
- Mokry, M. (1996): P-Düngungsversuche – Baden-Württemberg. Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf. VDLUFA-Schriftenreihe 42/1996, 4 – 10.
- Neyroud, J.-A. & Lischer, P. (2003): Do different methods used to estimate soil phosphorus availability across Europe give comparable results? *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 188 (4), 422 – 431.
- OGewV (2016): Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373)
- Römer, W. (2013): Gehaltsklassen neu bewerten. *Mitteilungen* 5, 68 – 71.
- Römer, W., 2014. Die Versorgung der deutschen Ackerböden mit Phosphat und die Herausforderungen der Zukunft. *Bodenschutz*, 4, 125-130.
- Schoumans, A.F., Chardon, W.J., Bechmann, M.E., Gascuel-Oudou, C., Hofman, G., Kronvang, B., Rubæk, G.H., Ulén, B., Dorioz, J.-M., 2014. *Mitigation options to reduce phosphorus Losses from the agricultural sector and improve surface water quality: a review*. *Science of the Total Environment*, 468–469, 1255 – 1266.
- Taube, F., C. H. C. A. Henning, E. Albrecht , T. Reinsch & C. Kluss (2015): Nährstoffbericht des Landes Schleswig-Holstein. Bericht im Auftrag des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein. Kiel. 59 S.
- Tetzlaff, B. (2006): Die Phosphatbelastung großer Flusseinzugsgebiete aus diffusen und punktuellen Quellen. Forschungszentrum Jülich.
- UBA (Umweltbundesamt) (2011): Daten zur Umwelt. Ausgabe 2011. <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de>
- VDLUFA (2015): Positionspapier des Verbands Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung – Anpassung der Richtwerte für die Gehaltsklassen ist geboten und notwendig. 9 S.

- Wassen, M.J., Venterink, H.O., Lapshina, E.D. & Tanneberger, F. (2005): Endangered plants persist under phosphorus limitation. *Nature*, 437(7058): 547-50.
- Werner, W. (2010): Langzeitverhalten von Düngerphosphat im Boden und Konsequenzen für die Phosphatnachlieferung. Bundesarbeitskreis Düngung BAD (Hrsg.), Frankfurt a.M., 15 – 30.

8 Anhang

Tabelle 4: Fortlaufende Tabelle zur Zusammenstellung der Literaturnennungen verschiedener Maßnahmen mit Angabe des wirksamen Wasserpfades, einer Einschätzung der räumlichen und zeitlichen Wirksamkeit sowie der angegebenen Minderungswirkung.

Nr.	Maßnahme	Wasserpfad	RW	ZW	Literatur	Nährstoff	Minderung in		Einheit
							Min.	Mittel Max.	
Nährstoff-Management									
A 1.	Analyse von Nährstoffgehalten von Wirtschaftsdüngern		F	L					
A 1.	Analyse von Nährstoffgehalten von Wirtschaftsdüngern	O, D, G			Holsten et al. 2012				
A 2.	Nährstoffsalden berücksichtigen und Schlagkartei führen		F	L					
A 2.	Nährstoffsalden berücksichtigen und Schlagkartei führen	O, D, G			Cuttle et al. 2006	TP	20,00	%	
A 2.	Nährstoffsalden berücksichtigen und Schlagkartei führen	O, D, G			Cuttle et al. 2006	TP	0,00	0,06	kg ha ⁻¹ a ⁻¹
A 2.	Nährstoffsalden berücksichtigen und Schlagkartei führen	O, D, G			Kronvang et al 2005	TP	8,00		kg ha ⁻¹ a ⁻¹
A 2.	Nährstoffsalden berücksichtigen und Schlagkartei führen	O, D, G			Oenema et al. 2005	TP	> 0,1		kg ha ⁻¹ a ⁻¹
A 2.	Nährstoffsalden berücksichtigen und Schlagkartei führen	O, D, G			Holsten et al. 2012	TP Saldo	0,00	39,50	%
A 3.	Erstellung von Hoftorbilanzen		F	L					
A 3.	Erstellung von Hoftorbilanzen	O, D, G			SEPA 2009	TP	20,00	90,00	%
A 4.	Keine P-Düngung bei erhöhten P-Gehalten im Boden (Klasse D und E)		F	L					
A 4.	Keine P-Düngung in den Bodengehaltsklassen D und E	O, D, G			Cuttle et al. 2006	TP	20,00	%	
A 4.	Keine P-Düngung bei erhöhten P-Gehalten im Boden (Klasse D und E)	O, D, G			Cuttle et al. 2006	TP	0,00	0,03	kg ha ⁻¹ a ⁻¹
A 4.	Keine P-Düngung bei erhöhten P-Gehalten im Boden (Klasse D und E)	O, D, G			Svanbäck et al. 2006	TP	0,00		kg ha ⁻¹ a ⁻¹

Verlängerung der Sperrfrist für Düngerausbringung						
A 5.	Verlängerung der Sperrfrist für Düngerausbringung		F	L		
A 5.	Verlängerung der Sperrfrist für Düngerausbringung	O, D, G			Turtola et al. 1998	TP
A 5.	Verlängerung der Sperrfrist für Düngerausbringung		F	L		11,00
A 5.	Düngerausbringung	O, D, G			Holsten et al. 2012	TP
A 6.	P-Düngung auf Nährstoffbedarf abstimmen, N:P-Verhältnis im Dünger beachten					kg ha ⁻¹ a ⁻¹
A 6.	P-Düngung auf Nährstoffbedarf abstimmen, N:P-Verhältnis im Dünger beachten	O, D, G	F	L	Holsten et al. 2012	
A 7.	Düngezeitpunkt optimieren					
A 7.	Düngezeitpunkt optimieren	O, D, G	F	L	Boucher et al. 1995	TP
A 7.	Düngezeitpunkt optimieren	O, D, G	F	L	Somma 2013	TP
A 8.	Düngung auf Problemstandorten anpassen					7,00
A 8.	Düngung auf Problemstandorten anpassen	O, D, G	F	L	Cuttle et al. 2006	TP
A 8.	Düngung auf Problemstandorten anpassen	O, D, G	F	L	Somma 2013	TP
A 9.	Bodennahe Ausbringungstechnik, Schlitztechnik im Grünland					20,00
A 9.	Bodennahe Ausbringungstechnik, Schlitztechnik im Grünland		F	K		
A 9.	Bodennahe Ausbringungstechnik, Schlitztechnik im Grünland	O			Cuttle et al. 2006	TP
A 9.	Bodennahe Ausbringungstechnik, Schlitztechnik im Grünland	O	F	K		0,00
A 9.	Bodennahe Ausbringungstechnik, Schlitztechnik im Grünland	O			Diepolder et al. 2006	TP
A 9.	Bodennahe Ausbringungstechnik, Schlitztechnik im Grünland					0,00
A 9.	Bodennahe Ausbringungstechnik, Schlitztechnik im Grünland					0,18
A 9.	Bodennahe Ausbringungstechnik, Schlitztechnik im Grünland					0,60
A 9.	Bodennahe Ausbringungstechnik, Schlitztechnik im Grünland					kg ha ⁻¹
A 10.	Kein Düngerausbringung vor starken Regenfällen					
A 10.	Kein Düngerausbringung vor starken Regenfällen		F	K		
A 10.	Kein Düngerausbringung vor starken Regenfällen	O			Cuttle et al. 2006	TP
A 10.	Kein Düngerausbringung vor starken Regenfällen					0,00
A 10.	Kein Düngerausbringung vor starken Regenfällen					0,04
A 10.	Kein Düngerausbringung vor starken Regenfällen					kg ha ⁻¹ a ⁻¹
A 11.	Unterfußdüngung					
A 11.	Unterfußdüngung	O, D, G	F	L	Boucher et al. 1995	TP
A 11.	Unterfußdüngung	O, D, G	F	L	Svanbäck 2014	TP
A 11.	Unterfußdüngung	O, D, G	F	L	Svanbäck 2014	TP
A 11.	Unterfußdüngung					14,00
A 11.	Unterfußdüngung					14,00
A 11.	Unterfußdüngung					kg ha ⁻¹ a ⁻¹
A 11.	Unterfußdüngung					%

Direkteinträge vermeiden, Abstände zu										
A 12.	Gewässern einhalten									
Direkteinträge vermeiden, Abstände zu										
A 12.	Gewässern einhalten	O	Lo	K	Boucher et al. 1995	TP	0,00	15,00	%	
Ökologischer Landbau										
A 13.	Ökologischer Landbau	O, D, G	F	L						
Keine P-Düngung auf moorigen oder										
A 14.	anmoorigen Böden	O, D, G	F	L						

Tierbestand-Management

Tierzucht

P-reduzierte Fütterung nach										
B 1.	Entwicklungsphase									
P-reduzierte Fütterung nach										
B 1.	Entwicklungsphase	O, D, G	F	L	Sharpley et al. 2006	TP	72,00	g ha ⁻¹		
P-reduzierte Fütterung nach										
B 1.	Entwicklungsphase	O, D, G	F	L	Boucher et al. 1995	TP	0,00	15,00	%	
P-reduzierte Fütterung nach										
B 1.	Entwicklungsphase	O, D, G	F	L	Cuttle et al. 2006	TP	15,00	%		
P-reduzierte Fütterung nach										
B 1.	Entwicklungsphase	O, D, G	F	L	Cuttle et al. 2006	TP	0,01	0,17	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	
P-reduzierte Fütterung nach										
B 1.	Entwicklungsphase	O, D, G	F	L	Maguire et al 2007	TP		48,00	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	
P-reduzierte Fütterung nach										
B 1.	Entwicklungsphase	O, D, G	F	L	O'Rourke et al. 2010	TP	0,00	28,00	61,00	%
P-reduzierte Fütterung nach										
B 1.	Entwicklungsphase	O, D, G	F	L	O'Rourke et al. 2010	DRP	16	46	73	%

Futter mit reduzierten Phytase-P wählen oder
Zugabe von Phytase um Verdaubarkeit von
Phytase-P zu erhöhen

		F	L						
B 2.	Futter mit reduzierten Phytase-P wählen oder Zugabe von Phytase um Verdaubarkeit von Phytase-P zu erhöhen								
B 2.	Futter mit reduzierten Phytase-P wählen oder Zugabe von Phytase um Verdaubarkeit von Phytase-P zu erhöhen	O, D, G	F	L	Cuttle et al. 2006	TP	8,00	%	
B 2.	Futter mit reduzierten Phytase-P wählen oder Zugabe von Phytase um Verdaubarkeit von Phytase-P zu erhöhen	O, D, G	F	L	Cuttle et al. 2006	TP	0,01	0,17 kg ha ⁻¹ a ⁻¹	
B 3.	9 Monate Güllelager								
B 3.	9 Monate Güllelager	O, D, G	F	L	Cuttle et al. 2006	TP	0,04	0,49 kg ha ⁻¹ a ⁻¹	
B 3.	9 Monate Güllelager	O, D, G	F	L	Holsten et al. 2012				
B 4.	Separation von Gülle und Ferntransport								
B 4.	Separation von Gülle und Ferntransport	O, D, G	F	K	Sharpley et al. 2006	TP	35,00	%	
B 4.	Separation von Gülle und Ferntransport	O, D, G	F	K	Cuttle et al. 2006	TP	0,04	1,16 kg ha ⁻¹ a ⁻¹	
B 4.	Separation von Gülle und Ferntransport	O, D, G	F	K	Blum 2008	TP			
B 4.	Separation von Gülle und Ferntransport	O, D, G	F	K	Holsten et al. 2012				
B 5.	Tierzahl reduzieren								
B 5.	Tierzahl reduzieren Fischzucht	O, D, G	F	L	Cuttle et al. 2006	TP	0,02	0,98 kg ha ⁻¹ a ⁻¹	
B 6.	Langsames Abfischen	O	Lo	K					
B 7.	Anlegen eines Abfischgrabens oder einer Abfischgrube	O	Lo	K					
B 8.	Reinigen von Teichen nach dem Ablassen, Entschlammung	O	Lo	K					
B 9.	Einsatz von Feststoffabscheidern	O	Lo	K					
B 10.	Einsatz von Schlammfängen im Beckenboden Anlage einer Pflanzenlagung für ablaufendes Wasser	O	Lo	K					
B 11.	Wasser	O	Lo	K					
B 12.	Geringes Teichbodengefälle zum Abfluss hin	O	Lo	K					
B 13.	Abfischen im Herbst	O	Lo	K					

Feldfrucht-Management

Ackerbau

P-Vorrat im Boden messen und Bodengehaltswert kritisch prüfen									
C 1.	P-Vorrat im Boden messen und Bodengehaltswert kritisch prüfen	F	L						
C 1.	Bodengehaltswert kritisch prüfen	O, D, G		SEPA 2009	TP	0,00	25,00	%	
C 1.	P-Vorrat im Boden messen und Bodengehaltswert kritisch prüfen	F	L	Boucher et al. 1995	TP	0,00	50,00	%	
Fruchtfolge									
C 2.	Fruchtfolge	O	K	Allincai et al. 2008	TP	0,43		kg/ha	
C 2.	Fruchtfolge	O	K	Allincai et al. 2008	TP	0,62		kg/ha	
C 2.	Fruchtfolge	O	K	Allincai et al. 2008	TP	0,55		kg/ha	
C 2.	Fruchtfolge	O	K	Allincai et al. 2008	TP	41,00		%	
C 2.	Fruchtfolge	O	K	Allincai et al. 2008	TP	60,00		%	
C 2.	Fruchtfolge	O	K	Allincai et al. 2008	TP	53,00		%	
Anbau von Zwischenfrüchten									
C 3.	Anbau von Zwischenfrüchten	O, (G)	F	SEPA 2009	TP	30,00	50,00	%	
C 3.	Anbau von Zwischenfrüchten	O, (G)	F	Cuttle et al. 2006	TP	25,00	35,00	%	
C 3.	Anbau von Zwischenfrüchten	O, (G)	F	Cuttle et al. 2006	TP	0,03	0,13	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	
C 3.	Anbau von Zwischenfrüchten	O, (G)	F	Billen 2007		0,00	10,00	% Abfluss	
C 3.	Anbau von Zwischenfrüchten	O, (G)	F	Holsten et al. 2012					
C 3.	Anbau von Zwischenfrüchten	O, (G)	F	Kliik 2004		68,00	82,00	% Bodenabtrag	
C 3.	Anbau von Zwischenfrüchten	O, (G)	F	UBA Österreich 2003		0,70		t Bodenabtrag	
C 3.	Anbau von Zwischenfrüchten	O, (G)	F	UBA Österreich 2003		2,40		t Bodenabtrag	
C 3.	Anbau von Zwischenfrüchten	O, (G)	F	UBA Österreich 2003		2,90		t Bodenabtrag	
C 3.	Anbau von Zwischenfrüchten	O, (G)	F	UBA Österreich 2003		0,70		t Bodenabtrag	
C 3.	Anbau von Zwischenfrüchten	O, (G)	F	UBA Österreich 2003		5,50		t Bodenabtrag	
C 3.	Anbau von Zwischenfrüchten	O, (G)	F	UBA Österreich 2003		6,40		t Bodenabtrag	
C 3.	Anbau von Zwischenfrüchten	O, (G)	F	UBA Österreich 2003		21,00		% Bodenabtrag	
C 3.	Anbau von Zwischenfrüchten	O, (G)	F	UBA Österreich 2003		50,00		% Bodenabtrag	
C 3.	Anbau von Zwischenfrüchten	O, (G)	F	UBA Österreich 2003		32,00		% Bodenabtrag	

Weinbau		F	K	K	UBA Österreich 2003	
Alternierende Dauerbegrünung jeder 2. Rebasse im Wechsel mit Bodenbearbeitung, kein Wechsel der dauerbegrünteren Gassen						
D 11.	Böschungsbegrünung von Querterrassen	O				1,70 t Bodenabtrag
D 12.	Alternierende Teilzeitbegrünung als Herbst-/Winterbegrünung im Wechsel mit Dauerbegrünung, Umbruch Mitte/Ende Mai, Bearbeitung bis Einsaat					
D 13.	Rillenlose Bodenbearbeitung in Hanglagen					
D 15. Beseitigung von Fahrspuren						
	Beseitigung von Fahrspuren	O	Lo	K	Sanders und Mosimann 2005	5,00 t/ha Bodenabtrag
D 15.	Bodenabdeckung mit organischen Materialien	O	F	K	UBA Österreich 2003	
D 16.		O				3,10 t/ha Bodenabtrag
D 17. Beidseitige Dauerbegrünung der Rebassen						
D 17.	Beidseitige Dauerbegrünung der Rebassen	O	F	K	UBA Österreich 2003	7,90 t/ha Bodenabtrag
D 17.	Beidseitige Dauerbegrünung der Rebassen	O	F	K	UBA Österreich 2003	4,30 t/ha Bodenabtrag
D 18.	Keine Winterbodenbearbeitung	O	F	K		
D 19.	Anlage von Querterrassen in Steillagen	O	F	K		
D 20.	Rodung von Altanlagen nach dem 1.3.	O	F	K		
D 21.	Herausziehen von Altanlagen ohne Pflug	O	F	K		
D.22	Winterbegrünung	O	F	K		

Landnutzungsmanagement

Bei regelmäßigem Oberflächenabfluss Dränung optimieren								
E 1.	Bei regelmäßigem Oberflächenabfluss Dränung optimieren	O	Lo	K	VDLUFA 2001	TP	20,00	30,00 %
E 2.	Verkürzung der erosiven Hanglänge bzw. Fließstrecken (Ranken, Gräben, Dämme, Furchen)	O	Lo	K				
E 2.	Verkürzung der erosiven Hanglänge bzw. Fließstrecken (Ranken, Gräben, Dämme, Furchen)	O	Lo	K	Cuttle et al. 2006	TP	0,04	0,08
E 2.	Verkürzung der erosiven Hanglänge bzw. Fließstrecken (Ranken, Gräben, Dämme, Furchen)	O	Lo	K	VDLUFA 2001	TP	20,00	40,00
E 2.	Verkürzung der erosiven Hanglänge bzw. Fließstrecken (Ranken, Gräben, Dämme, Furchen)	O	Lo	K	Billen 2007		11,00	% Bodenabtrag
E 2.	Verkürzung der erosiven Hanglänge bzw. Fließstrecken (Ranken, Gräben, Dämme, Furchen)	O	Lo	K	Lfl 2013			
E 3.	Begrünung von Wasserwegen	O	Lo	K	SEPA 2009	TP	15,00	55,00 %
E 3.	Begrünung von Wasserwegen	O	Lo	K	Fiener et al. 2009	Sedimente	82,00	%
E 3.	Begrünung von Wasserwegen	O	Lo	K	VDLUFA 2001		50,00	70,00 %
E 3.	Intervallbegrünung von Fahrspuren,	O	Lo	K	Sanders und Mosimann 2005		0,26	0,96 t/ha Bodenabtrag
E 3.	Intervallbegrünung von Fahrspuren,	O	Lo	K	Sanders und Mosimann 2005		0,16	0,17 t/ha Bodenabtrag
E 3.	Intervallbegrünung von Fahrspuren,	O	Lo	K	Sanders und Mosimann 2005		0,01	t/ha Bodenabtrag

F 4. Künstliche Feuchtgebiete										
F 4.	Künstliche Feuchtgebiete	O, D, G	Lo	K	Evans et al. 2007	TP	26,00	%		
F 4.	Künstliche Feuchtgebiete	O, D, G	Lo	K	Evans et al. 2007	TP	70,00	%		
F 4.	Künstliche Feuchtgebiete	O, D, G	Lo	K	Evans et al. 2007	TP	68,00	%		
F 4.	Künstliche Feuchtgebiete	O, D, G	Lo	K	Evans et al. 2007	TP	54,00	%		
F 4.	Künstliche Feuchtgebiete	O, D, G	Lo	K	Evans et al. 2007	TP	47,00	%		
F 4.	Künstliche Feuchtgebiete	O, D, G	Lo	K	Evans et al. 2007	TP	42,00	%		
F 4.	Künstliche Feuchtgebiete	O, D, G	Lo	K	SEPA 2009	TP	56,00	%		
F 4.	Künstliche Feuchtgebiete	O, D, G	Lo	K	De Klein 2008	TP	3,90	kg a ⁻¹		
F 4.	Künstliche Feuchtgebiete	O, D, G	Lo	K	De Klein 2008	TP	0,30	kg a ⁻¹	4,60	
F 4.	Künstliche Feuchtgebiete	O, D, G	Lo	K	Cuttle et al. 2006	TP	0,42	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	2,20	
F 4.	Künstliche Feuchtgebiete	O, D, G	Lo	K	Somma 2013		23,00	%	42,00	
F 4.	Künstliche Feuchtgebiete	O, D, G	Lo	K	Reinhardt et al. 2005	TP	0,13	kg ha ⁻¹ a ⁻¹		
F 4.	Künstliche Feuchtgebiete	O, D, G	Lo	K	Reinhardt et al. 2005	TP	0,12	kg ha ⁻¹ a ⁻¹		
F 4.	Künstliche Feuchtgebiete	O, D, G	Lo	K	Reinhardt et al. 2005	TP	23,00	%		
F 4.	Künstliche Feuchtgebiete	O, D, G	Lo	K	Reinhardt et al. 2005	TP	23,00	%		
F 4.	Künstliche Feuchtgebiete	O, D, G	Lo	K	Reinhardt et al. 2005	TP	11,00	kg ha ⁻¹ a ⁻¹		
F 4.	Künstliche Feuchtgebiete	O, D, G	Lo	K	Reinhardt et al. 2005	TP	0,20	25,00	156,00	
F 4.	Künstliche Feuchtgebiete	O, D, G	Lo	K	Uusi-Kämpä et al. 2000	TP	31,00	67,00	116,00	
F 4.	Künstliche Feuchtgebiete	O, D, G	Lo	K	Uusi-Kämpä et al. 2000	TP	17,00	41,00		
F 5. Verbreiterung der Grabensohle										
F 5.	Verbreiterung der Grabensohle	O, D, G	Lo	K	De Klein 2008	TP	1,66	kg ha ⁻¹ a ⁻¹		
F 5.	Verbreiterung der Grabensohle	O, D, G	Lo	K	LLUR 2009	TP	50,00	90,00	150,00	
F 6. Reduktion der Mahd von Strombetten und Grabenmanagement										
F 6.	Reduktion der Mahd von Strombetten und Grabenmanagement	O, D, G	Lo	K	LLUR 2009	TP	1,00	kg ha ⁻¹ a ⁻¹		

Literaturquellen für Zusammenstellung von Tabelle 4:

Ailincăi, C., Ailincăi, D., Zbanț, M., Mercuș, A., Țopa, D., 2008. Influence of crop rotation and long-term fertilization on wheat and maize yield and soil fertility in the Moldavian plain. *Cercetări Agronomice în Moldova* Vol. XLI , No. 3 (135)

BalticSea 2020, 2011. Phosphorus Indices- Status, relevance and requirements for a wider use as efficient phosphorus management measures in the Baltic Sea. http://www.balticsea2020.org/english/images/Bilagor/pindex_report.pdf

Billen, N., 2007, Landwirtschaftlicher Hochwasserschutz. <https://www.uni-hohenheim.de/i410a/steckbriefe/HochwasserSteckbriefe.pdf>

Blum, J., 2008. 10 Jahre Phosphorprojekt am Sempachersee. 2. Internationale Seen Fachtagung, Bad Schussenried.

BMLFUW, Bundesministerium für Land- und Fortwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2008. ÖPL Evaluierung

Boucher, A.B., Tremwel, T.K., Campbell, K.L., 1995. Best management practices for water quality improvement in the Lake Okeechobee watershed. *Ecol. Eng.*, 5, 341-356.

Chambers, B.J., Garwood, T. W. D., Unwin, R. J., 2000: Controlling Soil Water Erosion and Phosphorus Losses from Arable Land in England and Wales. *J. Environ. Qual.*, 29:145-150

Cuttle, S., Macleod, C., Chadwick, D., Scholefield, D., Haygarth, P., Newell-Price, P., Harris, D., Shepherd, M., Chambers, B., Humphrey, R., 2006. An Inventory of Methods to Control Diffuse Water Pollution from Agriculture (DWPA) USER MANUAL. Defra report, project ES0203, 115 pp. p. 22-23. http://www.cost869.alterra.nl/UK_Manual.pdf

Diepolder, M., Peretzki, F., Heigl, L., Jakob, B., 2006. Nitrat- und Phosphorbelastung des Sickerwassers bei Acker- und Grünlandung. *Schule und Beratung* 4/06, 3-10.

Diepolder, M., Raschenbacher, S., 2012. Versuchsergebnisse aus Bayern 2003 bis 2009 - Gewässerschutz - Versuchsergebnisse zu oberflächlichen Phosphor-Austrägen bei begüllten Grünlandflächen in Hanglage. *SuB* 11-12/11.

De Klein, J., 2008. From ditch to delta - Nutrient retention in running waters. PhD-thesis Wageningen University, Wageningen.

Evans, R., Gilliam, J.W., Skaggs, W., 1996. Controlled drainage management guidelines for improving drainage water quality. <http://www.bae.ncsu.edu/programs/extension/evans/ag443.html>

Evans, R.O., Bass, K.L., Burchell, M.R., Hinson, R.D., Johnson, R., Doxey, M., 2007. Management alternatives to enhance water quality and ecological function of channelized streams and drainage canals. *J. Soil & Water Conservation*, 308-320.

Fiener P., Auerswald K., 2009. Effects of hydrodynamically rough grassed waterways on dissolved reactive phosphorus loads coming from agricultural watersheds. *J. Environ. Qual.* 38, 548-559.

Gaynor, J.D., Findlay, W. I., 1995. Soil and phosphorus loss from conservation and conventional tillage in corn production. *J. Environ. Qual.*, 24, 734-741.

- Hoffmann, C.C., Berg, P., Dahl, M., Larsen, S.E., Andersen, H.E., Andersen, B., 2006. Groundwater flow and transport of nutrients through a riparian meadow – Field data and modelling. *J. Hydrol.*, 331, 315– 335.
- Hoffmann, C.C., Kaergaard, C., Uusi-Kämppe, J., Bruun Hansen, H.C., Kronvang, B., 2009. Phosphorus retention in Riparian buffers: A review of their efficiency. *J. Environ. Qual.*, 38, 1-14.
- Holsten, B., Ochsner, S., Schäfer, A., Trepel, M., 2012. Praxisleitfaden für Maßnahmen zur Reduzierung von Nährstoffausträgen aus dränierten landwirtschaftlichen Flächen. CAU Kiel, 99 S.
- Klik, A., 2004. Bodenerosion durch Wasser. *Ländlicher Raum*, 6. Pp 1-11.
- Kronvang, B., Laubel, A.R., Larsen, S.E., Andersen, H.E., Djurhuus, J., 2005. Buffer zones as a sink for sediment and phosphorus between the field and stream: Danish field experiences *Water Science & Technology*, 51, 3-4, pp. 55-62.
- Kronvang, B., Grant, R., Hoffmann, C. C., Ovesen, N. B., Pedersen, M. L., Sand-Jensen, K. (Ed.), ... Murphy, J. (Ed.), 2006. Hydrology, sediment transport and water chemistry. In K. Sand-Jensen, N. Friberg, & J. Murphy (Eds.), *Running Waters: Historical development and restoration of lowland Danish streams*. (pp. 27-43). National Environmental Research Institute, Denmark.
- Kronvang, B., Andersen, I. K., Hoffmann, C. C., Pedersen, M. L., Ovesen, N. B., & Andersen, H. E., 2007. Water Exchange and Deposition of Sediment and Phosphorus during Inundation of Natural and Restored Lowland Floodplains. *Water, Air and Soil Pollution*, 181(1-4), 115-121.
- Kronvang, B., Andersen, H. E., Børgesen, C. D., Dalgaard, T., Larsen, S. E., Bøgestrand, J., & Blicher-Mathiesen, G., 2008. Effects of policy measures implemented in Denmark on nitrogen pollution of the aquatic environment. *Environmental Science & Policy*, 144-152. 10.1016/j.envsci.2007.10.007
- Kronvang, B., Hoffmann, C. C., & Drøge, R., 2009. Sediment deposition and net phosphorus retention in a hydraulically restored lowland river floodplain in Denmark: combining field and laboratory experiments. *Marine and Freshwater Research*, 60(7), 638-646. 10.1071/MF08066
- Kröger, R., Dunne, E.J., Novak, J., King, K.W., McLellan, E., Smith, D.R., Strock, J., Boomer, K., Tomer, M., Noe, G.B., 2013. Downstream approaches to phosphorus management in agricultural landscapes: Regional applicability and use. *Science of the Total Environment*, 442, 263-274
- LfL (2013): Wirksamkeit von Erosionsschutzmaßnahmen - Ergebnisse einer Feldstudie. Schriftenreihe 8.
- LLUR, 2009. Festlegung der Bewirtschaftungsziele zur Reduzierung der Nährstoffbelastung in den Küstenwasserkörpern.
- Maguire, R.O., Sims, J. T., Applegate, T.J., 2007. Phytase supplementation and reduced phosphorus turkey diets reduce phosphorus loss in runoff following litter application. *J. Environ. Qual.*, 34, 359-369.

- O'Rourke, S.M., Foy, R. H., Watson, C. J., Ferris, C. P., Gordon, A., 2010. Effect of Varying the Phosphorus Content of Dairy Cow Diets on Losses of Phosphorus. *J. Environ. Qual.* 39:2138–2146
- Prasuhn, V., 2012. On-farm effects of tillage and crops on soil erosion measured over 10 years in Switzerland. *Soil and Tillage Research*, 120, 137-146.
- Reinhardt, M., Gächter, R., Wehrli, B., Müller, B., 2005. Phosphorus retention in small constructed wetlands treating agricultural drainage water. *J. Environ. Qual.* 34: 1251–1259.
- Sanders, S., Mosimann, T., 2005. Erosionsschutz durch Intervallbegrünung. *Wasser und Abfall*, 10, 34-38.
- SEPA, 2009. Agricultural Best Management Practices (BMPs). Scottish Environment Protection Agency. <http://apps.sepa.org.uk/bmp/Default.aspx>
- Sharpley, A.N., Daniel, T., Gibson, G., Bundy, L., Cabrera, M., Sims, T., Stevens, R., Lemunyon, J., Kleinman, P., Parry, R., 2006. Best management practices to minimize agricultural phosphorus impacts on water quality. USDA, ARS–163.
- Deasy, C., Quinton, J. N., Silgram, M., Jackson, R. J., Bailey, A. P., Stevens, C. J., 2008. Field Testing of Mitigation Options (Final report to Defra for contract PE0206)
- Somma F., 2013. Practical experiences and knowledge exchange in support of the WFD implementation (2010 - 2012), River Basin Network on Water Framework Directive and Agriculture, JRC Scientific and Policy Reports, Report EUR25790EN.
- Steidl, J., Kalettka, T., Ehlert, V., Augustin, J., in prep. Naturraumangepasste Anlagen zum Rückhalt von Nährstoffen aus den Abflüssen landwirtschaftlicher Dränsysteme. DWA-Themenheft
- Strauss, P., Swoboda, D., Blum, W.E.H., 2003: How effective is mulching and minimum tillage to control runoff and soil loss? – A literature review. GABRIELS, D. and W. CORNELIS (Eds.): Proceedings „25 Years of Assessment of Erosion”, Ghent, Belgium, 22.-26.9.2003, 545-550.
- Svanbäck, A., Ulen, B., Etana, A., 2014. Mitigation of phosphorus leaching losses via subsurface drains from a cracking marine clay soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 184, 125-134.
- Turtola, E., Kemppainen, E., 1998. Nitrogen and phosphorus Losses in surface runoff and drainage water after application of slurry and mineral fertilizer to perennial grass ley. *Agr. and Food Science*, 7, 569-581.
- UBA Österreich, 2003. Forschungsprojekt Nr. 1299: Evaluierung der Effizienz von Erosionsschutzmaßnahmen im Österreichischen Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft (ÖPUL 2000) in Testgebieten (GZ 21.210/45-II1/02)
- Uusi-Kämppeä, J., Braskerud, B., Jansson, H., Syversen, N., Uusitalo, R., 2000. Buffer zones and constructed wetlands as filters for agricultural phosphorus. *J. Environ. Qual.* 29, 151-157.

VDLUFA, 2001. Mögliche ökologische Folgen hoher Phosphatgehalte im Boden und Wege zu ihrer Verminderung. Standpunkt,
<http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/06-phosphat.pdf>

Walling, D. E. (1999). Linking land use, erosion and sediment yields in river basins. *Hydrobiologia* 410, 223–240.

Wesström, I., Messing, I., 2007. Effects of controlled drainage on N and P Losses and N dynamics in a Loamy sand with spring crops. *Agric. Water Manage.*, 87, 229-240.

Zaimes, G.N., Schultz, R.C., 2001. Phosphorus in Agricultural Watersheds: A Literature Review. Iowa State University, Ames, IA.
http://www.buffer.forestry.iastate.edu/Assets/Phosphorus_review.pdf

Anhang 1: Informationsbroschüre: „Phosphor in der Landschaft – Management eines begrenzt verfügbaren Nährstoffes“

Anhang 2: Faltblatt: „Phosphor – Nährstoff in der Landwirtschaft, Problemstoff im Gewässer“.

Anhang 3: Beitrag im Bauernblatt Schleswig-Holstein: „Ressourcen schonen – Zum nachhaltigen Umgang mit Phosphor“.

Anhang 4: Fachartikel in Wasser und Abfall: „Effektiver Gewässerschutz durch einen nachhaltigeren Umgang mit der Ressource Phosphor“.

Anhang 5: Beitrag im Bauernblatt Schleswig-Holstein: „Phosphordüngung im Einklang mit dem Gewässerschutz - Maßnahmen für einen nachhaltigeren Umgang mit der Ressource Phosphor“, Veröffentlichung voraussichtlich August/September.

Anhang 6: Beitrag in Land & Forst: „Wirtschaftliches und umweltschonendes Phosphormanagement in der Landwirtschaft“, Veröffentlichung voraussichtlich August/September.