Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.

Schlussbericht zur

Studie zu Möglichkeiten der Verringerung von Nährstoffausträgen aus Dränanlagen als Grundlage für die Berücksichtigung von Managementmaßnahmen auf Flussgebietsebene im Nährstoffeintrags- und -frachtmodell MONERIS

Studie im BMBF-Projekt

RADOST - Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste

Studie zu Möglichkeiten der Verringerung von Nährstoffausträgen aus Dränanlagen als Grundlage für die Berücksichtigung von Managementmaßnahmen auf Flussgebietsebene im Nährstoffeintrags- und -frachtmodell MONERIS

Studie im BMBF-Projekt

RADOST - Regionale Anpassungsstrategien für die deutsche Ostseeküste

Auftraggeber (AG)
Forschungsverbund Berlin e.V.
Für das Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei
Rudower Chaussee 17
12489 Berlin

Auftragnehmer (AN)
Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.
Direktor: Prof. Dr. Hubert Wiggering
Eberswalder Str. 84
15374 Müncheberg

Laufzeit: 01. Januar 2010 bis 28. Februar 2011

Berichtszeitraum: 01. Januar 2010 bis 30. April 2011

Bearbeiter:
Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.
Institut für Landschaftswasserhaushalt
Dipl. Ing. V. Ehlert, Dr. Jörg Steidl
Eberswalder Str. 84
15374 Müncheberg

Email: jsteidl@zalf.de

Tel.: 033432 82 362

Müncheberg, den 13.05.2011

Inhaltsverzeichnis

1 ABLAUF 1

2 MAßNAHMEKATALOG ZUR REDUZIERUNG VON NÄHRSTOFFÜBERSCHÜSSEN AUS GEDRÄNTEN FLÄCHEN 2

2.1 PROBLEM 2
2.2 ZIELSTELLUNG 2
2.3 MAßNAHMEN ZUR REDUZIERUNG VON NÄHRSTOFFÜBERSCHÜSSEN AUS GEDRÄNTEN FLÄCHEN 3
2.3.1 Prinzipielle Ansätze zur Minderung von Nährstoffausträgen 3
2.3.2 Umsetzung der guten fachlichen Praxis im landwirtschaftlichen Betrieb 3
2.3.2.1 Auswahl der angebauten Kulturen und Gestaltung der Fruchtfolge 3
2.3.2.2 Betriebliche Maßnahmen bei Anfall von Wirtschaftsdünger 4
2.3.2.3 Düngemanagement 4
2.3.2.4 Umstellung von Ackerbau auf Grünlandnutzung 5
2.3.2.5 Zwischenfruchtanbau 5
2.3.2.6 Bodenbearbeitung 5
2.3.2.7 Ökologischer Landbau 6
2.3.3 Maßnahmen zur Reduzierung von Nährstofffrachten in Dränabflüssen vor dem Vorfluter (Nachgeschaltete Maßahmen) 7
2.3.3.1 Bedarfsgerechte Steuerung von Dränanlagen 7
2.3.3.2 Schaffung von Retentionsräumen 7
2.3.3.3 Nutzung von Grabenstrecken 8
2.3.3.4 Denitrifizierende Bioreaktoren mit Kohlenstoffquelle 9
2.4 MAßNAHMENKATALOG 9
2.4.1 Eigener und bestehende Maßnahmenkataloge 9
2.4.2 Maßnahmenkatalog nach Osterburg u. Runge (2007) 10
2.4.3 Maßnahmenkatalog nach HELCOM (2007) 16
2.4.3.1 Landnutzung 16
2.4.3.2 Bodenmanagement 16
2.4.3.3 Düngemanagement 17
2.4.4 Maßnahmen zur Reduzierung von Nährstofffrachten in Dränabflüssen vor dem Vorfluter (Nachgeschaltete Maßahmen) 18
2.4.4.1 Bedarfsgerechte Steuerung von Dränanlagen 18
2.4.4.2 Schaffung von Retentionsräumen 18
2.4.4.3 Nutzung von Graben- und Gewässerstrecken 18
2.4.4.4 Denitrifizierende Bioreaktoren mit Kohlenstoffquelle 18
2.5 DISKUSSION 19

3 ZUSAMMENHÄNGE ZWISCHEN STEUERGRÖßEN UND MINDERUNGSLEISTUNGEN FÜR DIE EINZELNEN MAßNAHMEN 20

3.1 EINGANGSGRÖßEN FÜR DAS MODELLSYSTEM MONERIS 20
3.2 MINDERUNGSLEISTUNGEN VON MAßNAHMEN AUF DER BEWIRTSCHAFTETEN FLÄCHE 20
3.3 MINDERUNGSLEISTUNGEN VON MAßNAHMEN UNTERHALB DER BEWIRTSCHAFTETEN FLÄCHE 21
3.3.1 Schaffung von Retentionsräumen/Retentionsteichen 21
3.3.2 Nutzung von Grabenstrecken 23
3.3.3 Denitrifizierende Bioreaktoren 23

4 ÜBERFÜHRUNG DES MAßNAHMENKATALOGES ZUR REDUZIERUNG VON NÄHRSTOFFFRACHTEN IN DRÄNABFLÜSSEN VOR DEM VORFLUTER IN EINE DATENBANKSTRUKTUR 24

4.1 VORGEGEBENE DATENBANKSTRUKTUR DES AUFTRAGGEBERS 24
4.2 IMPLEMENTIERUNG DER DATENBANK 24

5 ERARBEITUNG VON PLANUNGSGRUNDLAGEN FÜR EINEN DEM DRÄNABLAUF NACHGESCHALTETEN RETENTIONSTEICH 26

6 WORKSHOP 29

7 LITERATUR 30

8 ANHANG 1

8.1 DATEN DES UMWELTBUNDESAMTES ZU NÄHRSTOFFEINTRÄGEN IN FLIEßGEWÄSSER 1
8.2 GESETZE, VERORDNUNGEN (AUSZÜGE) 4
8.2.1 Düngegesetz (Auszug 4
8.2.2 Nitrat-Richtlinie (Auszug) 4
8.3 DATENBANK 6
8.3.1 Datenbankstrukturen 6
8.3.2 Liste der festgelegten Begriffe zur Attributierung 9

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: JÄHRLICHER RÜCKHALTANTEIL VON GESAMTSTICKSTOFF (IN % DER JEWEILIGEN JAHRESFRACHT) IN ABHÄNGIGKEIT VOM VERHÄLTNIS DER FLÄCHE DES RETENTIONSRAUMES ZUR FLÄCHE DES ANGESCHLOSSENEN DRÄNSYSTEMS AUF DER BASIS VON DATEN AUS DER LITERATUR (TN LIT.) UND DATEN AUS EIGENEN UNTERSUCHUNGEN (TN*) 22
ABBILDUNG 2: JÄHRLICHER RÜCKHALTANTEIL VON GESAMTPHOSPHOR (IN % DER JEWEILIGEN JAHRESFRACHT) IN ABHÄNGIGKEIT VOM VERHÄLTNIS DER FLÄCHE DES RETENTIONSRAUMES ZUR FLÄCHE DES ANGESCHLOSSENEN DRÄNSYSTEMS AUF DER BASIS VON DATEN AUS DER LITERATUR (TP LIT.) UND DATEN AUS EIGENEN UNTERSUCHUNGEN (TP*) 22
ABBILDUNG 3: AUSGEWÄHLTER STANDORT FÜR DIE EINRICHTUNG EINES DEM DRÄNABLAUF (SCHACHT, IM VORDERGRUND) NACHGESCHALTETEN RETENTIONSTEICHES VOR DEM ÜBERTRITT DES DRÄNWASSERS IN DAS FLIEßGEWÄSSER (BEEKE, VERLÄUFT AM WALDRAND IM HINTERGRUND) BEI EINEM ORTSTERMIN 27
ABBILDUNG 4: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER ANORDNUNG DER ELEMENTE EINES RETENTIONSBECKENS AM STANDORT KLEIN GISCHOW MIT VORRICHTUNGEN ZUR AUFNAHME DER MESSVORRICHTUNGEN 27
ABBILDUNG 5: SCHEMATISCHE SCHNITTDARSTELLUNG DER ELEMENTE EINES RETENTIONSBECKENS AM STANDORT KLEIN GISCHOW MIT VORRICHTUNGEN ZUR AUFNAHME DER MESSVORRICHTUNGEN 28

1 Ablauf

Die Studie wurde wie geplant in vier Arbeitspaketen durchgeführt:

1. **Literaturstudie**

   Auf Basis der verfügbaren internationalen Literatur wird eine Recherche zu Möglichkeiten der Reduzierung von mit Dränwasserabflüssen in Gewässer gelangende Nährstoffeinträge durchgeführt. Dabei wird der Fokus sowohl auf Maßnahmen gerichtet, die durch entsprechende landwirtschaftliche Bewirtschaftungspraktiken bereits auf Acker- und Grünlandflächen erfolgen können, als auch auf den Dränablaufen nachgeschaltete Maßnahmen.

2. **Maßnahmenkatalog zur Reduzierung von Stoffausträgen**

   Die mit dem Ergebnis der Literaturauswertung und aus der Auswertung eigener Forschungsvorhaben vorliegenden verschiedenen Maßnahmen zur Reduzierung von Stoffausträgen werden **katalogartig** zusammengestellt. Dabei werden neben einer Darstellung der Maßnahmen weitere Informationen zu den Randbedingungen ihrer Umsetzungsmöglichkeiten aufgezeigt.

3. **Erarbeitung von Planungsgrundlagen für einen dem Dränablauf nachgeschalteten Retentionsteich**

   Durch den Wasser- und Bodenverband Warnow-Beke soll im Einzugsgebiet der Beke ein Retentionsteich angelegt werden, der dem Dränablauf nachgeschaltet und vor dem Unterliegergewässer anzuordnen ist.

   Vom Antragsteller wird ein dafür geeigneter Standort in Zusammenarbeit mit dem Wasser- und Bodenverband ausgewählt. Im weiteren werden die benötigten Grundlagen für die Ausführungsplanung (Anordnungsentwurf, Gestaltungsentwurf, usw.) erstellt und dem Wasser- und Bodenverband Warnow-Beke übergeben.

4. **Zusammenhänge zwischen Steuergrößen und Minderungsleistungen für die einzelnen Maßnahmen**

   Für die aufgeführten Maßnahmen werden Steuergrößen und Parameter aufgezeigt, mit denen im Rahmen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungspraxis oder der Gestaltung von Maßnahmen unterhalb der Dränabläufe der Rückhalteffekt einer Maßnahme beeinflusst werden kann. Dabei werden die mit dem jeweiligen Parameter verbundenen Beeinflussungsmöglichkeiten und die Auswirkung auf die Retentions- bzw. Minderungsleistung der Maßnahmen abgeleitet (z.B. Retentionsleistung als Funktion des Volumens bzw. Fläche oder hydraulische Belastung des Dränteiches etc.).

5. **Workshop**

   Der Antragsteller bereitet in Zusammenarbeit mit dem IGB einen Workshop über praxisrelevante Maßnahmen zur Reduzierung von Dränageeinträgen in Gewässer vor. Der Workshop strebt die Wissensverbreitung und Wissensverankerung bei der interessierten Fachöffentlichkeit und den Multiplikatoren der Praxispartner an.

Bereits während der Projektbearbeitung wurde darüber hinaus zwischen dem AG und An vereinbart, den Maßnahmenkatalog zur Reduzierung von Stoffausträgen sowie die Zusammenhänge zwischen Steuergrößen und Minderungsleistungen für die einzelnen Maßnahmen in eine vom Auftraggeber vorgegebene Datenbankstruktur zu überführen.

2 Maßnahmekatalog zur Reduzierung von Nährstoffüberschüssen aus gedränten Flächen

2.1 Problem

Ein Teil der in Oberflächengewässer eingetragenen Nährstoffe stammt aus unterirdischen landwirtschaftlichen Dränanlagen. Eine intensive landwirtschaftliche Bewirtschaftung der gedränten Flächen ist oft mit Nährstoffüberschüssen in den Böden verbunden, die während der Entwässerungsphase mit dem Bodenwasser in das Dränsystem verlagert, dort transportiert und schließlich den Gewässern zugeführt werden. Im Hinblick auf mögliche Belastungen der Oberflächengewässer und ihrer Ökosysteme sind vor allem die damit verbundenen Frachten von Stickstoff und Phosphor relevant.

In den Flussgebietseinheiten des deutschen Einzugsgebietes der Ostsee haben die Stickstoffeinträge aus Dränanlagen bei einem hohen Flächenanteil gedränter Flächen noch immer den größten oder zumindest einen wesentlichen Anteil an den Stickstoffeinträgen aus Punkt- und diffusen Quellen. So werden die aus Dränanlagen stammenden Einträge in der Flussgebietseinheit „„Warnow / Peene“ im Zeitraum 2003-2005 mit weit über 50% der gesamten Stickstoffeinträge geschätzt. Für die Flussgebiete „Schlei/Trave“ und „Oder“ wird die Herkunft von noch etwa 30% bzw. 20% der jährlichen eingetragenen Stickstofffrachten Dränanlagen zugeordnet (UBA 2009a). In einzelne Flussgebieten wie Peene, Uecker oder Randow wurden in den 1990er Jahren etwa 70% der aus diffusen Quellen stammenden Stickstofffrachten über Dränabflüsse in die Ostsee eingetragen (Mewes 2004). In einer aktuellen Untersuchung zur Nährstoffbelastung der Oberflächengewässer in Mecklenburg-Vorpommern (Mehl et al. 2009) werden Einzugsgebiete, die u. a. einen hohen Anteil an Dränflächen aufweisen, als N-Belastungsschwerpunkte eingestuft.

Phosphoreinträge aus Dränanlagen nehmen in den norddeutschen Flussgebietseinheiten nur einen sehr kleinen Teil der gesamten Eintragsfracht ein UBA 2009b). Regionalspezifische Ausnahmen, wie sie z. B. in Niedersachsen mit wesentlichen P-Einträgen über Dränwasser aus Hochmoorböden vorliegen (LBEG 2007), sind in den in Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein liegenden Flusseinzugsgebieten der Ostsee nicht relevant.

2.2 Zielstellung

In dieser Studie werden die Ergebnisse einer Recherche internationaler Literaturquellen dargestellt, die einen Überblick über mögliche Maßnahmen zur Reduzierung von mit Dränwasserabflüssen in Gewässer gelangenden Nährstoffeinträgen zusammenfassen. Dabei wird der Fokus sowohl auf solche Maßnahmen gerichtet, die durch entsprechende landwirtschaftliche Bewirtschaftungspraktiken bereits auf den Flächen erfolgen können, als auch auf solche, die in der Dränanlage selbst erfolgen oder ihr nachgeschaltet werden können.

Die mit dem Ergebnis der Literaturauswertung und aus der Auswertung eigener Forschungsvorhaben vorliegenden möglichen Maßnahmen zur Reduzierung von Stoffausträgen werden katalogartig zusammengestellt. Dabei werden neben einer Darstellung der Maßnahmen weitere Informationen zu den Bedingungen ihrer Umsetzbarkeit aufgezeigt.

2.3 Maßnahmen zur Reduzierung von Nährstoffüberschüssen aus gedränten Flächen

2.3.1 Prinzipielle Ansätze zur Minderung von Nährstoffausträgen

Zur Reduzierung von Nährstoffüberschüssen aus gedränten landwirtschaftlichen Flächen sind zunächst Ansätze notwendig, die auf die Vermeidung bzw. Minderung von mobilisierbaren Nährstoffüberschüssen innerhalb der landwirtschaftlichen Flächen ausgerichtet sind. Außerdem sind Maßnahmen möglich, die auf den Rückhalt der mit den Dränabflüssen exportierten Nährstofffrachten vor dem Eintrag in ein Gewässer ausgerichtet werden.

Innerhalb der gedränten Flächen sind alle Möglichkeiten anwendbar, die als Bestandteil der guten fachlichen Praxis zum Gewässerschutz- bzw. Grundwasserschutz empfohlen werden. Hierzu zählen die Auswahl von Kulturen innerhalb der Fruchtfolge, Anbau von Zwischenfrüchten oder Untersaaten, an den Pflanzenbedarf und die Ertragsziele angepasste Düngung. Alternativ oder zusätzlich zu den auf der Dränfläche bestehenden Möglichkeiten können unterhalb davon Maßnahmen umgesetzt werden, mit denen die nährstoffhaltigen Dränabflüsse vor ihrem Eintritt in Gewässer zurückgehalten werden. Dabei ist bereits die Beschränkung der Leistung herkömmlicher Dränsysteme auf das landwirtschaftlich notwendige Maß oder aber die Schaffung von Retentionsräumen zwischen einer Dränanlage und dem aufnehmenden Gewässer möglich. Darüber hinaus können aber auch landwirtschaftliche Grabensysteme, die Dränabflüsse aufnehmen, als derartige Retentionsräume genutzt werden.

Die nachfolgende Übersicht von Möglichkeiten und Maßnahmen zur Reduzierung von Nährstoffeinträgen behandelt zunächst die Optionen der betrieblichen Praxis innerhalb der Acker- und Grünlandflächen und schließlich die für den Nährstoffrückhalt außerhalb der bewirtschafteten Flächen in Betracht kommenden Ansätze.

2.3.2 Umsetzung der guten fachlichen Praxis im landwirtschaftlichen Betrieb

2.3.2.1 Auswahl der angebauten Kulturen und Gestaltung der Fruchtfolge

Die Wahl der angebauten Kulturen kann eine Möglichkeit bieten, dem Risiko von Nährstoffakkumulationen und deren potentieller Auswaschungsgefährdung entgegen zu wirken. Bei der Fruchtfolgeplanung sollte die zeitliche und räumliche Verteilung des Nährstoffangebotes im Boden berücksichtigt werden. Dies kann z. B. mit der Verkürzung der vegetationslosen Zeiten durch Zwischenfruchtanbau und dem wechselnden Anbau von flach- und tiefwurzelnden Kulturen erfolgen (BMELV 2009)

Nach der Ausbringung von Wirtschaftsdünger werden die darin enthaltenen Nährstoffe durch eine vergleichsweise langsam ablaufende Mineralisierung teilweise erst nach einem längeren Zeitraum für die Pflanzen verfügbar. Die Ausnutzung dieses Nährstoffangebotes ist durch Fruchtarten mit einer langen bis in den Herbst reichenden Vegetationsdauer möglich. Kulturen wie Hackfrucht, Mais oder Grünland weisen eine besonders gute Verwertung der Nährstoffe auf (StMELF u. StMLU 1999). In Verbindung mit der Verwendung von Gülle kann eine möglichst frühe Ausbringung durch den Anbau von Fruchtarten mit frühen Ernteterminen wie z. B.

Wintergerste erreicht werden. Mit einem anschließenden Zwischenfruchtanbau ist eine gute Nährstoffverwertung möglich (StMELF u. StMLU 1999).

2.3.2.2 Betriebliche Maßnahmen bei Anfall von Wirtschaftsdünger

Beim Einsatz von Wirtschaftsdüngern wie Rindermist, Rindergülle oder Schweinegülle ist zu berücksichtigen, dass deren Nährstoffgehalte sehr große betriebsspezifische Unterschiede aufweisen können. In Schleswig-Holstein durchgeführte Analysen der verschiedenen Wirtschaftsdüngerarten aus unterschiedlichen Betrieben ergaben Spannweiten von 1:6 bei Stickstoff und bis zu 1:55 bei Phosphor (Henning 2008). Eine an den Pflanzenbedarf angepasste Verwendung der Wirtschaftsdünger wird somit nur bei Kenntnis der tatsächlichen Nährstoffgehalte möglich. Daher wird empfohlen, die Nährstoffgehalte möglichst zeitnah zur Ausbringung durch Laboranalysen zu bestimmen (z. B. Henning 2008) und nicht die nach der Düngeverordnung festgelegten Standardwerte in Ansatz zu bringen.

Im Zusammenhang mit betriebseigenem Wirtschaftsdünger traten zumindest in früheren Jahren mitunter Situationen ein, in denen der Ausbringungszeitpunkt durch die verfügbaren betriebseigenen Speicherkapazitäten bestimmt wurde. Sobald die Speichermöglichkeiten ausgeschöpft waren und keine Möglichkeiten für eine weitere Zwischenlagerung gegeben waren, wurde die Ausbringung von Gülle oder Mist erforderlich. Die tatsächlichen Nährstoffanforderungen bzw. Nährstoffaufnahmekapazitäten der Pflanzenbestände blieben dabei unberücksichtigt. Dieser Sachverhalt findet sich in Empfehlungen zur Erweiterung der betriebseigenen Speicher- und Lagerungsmöglichkeiten wieder (z. B. Osterburg u. Runge 2007, HELCOM 2007), um so die Ausbringung zeitlich besser an den Nährstoffbedarf der Pflanzen anpassen zu können. Da mit Inkrafttreten der neuen Düngeverordnung (DüV 2007) die Vorhaltung von für sechs Monate ausreichenden Speicherkapazitäten ab dem 01. Januar 2009 verbindlich vorgegeben ist, sollten Situationen, in denen die Ausbringung der Wirtschaftsdünger durch die Erschöpfung der Lagerungsmöglichkeiten terminiert wurde, zumindest entschärft sein.

2.3.2.3 Düngemanagement

Das Düngemanagement zur Reduzierung von Nährstoffausträgen zielt auf eine bedarfsgerechte Düngerausbringung, die sowohl vom Zeitpunkt als auch von der Höhe der Nährstoffgabe an die Bedürfnisse der jeweiligen Kulturen angepasst ist. Damit sollen nach der Ernte nur geringe Restnährstoffmengen im Boden verbleiben, die dann ausgewaschen werden könnten. Je kürzer der Zeitraum zwischen Düngung und Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen ist, desto geringer sind Zeitraum und Nährstoffmenge, die einem Auswaschungsrisiko unterliegen (Dinnes et al. 2002).

In der landwirtschaftlichen Praxis sind drei bis fünf Düngergaben üblich (z. B. LfL 2007; incona 2010). Die mit den einzelnen Düngergaben applizierten Nährstoffmengen sind entsprechend der Düngeverordnung mit Hilfe von Düngebedarfsermittlungen auf der Grundlage von Bodenanalysen zur Berücksichtigung der im Boden bereits vorhandenen pflanzenverfügbaren Nährstoffe und unter Ansatz realistischer Ertrags- und Qualitätsziele zu bemessen. Bei der Terminierung der Düngegaben sollte nach Möglichkeit auf eine Herbstdüngung mit Mineraldünger verzichtet werden. Diese in Leitlinien zur Gewässer schonenden Stickstoffdüngung zu findende Empfehlung (z. B. StMELF u. StMLU 1999, Peter u.

Miller 2008) zielt auf die Vermeidung von Nitrat-Auswaschungen durch Winterniederschläge in der vegetationslosen Zeit bzw. während einer Phase ohne etablierte Pflanzenbestände mit einem nennenswerten Nährstoffaufnahmevermögen.

2.3.2.4 Umstellung von Ackerbau auf Grünlandnutzung

Mit der Umstellung von Ackerland auf extensiv genutztes Grünland kommt es mit der geringeren Düngerzufuhr zu einer Verringerung von Stickstoff- und Phosphorausträgen (HELCOM 2007). Unter Grünlandstandorten können die Nitratmengen im Boden weit unter denen vergleichbarer ackerbaulich genutzter Standorte liegen. In Geestgebieten Niedersachsens wurden bei Grünlandnutzung teilweise weniger als 15% NO3-N im Boden gegenüber vergleichbaren Ackerflächen gemessen (Foerster et al 1985). Wird das Grünland nicht beweidet, sondern zum Grasschnitt genutzt, sind jährlich deutlich höhere Wirtschaftsdüngergaben bei trotzdem gleichzeitig geringeren Stickstoffausträgen im Vergleich zur Weidenutzung möglich (Schröder et al. 2005). Bei einer Nutzungsänderung von Acker zu unbeweidetem Grünland können bis zu 50% geringere Phosphorausträge und um 95% geringere Stickstoffausträge auftreten (HELCOM 2007)

2.3.2.5 Zwischenfruchtanbau

Trotz einer Düngung entsprechend der guten fachlichen Praxis kann es im Boden zu Nährstoffüberschüssen kommen. Ein Teil der applizierten Nährstoffe kann nicht von der Hauptkultur aufgenommen werden, wenn aufgrund der Witterungsbedingungen die Bestandsentwicklung verlangsamt oder verschlechtert abläuft, sodass es zu Abweichungen vom angenommenen Nährstoffbedarf der Pflanzen kommt. Die zu einer Senkung der Nährstoffüberschüsse – insbesondere der Stickstoffüberschüsse – notwendige Senkung der Düngegaben ist mit dem Risiko geringerer Erträge verbunden. Um diesem Risiko entgegenzuwirken oder auch um Stickstoffverluste infolge von Auswaschung oder oberirdischem Abtrag nach unvorhersehbaren Niederschlägen aufzufangen, werden in der Praxis die Düngermengen mit gewissen als Risikopuffer dienenden Zuschlägen kalkuliert (Wilbois et al. 2007).

Die nach der Ernte unverbraucht im Boden vorhandenen Nährstoffe können dem Boden durch den Anbau geeigneter Zwischenkulturen zumindest teilweise entzogen werden. Damit wird Nährstoffausträgen vorgebeugt, die während der sonst vegetationslosen Brachephasen zwischen Ernte und Frühjahrsbestellung bei Herbst- und Winterniederschlägen auftreten könnten. Unter dem Aspekt einer Reduzierung von Nährstoffausträgen über Dränsysteme erscheint der in Verbindung mit Abfuhr des Erntegutes zur Futternutzung verbundene Nährstoffentzug besonders günstig. Allerdings kann der Zwischenfruchtanbau auch zur Gründüngung genutzt werden, wobei infolge der Nährstoffbereitstellung für Nachfrüchte und gegebenenfalls der N2-Bindung durch legume Zwischenfrüchte weniger mineralische Dünger für die Stickstoffversorgung der Folgekultur erforderlich sind (Kolbe et al. 2004).

Im Vergleich zu unbearbeiteten, frisch bearbeiteten oder frisch angesäten Flächen ohne Pflanzenbestand kann der Anbau von Zwischenfrüchten zu Entzügen von 20-50 kg NO3-N/ha führen (z. B. Aronsson 2000, MLR-BW 2008). Diese Entnahme reduziert die sonst im Boden vorhandenen Nitratmengen um 45-60%.

2.3.2.6 Bodenbearbeitung

Bei der konventionellen Form der Bodenbearbeitung wird die obere Bodenschicht durch Pflügen umgebrochen und damit die vorhandene Bodenstruktur gestört und

die vertikale Durchgängigkeit der Makroporen unterbrochen. Der mit dem Pflügen erreichbare Zerstörung der Makroporen wird besonders in Hinblick auf die Infiltration und die daraus resultierenden Auswaschungsprozesse eine Bedeutung eingeräumt, da mit dem präferentiellen Fluss über Makroporen maßgebliche Anteile des infiltrierenden Wassers in die Dränung gelangen könnten (z. B. Schelde et al. 2006, Geohring 2001). Bei einer pfluglosen Bodenbearbeitung bleiben jedoch die Makroporen und die hydraulische Verbindung zwischen der oberen Bodenschicht und den darunterliegenden Schichten erhalten und der präfentielle Fluss wird nicht eingeschränkt. Durch die zunehmende Entwicklung der Bodenfauna, insbesondere des Regenwurmbesatzes (Rosner et al. 2008), kommt es bei konservierender Bodenbearbeitung über den Erhalt der hydraulischen Funktion zu einer vermehrten Bildung von Makroporen. Vergleichende Untersuchungen von z. B. Tan et al. (2002) ergaben während des fünfjährigen Beobachtungszeizraums unter pflugloser Bodenbearbeitung einen um 48% höheren Dränwasserabfluss als unter der konventionell bearbeiteten Vergleichsfläche.

Im Gegensatz zu der Verringerung des Risikos einer Nährstoffauswaschung durch die aus der konventionellen Bodenbearbeitung resultierenden Minderung von Infiltration und Sickerwasserbewegung führt die konventionelle Bodenbearbeitung andererseits aufgrund der größeren Mineralisierungsraten zu höheren Nitratkonzentrationen als die pfluglose Bodenbearbeitung bei gleichen Ausgangsbedingungen. Durch eine weniger intensive Bodenbearbeitung und durch eine Beschränkung der Bearbeitungstiefe kommt es bei pflugloser Bodenbearbeitung zu einer verringerten Mineralisierung und damit zu einer geringeren Menge von auswaschungsgefährdetem Nitrat im Boden (z. B. StMELF u. StMLU 1999, Schuhmann 2005). Die mit zunehmender Bearbeitungsintensität ansteigenden N-Mineralisierungsraten belegen auch vergleichende Versuche mit nur einem oder mehreren Bearbeitungsgängen zum Umbruch von Luzerne-Kleegrasbeständen (Wald 2003).

Hinsichtlich der Eignung der Bodenbearbeitungsvarianten als Maßnahmen zur Verringerung von Nährstoffausträgen kann aus der Recherche keine eindeutige Präferänz abgeleitet werden.

2.3.2.7 Ökologischer Landbau

Der ökologische Landbau ist auf die Pflanzenproduktion im Rahmen eines Bewirtschaftungskreislaufes ausgerichtet. Der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit wird vor allem durch weite Fruchtfolgen und durch eine auf die Steigerung der Humusgehalte ausgelegte Bodenbearbeitung erreicht. Für die Nährstoffversorgung der Pflanzen können Wirtschaftsdünger, Komposte oder Zwischenfrüchte zur Gründung verwendet werden, während der Einsatz mineralischer Stickstoffdünger nicht zugelassen ist (MUNLV NRW 2009, EG 2007, EG 2008).

Auf ökologisch bewirtschafteten Flächen kommt es zu geringeren Nitratauswaschungen als auf vergleichbarenkonventionell bewirtschafteten Flächen. Aus zahlreichen Untersuchungen abgeleitete Durchschnittswerte für die Nitratauswaschung liegen für ökologisch und konventionell bewirtschaftete Ackerflächen bei 22 kg N/ha/a bzw. bei 60 kg N/ha/a sowie für Grünlandflächen bei 13 kg N/ha/a bzw. bei 31 kg N/ha/a (Wilbois et al. 2007). Somit betragen die Nitratauswaschungen auf ökologisch bewirtschafteten Flächen etwa 30% im Vergleich zu Austräge aus konventionell bewirtschafteten Flächen. Auch bei Untersuchungen auf Lehmböden in Nordwestdeutschland wurden unter

verschiedenen ökologisch bewirtschafteten Kulturen um mehr als 50% geringere Nitrat-N Mengen als auf konventionell bewirtschafteten Vergleichsflächen gemessen (Haas et al. 2002).

2.3.3 Maßnahmen zur Reduzierung von Nährstofffrachten in Dränabflüssen vor dem Vorfluter (Nachgeschaltete Maßahmen)

2.3.3.1 Bedarfsgerechte Steuerung von Dränanlagen

Bestehende Dränsysteme wirken oft über das landwirtschaftliche Ziel hinaus entwässernd bis zur Tiefe der Saugerlage. Das führt zu einer Verringerung der Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit für den Biomasseaufwuchs in nachfolgenden Trockenperioden. Mit technischen Lösungen, die auch in Deutschland für eine bedarfsgerechte Steuerung von Dränanlagen (Controlled Drainage) entwickelt wurden (Stein u. Quast 1988, sowie Hoffmann u. Stein, 1988), kann die Entwässerungstiefe auf das landwirtschaftliche Ziel reduziert werden. Aber auch die Bedeutung der Wasserstandsregulierung zur Nährstoffreduktion im Dränwasser wurde erkannt (Gilliam et al., 1977). Durch Einstellung eines hohen Grundwasserstandes bei tiefer liegender Dränung können gegenüber der konventionellen Dränung die üblichen hohen N-Verluste vermieden werden (van Bakel et al., 2007).

Mit den Erkenntnissen zum Zusammenhang zwischen drastischen Eutrophierungserscheinungen im Golf von Mexiko und den künstlichen Entwässerungssystemen der Landwirtschaft (Goolssby et al., 2001; David und Gentry, 2000; Sands et al. 2008; Woli et al., 2010) wurden insbesondere in den USA Untersuchungen zur Wirkung und Eignung von „controlled drainage“ durchgeführt (Skaggs und Chescheir, 2003; Skaggs et al., 2005). Im Vergleich zu Dränung mit frei auslaufendem Wasser führt gesteuerte Dränung zu um 18% bis 85% verringerten Stickstoffausträgen (Wesström und Messing 2007, Skaggs und Youssef 2008). Bei Phosphor-Austräge wurden bei gesteuerter Dränung mittlere jährliche Reduktionen zwischen 70% und 80% beobachtet (Wesström und Messing 2007).

Allerdings sind die technischen Lösungen für Rohrdränsysteme auf Stauwasserstandorten mit – wenn auch geringem – Gefälle zumeist nicht praktikabel. Sie bevorteilen nur kleine Flächen von 1 bis 3 Hektar je Stau und erfordern oft den Neubau der Dränsysteme. Ein nachtäglicher Einbau gefährdet die Funktionsfähigkeit der teilweise sehr alten meist nicht für einen Anstau konzipierten und dafür eher ungeeigneten Dränanlagen (vgl. z. B. TGL 42812/06).

2.3.3.2 Schaffung von Retentionsräumen

Eine Verminderung der Nährstoffeinträge aus Dränanlagen in Gewässer ist durch zwischen Dränanlage und Vorflutgewässer eingerichtete Retentionsräume zum Rückhalt der Nährstoffe möglich. In den meisten Fällen sind dies angelegte Feuchtgebiete, in denen vor allem Stickstoff- und Phosphorfrachten zurückgehalten werden. Seit der ersten Hälfte der 1990er Jahre wurden international zahlreiche Untersuchungen zur Rückhalt- und Minderungsleistung durchgeführt (Crumpton et al. 1999, Kovacic et al. 2000, Braskerud 2002a, Braskerud 2002b, Braskerud et al. 2005, Tanner et al. 2005, Kovacic et al. 2006, Steidl et al. 2008a).

Die Formen und Typen der Retentionsräume variieren zwischen naturnah gestalteten Teich-ähnlichen Rückhaltbecken und rechteckigen Schilfbeet-ähnlichen Varianten. Die Minderung der Stickstofffrachten resultiert aus unterschiedlichen physikalischen

und biochemischen Prozessen. Der wesentliche physikalische Prozess zum Stoffrückhalt besteht in der Sedimentation von partikulärem organischem und inorganischem Material. Die Retentionsräume sind nicht gegen Sickerverluste gedichtet. Die mit dem Sickerwasser ausgetragenen Stickstofffrachten können auf dem Grundwassertransit zum Gewässer noch deutlich reduziert werden (Larson et al. 2000), so dass damit die Stickstoffreduktion dieser Retentionsräume erhöht wird. Zu den biologischen Rückhaltprozessen zählen die Aufnahme der eingetragenen Nährstoffe durch die amphibische und aquatische Vegetation der Rückhaltanlage und ihre Akkumulation in der Biomasse der Makrophyten, Algen und Mikroorganismen sowie im Fall des Stickstoffs die Nitrifikation und Denitrifikation (Koskiaho 2006)

Untersuchungen zum Stoffrückhalt in solchen Retentionsräume weisen sehr große Spannen des Rückhaltvermögens auf. So variiert der Nährstoffrückhalt zwischen den unterschiedlichen Anlagen und innerhalb unterschiedlicher Zeiträume. Bei Nitrat wurden 37-95% der eingetragenen Jahresfrachten zurückgehalten (Mitsch et al. 2001, Carleton et al. 2001, Kovacic 2006). Die beobachteten jährlichen Rückhaltleistungen für Gesamtstickstoff werden mit Werten zwischen 5 und 38% angegeben (Carleton et al. 2001, Braskerud, 2002a, Fisher und Acreman 2004, Koskiaho 2006, Kovacic 2006, Steidl et al. 2008b). Zum Rückhalt von Phosphor - findet man in der Literatur Angaben von 8 bis 80% (z. B. Carleton et al. 2001, Jordan et al. 2003, Braskerud 2002b, Fisher und Acreman 2004, Koskiaho 2006, Kovacic 2006, Steidl et al. 2008b) und von 33 bis 86% für Orthophosphat (Kovacic 2006). Neben dem Nährstoffrückhalt kann es allerdings innerhalb eines Jahres - phasenweise zum Austrag von Nährstoffen, wie er auch in der oben genannten Literatur erwähnt wird, kommen.

In feuchtgebietsähnlichen Retentionsräumen steigt die jährliche flächenspezifische Rückhaltleistung für Gesamtstickstoff TN (kg TN/m²) mit zunehmender - jährlich eingetragener Gesamtmenge von TN. Dieser Zusammenhang wird durch eigene Auswertung von Literaturdaten (Steidl et al. 2008) an Hand der Untersuchungen von u. a. Carleton et al. 2001 oder Fisher und Acreman 2004 belegt. Sanders und Kalff (2001) bewerten die Abhängigkeit zwischen eingetragener TN-Gesamtfracht und Rückhaltleistung als ein gutes Instrument zur Vorhersage des Rückhaltpotentials.

2.3.3.3 Nutzung von Grabenstrecken

Offene Gräben, in die über einmündende Dränrohre Dränabflüsse eingeleitet und zu einem Vorflutgewässer abgeführt werden, sind ein üblicher Bestandteil der Entwässerungsinfrastruktur. In der Einbeziehung von vorhandenen offenen Entwässerungsgräben sehen Wissenschaftler (vorwiegend Neuseeland und USA) ein bislang noch wenig ausgeschöpftes Potential zum Nährtoffrückhalt aus landwirtschaftlichen Dränabflüssen (z.B. Sukias et al. 2003, Strock et al. 2007). Seit einigen Jahren wird zunehmend untersucht, wie derartige Gräben über ihre Transportfunktion hinaus zum Rückhalt und Abbau von Nährstoffen genutzt werden können.

Die Prozesse, die zum Rückhalt von Stickstoff und Phosphor beitragen, sind mit denen in angelegten und natürlichen Feuchtgebieten vergleichbar. Wie in den Rückhaltanlagen wird der Stoffrückhalt in Gräben von der Vegetation, von den Sedimenteigenschaften und den chemischen Bedingungen sowie durch die Dauer der Kontaktzeit beeinflusst. Als maßgebliche Prozesse für den Stoffrückhalt von Nitrat, Ammonium und Phosphat werden Sedimentation, gefolgt von der

Akkumulation in der Biomasse und bakteriellen Transformationsprozessen angesehen (Sukias et al. 2003). Der im Vergleich zu bewachsenen Gräben höhere Rückhalt von Phosphat in vegetationsfreien Gräben wurde auf die intensiveren Wechselwirkungen zwischen der freien Sedimentoberfläche und dem Wasser zurückgeführt (Moore et al. 2010). Diese Untersuchungen im Mississippi Delta ergaben Rückhaltwerte von mehr als 70% für Gesamtstickstoff und von mehr als 80% für Gesamtphosphor.

2.3.3.4 Denitrifizierende Bioreaktoren mit Kohlenstoffquelle

Die Passage von nitrathaltigem Wasser durch eine aus festem Material bestehende Kohlenstoffquelle bietet eine weitere Möglichkeit zur Minderung von Stickstoffgehalten. Hierbei wird Nitrat-Stickstoff durch Denitrifikation abgebaut. Im Zusammenhang mit der Minderung von Stickstoffgehalten in Dränabflüssen ist diese Technologie seit den 1990er Jahren (Blowes et al. 1994, Dinnes et al. 2002, Seitzinger 2006, Greenan et al. 2009) Gegenstand von Versuchen und Pilotanwendungen, die bisher vorwiegend in USA, Kanada oder Neuseeland durchgeführt wurden bzw. werden (Blowes et al. 1994, Robertson et al. 2009, Schipper, Robertson et al. 2010). In der internationalen Literatur wird für derartige Einrichtungen u. a. der Begriff „denitrifying bioreactor“ verwendet. Kernstück eines solchen Bioreaktors sind Behälter oder mit Folie abgedichtete Gruben oder Grabenabschnitte, die mit einem kohlenstoffhaltigen Material verfüllt werden und durch die das Wasser aus den Dränabflüssen geleitet wird. Für die Verfüllung der beschriebenen Reaktoren werden Materialien wie z. B. Holzschnitzel, Rindenmulch, Sägemehl oder Stroh verwendet.

Beim Einsatz von Kohlenstoffquellen in Bioreaktoren wurden teilweise erhebliche Rückhaltleistungen gemessen. Exemplarisch sind hier einige Resultate aufgeführt, die mit sehr unterschiedlichen Reaktortypen bzw. -größen erreicht wurden. In einem aus zwei 200 l-Fässern bestehenden Bioreaktor, der mit einer Mischung aus Sand, grow-bark und Holzschnitzel gefüllt war, konnten Blowes et al. (1994) eine Reduzierung der Nitratkonzentration von 3 bis 6 mg NO3-N/l bei Durchsatzraten von 10 bis 60 l/d auf weniger als 0,2 mg NO3-N/l erreichen. Bei Verwendung eines mit Holzchips gefüllten Kunststoffbehälters (Robertson et al. 2009) wurden Nitratkonzentrationen von ca. 6 mg NO3-N/l bei einer eintägigen Durchlaufzeit auf überwiegend weniger als 0,5 mg NO3-N/l verringert. Diese Ergebnisse wurden in einem bereits fünf Jahre in Betrieb befindlichen Reaktor gemessen. Damit konnte auch gezeigt werden, dass die als Kohlenstoffquelle eingesetzten groben Holzschnitzel durchaus längere Standzeiten erreichen können. An großen beetartigen Bioreaktoren mit einem Volumen von 83, 294 bzw. 1320 m³ konnten ebenfalls erhebliche bis nahezu vollständige Nitratreduzierungen festgestellt werden, wobei in den Untersuchungen aber Abflüsse aus Rinderställen und Gewächshäusern sowie häusliche Abwässer verwendet wurden (Schipper, Cameron, Warneke 2010). Andere Stickstoffkomponenten als Nitrat sind erwartungsgemäß in den denitrifizierenden Reaktoren von der Reinigungsleistung nicht betroffen.

2.4 Maßnahmenkatalog

2.4.1 Eigener und bestehende Maßnahmenkataloge

Die Ausarbeitung und das Inkrafttreten von Verordnungen und Richtlinien zum Gewässerschutz wie die Europäische Wasserrahmenrichtlinie oder das HELCOM-Übereinkommen zum Schutz der Ostsee hatten auch die Zusammenstellung von

Empfehlungen für eine die Gewässer schonende Landwirtschaft zur Folge. Beispiele solcher Empfehlungen sind die in Deutschland ausgearbeiteten Dokumente „Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen in Gewässer – eine wasserschutzorientierte Landwirtschaft zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie“ (Osterburg und Runge 2007) oder „Wasserschutz im Ökologischen Landbau – Leitfaden für Land- und Wasserwirtschaft“ (Haas 2010). Für die Landwirtschaft in den Anrainerstaaten der Ostsee wurden anlässlich des HELCOM-Ministertreffens 2007 Empfehlungen „Examples of measures for reducing phosphorus and nitrogen losses from agriculture land use“ (HELCOM 2007) angenommen.

Bei den genannten Empfehlungen standen die Möglichkeiten zur Reduzierung von Nährstoffeinträgen, vor allem von Stickstoffeinträgen, in Gewässer oder Grundwasser im Vordergrund. In beiden Maßnahmenkatalogen stand die Landwirtschaft auf allen für Ackerbau und Grünland genutzten Flächen im Fokus der Ausarbeitungen. Eine Differenzierung nach der Bewirtschaftung von ungedränten oder gedränten Flächen erfolgte dabei nicht. Die vorgestellten Möglichkeiten zur Reduzierung von Stoffeinträgen sind auch für die Landwirtschaft auf Dränflächen anwendbar. Nachfolgend werden sowohl Auszüge aus den Empfehlungen von Osterburg und Runge sowie von HELCOM in einer Kurzübersicht wiedergegeben.

In den beiden Maßnahmenkatalogen von Osterburg u. Runge (2007) und von HELCOM (2007) finden sich erwartungsgemäß die möglichen Maßnahmen zur Minderung von Stoffausträgen wieder, die auch im Ergebnis der Literaturauswertung hier vorgestellt wurden. Da die Erstellung eines eigenständigen Katalogs im Rahmen dieser Arbeit zu weitestgehenden inhaltlichen Übereinstimmungen mit den beiden beispielhaft aufgeführten Maßnahmenkatalogen geführt hätte, wurde auf die Ausarbeitung einer vollständigen Übersicht von möglichen Maßnahmen verzichtet. Der hier präsentierte eigene Katalog ist auf Maßnahmen zum Rückhalt von Stofffrachten unterhalb der landwirtschaftlich genutzten Flächen konzentriert, da derartige Möglichkeiten sowohl von Osterburg u. Runge als auch von HELCOM nur in einem sehr geringen Umfang berücksichtigt werden.

2.4.2 Maßnahmenkatalog nach Osterburg u. Runge (2007)

Osterburg und Runge (2007) haben auf der Basis umfangreicher Literaturstudien eine Zusammenstellung von Möglichkeiten ausgearbeitet, mit denen in Hinblick auf die Ziele der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie aus der Landwirtschaft resultierende Stickstoffbelastungen im Grundwasser und in Oberflächengewässern reduziert werden können. Bei den Möglichkeiten handelt es sich um unterschiedliche Bewirtschaftungspraktiken, die von den landwirtschaftlichen Betrieben im Rahmen der Ausübung der guten fachlichen Praxis umgesetzt werden können.

In der katalogartigen Zusammenstellung wurden die Möglichkeiten thematisch gruppiert und unter Berücksichtigung der jeweils aktuellen Flächennutzung von den Autoren aufgeführt. Für jede Möglichkeit bzw. Maßnahme zur Reduzierung der Stickstoffbelastung wurde die damit verbundene Kostenwirksamkeit (€ je kg zurückgehaltenen Stickstoffs) angegeben. Die Kalkulation basiert auf angenommenen Entgelten für die Landwirte und dem Minderungspotential einer Maßnahme. Bei den Entgelten handelt es sich um angenommene Entgeltzahlungen in Orientierung an Prämien zurückliegender und zum Berichtszeitpunkt aktueller Zahlungen, zumeist incl. einer Anreizkomponente. Das für die Stickstofffrachten bestehende Minderungspotential wurde aus Herbst-Nmin-Messwerten für die obere Bodenschicht von 0-90 cm abgeleitet. Zur Einschätzung der Umsetzbarkeit wurden

die bei den Landwirten erwartete Akzeptanz und die Kontrollierbarkeit durch die Behörden angegeben.

Möglichkeiten zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen in Gewässer (nach Osterburg und Runge 2007)

aktuelle Nutzung	**Maßnahme zur Reduzierung der Stickstofferträge**	**erwartete mittlere Minderung der N Fracht**	**geschätzte Kosten-wirksamkeit**	**erwartete Akzeptanz**
		kg N / ha / a	**€ / kg N-Minderung**	
Zwischen-frucht oder Untersaat				
Acker Gemüse	Zwischenfrucht mit frühem Umbruch	20	3,5	+++
Acker Gemüse	Zwischenfrucht mit spätem Umbruch	35	2,6	+++
Acker Gemüse	Zwischenfrucht (Winterrübsen) vor Wintergetreide	20	3	++
Acker Gemüse	Zwischenfrucht (winterhart) mit spätem Umbruch	40	2,5	++
Acker Gemüse Dauerkultur	Untersaaten	10	8	+
Fruchtfolge				
Acker Gemüse	Fruchtfolge mit 1-jähriger Brache mit leguminosenfreier Begrünung und Herbstumbruchverzicht	40	2,8	++

Acker Gemüse	Fruchtfolge mit 2-jähriger Brache mit leguminosenfreier Begrünung und Herbstumbruchverzicht	50	2,4	++
Acker Gemüse	Fruchtfolge mit mehrjähriger Brache mit leguminosenfreier Begrünung und Herbstumbruchverzicht	60	2,5	+
Acker Gemüse	Fruchtfolge mit jährlichem Wechsel von Sommerung / Winterung über 4 Jahre	20	10	++
Acker (Mais)	Fruchtfolge mit Frühernte von Mais mit Zwischenfrucht und nachfolgender Sommerung	30	10	+
Acker (Raps)	Fruchtfolge mit Zwischenfrucht nach Raps und nachfolgender Sommerung	50	3	+
Acker (Kartoffel)	Fruchtfolge mit Zwischenfrucht nach Kartoffel und nachfolgender Sommerung	40	3,8	+
Gemüse	Fruchtfolge mit Zwischenfrucht nach Feldgemüse und nachfolgende Nicht-Gemüse-Sommerung	60	3,3	+
Acker	Fruchtfolge mit Förderung von Extensivkulturen	10	7	++
Acker (Mais)	Maisengsaat	5	10	+
Boden-bearbeitung				
Acker Gemüse	Mulchsaat zu Sommerungen	10	8	++
Acker Gemüse	Direktsaat	10	8	+

Acker (Raps)	Reduzierte Bodenbearbeitung nach Raps	10	4	+
Acker (Getreide)	Verzicht auf Bodenbearbeitung bis Mitte November nach der Getreideernte vor Sommerung	10	3	++
Acker (Mais)	Verzicht auf Bodenbearbeitung nach Mais bei nachfolgendem Anbau einer Sommerung	10	2,5	++
Grünland				
Grünland	Grünlandextensivierung	10	10	+
Grünland	Extensive Weidewirtschaft	10	10	+
Grünland	Umbruchlose Grünlanderneuerung	60	0,7	++
N-Mineral-düngung				
Acker Gemüse	Reduzierte N-Mineraldüngung (Acker) incl. Verzicht auf Spätgabe bei Getreide	5	16	+
Acker	Zeitpunkt der N-Mineraldüngung	10	2	++
Acker (Wintergetreide, Kartoffel) Gemüse	Einsatz stabilisierter N-Mineraldüngung bei Wintergetreide und Kartoffeln	10	3	++
Acker Gemüse	Einsatz des CULTAN-Verfahrens	10	4	++
Acker Gemüse Grünland	Verbesserte N-Mineraldüngeraus-bringungstechnik (Exaktstreuer)	5	5,2	++
Acker (Kartoffel)	Reihendüngung in Kartoffeln	10	2,6	++

Acker Gemüse	Teilflächenspezifische Düngung	10	#nv	+
Wirtschafts-dünger				
	Wirtschaftsdüngermanagement im Betrieb (Stall, Lagerung)	#nv	#nv	++
Acker Grünland Dauerkultur	Einsatz von Grundwasser schonender Ausbringungstechnik für Gülle und Gärsubstrate	10	2,5	+++
Acker Grünland	Einsatz von Grundwasser schonender Ausbringungstechnik für Festmist	5	7	+++
Acker Grünland	Keine Wirtschaftsdüngerausbringung nach Ernte	10	2	++
Acker Grünland Dauerkultur	Verlängerung der Sperrfristen für Wirtschaftsdünger	10	2,5	++
Landnutzungs-änderung				
Acker Grünland	Umwandlung von Ackerland in Grünland für mehr als 4 Jahre	50	8	0
Kulturtech-nische Maßnahmen				
Acker Grünland	Rückbau von Dränagen	50	8	-
Acker Grünland	Wiedervernässung von Auen	#nv	#nv	-
Acker Grünland	Wiedervernässung von Anmooren und Mooren	100	2,5	-

Betriebs- bzw, Produktions-system				
Acker Gemüse Grünland Dauerkultur	Ökologischer Landbau	20	8,5	+
Acker Gemüse Grünland Dauerkultur	Düngeplanung	20	0,8	+++
Acker Gemüse Dauerkultur	Düngeplanung ergänzt durch Nmin-Analyse im Frühjahr	10	6	++
Acker Gemüse Grünland Dauerkultur	Pflanzenanalysen zur Ergänzung der vegetationsbegleitenden Düngeplanung	10	4	+++
Acker Grünland Dauerkultur	Wirtschaftsdüngeranalysen zur Ergänzung der Düngeplanung	10	0,5	++

2.4.3 Maßnahmenkatalog nach HELCOM (2007)

2.4.3.1 Landnutzung

a) Umstellung von Ackerbau auf Extensivgrünland

Reduktion von N- und P-Verlusten

Umstellung von Ackerbau auf Extensivgrünland ist sehr wirksam für die Reduktion von Stickstoffverlusten, da aufgrund der niedrigen Düngermengen keine N-Akkumulation im Boden erfolgt.

2.4.3.2 Bodenmanagement

a) Pflanzenbedeckung während des Winters

Reduktion von N- und P-Austrägen sowie von Bodenerosion; ohne Pflanzenbedeckung können nicht im Boden speicherbare Niederschläge Stickstoff verlagern. Verbesserung der Bodenstruktur durch Zunahme der organischen Masse in der oberen Bodenschicht.

b) Minimale Bodenbearbeitung

Minimale Bodenbearbeitung oder Direktsaat erhalten organische Bestandteile und sorgen für gute Bodenstruktur. Infiltration und Wasserrückhalt werden erhöht, dadurch geringere P-Austräge mit Oberflächenabfluss, aber langfristig P-Anreicherung in der oberen Bodenschicht;

c) Bodenbearbeitung für Saatbettbereitung von Herbst auf Frühjahr verlegen

Mit der Verlegung der Bodenbearbeitung wird die sonst durch Bearbeitung im Herbst begünstigte Stickstoff-Mineralisierung aus organischem Material vermieden, die zu einem Zeitpunkt mit geringer Nährstoffaufnahme durch die Vegetation eintreten würde und zu erhöhtem Auswaschungspotential von Stickstoff im Winter führt

d) Zwischenfrucht oder Untersaat

Zwischenfrucht oder Untersaat bedecken Bodenoberfläche und entziehen dem Boden nach Hauptkultur verbliebenen Nährstoffüberschuss und führen so zu reduzierten Nährstoffausträgen.

e) Gesteuerte Rohrdränung

Gesteuerte Rohrdränung ermöglicht Wassereinstau im Dränsystem; das zurückgehaltene Wasser steht den Pflanzen zur Verfügung und nährstoffhaltige Dränabflüsse werden reduziert.

2.4.3.3 Düngemanagement

a) Nährstoffbilanzen

Mit der Erstellung von Nährstoffbilanzen ist ein Instrument zur langfristigen Düngeplanung gegeben, dass Informationen über die Nährstoffeffizienz liefert und zur Erfassung von Anbauphasen mit Nährstoffverlusten herangezogen werden kann.

b) Umstellung von konventioneller auf organische Bewirtschaftung

Nährstoffversorgung ist bei organischer Bewirtschaftung stärker auf Förderung und Erhalt der Bodenfruchtbarkeit als auf Ernteerträge ausgerichtet. Düngereffizienz ist üblicherweise höher und Nährstoffverluste sind geringer als bei konventioneller Bewirtschaftung.

c) Reduzierte Düngung

N- und P-Düngergaben unterhalb des wirtschaftlichen Optimums führen zu geringen im Boden verbleibenden Nährstoffüberschüssen nach der Ernte und reduzieren damit das Auswaschungspotential.

d) Ausbringungstechnik bei organischer Düngung

Reduzierung von oberflächiger Ausbringung von Wirtschaftsdünger und Förderung von Ausbringung mit Injektionsverfahren und Mulchen führt zur Verringerung von Auswaschungsverlusten

e) Einbeziehung von Wirtschaftsdünger

Bei Verwendung von Wirtschaftsdünger ermöglichen Nährstoffanalysen eine bessere Bestimmung von Menge und Ausbringungszeitpunkt weiterer erforderlicher Düngemittel. Durch Kenntnis der Nährstoffgehalte des Wirtschaftsdüngers können der Düngeaufwand und damit auch N- und P-Verluste reduziert werden

f) Vermeidung von Düngung auf risikobehafteten Flächen oder während risikobehafteter Zeiträume

Mit der Vermeidung von Düngerausbringung auf Flächen mit starker Rissbildung im Boden oder in Zeiten vor zu erwartenden Niederschlägen werden Auswaschungsrisiken reduziert. Das gleiche gilt für Flächen und Zeiträume, in denen Dünger nicht durch Vegetation aufgenommen werden kann.

2.4.4 Maßnahmen zur Reduzierung von Nährstofffrachten in Dränabflüssen vor dem Vorfluter (Nachgeschaltete Maßahmen)

2.4.4.1 Bedarfsgerechte Steuerung von Dränanlagen

Entwässerungstiefe ist durch Staumöglichkeit am Dränauslass steuerbar, durch Anstau wird eine Verringerung der Entwässerungstiefe und eine Verringerung der Dränabflüsse erreicht, was zur Reduzierung der Stofffrachten führt. Das in den Dränrohen zurückgehaltene Wasser steht den Pflanzen zur Verfügung.

Anwendbar auf Flächen mit Gefälle bis maximal 1%; bei stärker geneigtem Gelände zunehmend kleinere Vorteilsflächen und steigende Aufwendungen für Steuerungseinrichtungen.

2.4.4.2 Schaffung von Retentionsräumen

Einrichtung von naturnahen Retentionsräumen unter Nutzung vorhandener Geländesenken, in denen Dränabflüsse vor Eintritt in Vorfluter aufgefangen und temporär gespeichert werden. Während der Aufenthaltszeit im Retentionsraum werden als Folge von Sedimentation und biochemischen Prozessen im Zusammenspiel von amphibischer und aquatischer Vegetation sowie von Bakterien im Dränabfluss enthaltener Stickstoff und Phosphor durch Transformations-, Akkumulations- und Abbauprozesse reduziert.

Durchführung der Maßnahme setzt die Verfügbarkeit einer geeigneten Fläche zwischen Dränfläche(n) und Vorfluter voraus und erfordert eine regelmäßige Unterhaltung.

2.4.4.3 Nutzung von Graben- und Gewässerstrecken

Nutzung von vorhandenen zur Entwässerungsinfrastruktur gehörenden Gräben und Gewässerabschnitte zum Nährstoffrückhalt aus Dränabflüssen. Nährstoffrückhalt ist eine Folge der gleichen Prozesse wie in Retentionräumen. Durch Anstau können Abflüsse verlangsamt werden und bei so erhöhter Verweilzeit ist eine Verbesserung der Retentionsleistung möglich.

Durchführung der Maßnahme setzt Möglichkeiten zum Anstau des Graben- oder Gewässersystem (Bauwerke, Gefälle) voraus und erfordert eine regelmäßige Unterhaltung.

2.4.4.4 Denitrifizierende Bioreaktoren mit Kohlenstoffquelle

Durchleitung von Dränabflüssen durch Behälter oder Becken, die mit durchlässigem kohlenstoffhaltigen Material wie Holzschnitzel oder Stroh gefüllt sind. Aus den Dränabflüssen wird Stickstoff durch Denitrifikation entfernt, wobei die Denitrifikanten den Kohlenstoff des Füllmaterials nutzen. Die Maßnahme kann hohe Abbauleistungen von Stickstoff erreichen. Denitrifizierende Biorektoren als Einzelmaßnahme oder in Kombination mit anderen Maßnahmen möglich.

Durchführung der Maßnahme erfordert in größeren Zeitabständen die Wiederauffüllung der Kohlenstoffquelle.

2.5 Diskussion

Die im Ergebnis der Literaturauswertung zusammengestellten möglichen Maßnahmen zielen in jedem Fall auf eine Verminderung von aus der Landwirtschaft resultierenden Stickstoff- und Phosphorausträgen, die aus diffusen Quellen in die Oberflächengewässer gelangen. Die Maßnahmen auf der landwirtschaftlichen Fläche selbst wirken an der Quelle der Entstehung von Nährstoffüberschüssen und sind zur Erreichung der angestrebten Zielstellung sowohl auf gedränten Flächen als auch auf nicht gedränten Flächen geeignet. Häufig sind damit auch Ertragseinbußen des Landwirtes verbunden. Diese senken wiederum den Nährstoffentzug und reduzieren die überschussmindernde Wirkung. In Ergänzung oder auch als Ersatz solcher Maßnahmen sind für die Reduktion der Nährstoffeinträge aus landwirtschaftlichen unterirdischen Dränsystemen ebenfalls Maßnahmen geeignet, die unterhalb von gedränten Flächen angeordnet werden. Dabei müssen u. U. jedoch auch landwirtschaftliche Flächenverluste hingenommen werden. In Hinblick auf die ökologischen Verbesserungen ist eine Umsetzung aller vorgestellten Maßnahmen zu befürworten. Die Frage, ob die Umsetzung einer Maßnahme auch unter ökonomischen Aspekten tragfähig ist, wurde im Rahmen der vorliegenden Literaturauswertung nicht betrachtet. Da die Einrichtung von Dränflächen in der Regel mit hohen Investitionen zur Erschließung und Verbesserung der landwirtschaftlichen Produktion erfolgte, müsste die wirtschaftliche Vertretbarkeit jeder Maßnahme einer individuellen Prüfung unterzogen werden.

Die vorliegende Literaturauswertung und Zusammenstellung von Maßnahmenkatalogen bilden den ersten Teil einer Arbeit, die im Gesamtergebnis den Maßnahmen zugeordnete Steuergrößen für eine Weiternutzung im Programm MONERIS zur Abschätzung der Auswirkungen von Maßnahmen auf Stoffeinträge in Gewässer liefern soll. Der Zweite zu erstellende Teil dieser Arbeit wird auf die Bereitstellung der Steuergrößen ausgerichtet sein. Dabei wird geklärt werden, in welcher Form die teilweise kleinräumig begrenzten Maßnahmewirkungen berücksichtigt werden können und mit welchem Detaillierungsgrad Maßnahmewirkungen durch die Steuergrößen beschrieben werden können.

3 Zusammenhänge zwischen Steuergrößen und Minderungsleistungen für die einzelnen Maßnahmen

3.1 Eingangsgrößen für das Modellsystem MONERIS

Die Berechnung von Stickstoff- und Phosphorfrachten, die über landwirtschaftliche Dränsysteme in Oberflächengewässer eingetragen werden, erfolgt in dem Nährstoffeintragsmodell MONERIS über die Größe der Dränfläche, die Dränspende sowie über die Nährstoffkonzentration des Dränwassers (Venohr et al. 2009). Eine der wesentlichen Komponenten, die die Nährstoffkonzentrationen im Dränwasser beeinflussen, sind die in den landwirtschaftlich genutzten Flächen aus Düngemaßnahmen entstehenden Nährstoffüberschüsse. Im Modellsystem MONERIS sind Berechnungsansätze zur Bestimmung der Phosphor- und Stickstoffkonzentrationen in Dränabflüssen implementiert, wobei die Stickstoffkonzentration in Dränauslässen aus den Stickstoffüberschüssen abgeleitet wird (Venohr et al. 2009).

Mit den im Ergebnis dieser Studie vorliegenden Angaben zur Reduzierung von Nährstoffüberschüssen als Folge von Bewirtschaftungs- oder Retentionsmaßnahmen sind somit Daten bereitgestellt, die eine Grundlage für die Berücksichtigung von Managementmaßnahmen auf oder unterhalb der bewirtschafteten Flächen im Nährstoffeintrags- und frachtmodell MONERIS bieten. Die Daten sind zur Ableitung von Eingangsgrößen für das Modellsystem MONERIS geeignet.

3.2 Minderungsleistungen von Maßnahmen auf der bewirtschafteten Fläche

Die Minderungsleistungen, die durch Maßnahmen auf der bewirtschafteten Fläche erreicht werden können, sind im Maßnahmenkatalog nach Osterburg und Runge (siehe Abschnitt 1.4.2) sowie in noch umfangreicherer Form in der Datenbank-Tabelle *Kosten-Nutzen* (siehe 4.1) zusammengestellt. Die erzielbaren Minderungsleistungen sind neben klassifizierter Form vorwiegend in quantifizierter Form z. B. als erwartete mittlere Minderung der jährlichen Fracht im Sickerwasser in kg/ha/a, Saldo-Minderung im Boden in kg/ha/a oder als Nährstoffexport in % gegeben. Die Ableitung möglicher Einflüsse auf die Minderungsleistungen, wie z. B. der tatsächliche Witterungsverlauf in der Vegetationsperiode, ist damit jedoch nicht möglich. Jede der angegebenen Minderungsleistungen ist an jeweils eine einzelne Maßnahme gekoppelt und kann in MONERIS als Eingangsgröße verwendet werden. Da jede Maßnahme individuell und unabhängig von anderen Maßnahmen zur Minderung von Nährstoffausträgen in die Bewirtschaftungspraxis integriert werden kann und dafür jeweils nur eine mittlere jährliche Minderung bekannt ist, können die flächenbezogenen oder prozentualen Minderungsleistungen jedoch nicht aus einer Funktion abgeleitet werden.

3.3 Minderungsleistungen von Maßnahmen unterhalb der bewirtschafteten Fläche

3.3.1 Schaffung von Retentionsräumen/Retentionsteichen

Die Minderungsleistung, die mit naturnah gestalteten Retentionsräumen hinsichtlich der Reduzierung von Nährstofffrachten aus Dränabflüssen erreicht werden kann, wird von unterschiedlichen Parametern beeinflusst und kann somit auch in Abhängigkeit unterschiedlicher Einflussgrößen als Funktion dargestellt werden. Eine mögliche Funktion ergibt sich aus der Abhängigkeit des Frachtrückhalts vom Verhältnis zwischen der Fläche des Retentionsraumes und der Fläche des angeschlossenen Dränsystems. Mit zunehmender Fläche des Retentionsraumes steigt auch der zurückgehaltene Anteil der aus der betrachteten Dränfläche eingetragenen Nährstofffracht. Wegen ihrer einfachen Handhabbarkeit und wegen der geringen Anforderungen an die erforderlichen Eingangsdaten ist mit dieser Funktion eine einfache Abschätzung der Retentionsleistung möglich. Diese Form der Darstellung von Angaben über die Retentionsleistung in Abhängigkeit vom Flächenverhältnis ist weit verbreitet und wird besonders häufig im Zusammenhang mit Retentionsanlagen zum Rückhalt von Oberflächenabflüssen verwendet.

Um die mit naturnahen Retentionsräumen erreichbaren Minderungen von Nährstofffrachten aus Dränabflüssen abschätzen und als Eingangsgröße für MONERIS nutzen zu können, wurde für Gesamtstickstoff und Gesamtphosphor jeweils eine von dem beschriebenen Flächenverhältnis abhängige Funktion aus verfügbaren Daten abgeleitet. Die verwendeten Daten wurden zum Teil aus internationalen Fachpublikationen über speziell zum Rückhalt von Dränabflüssen angelegten Retentionsanlagen und deren Rückhaltvermögen entnommen (Alström et al. 2000; Braskerud 2002; Braskerud et al. 2005; Carleton et al. 2001; Kovacic et al. 2006). Weitere Daten basieren auf den Auswertungen von eigenen Untersuchungen des Auftragnehmers, die an drei naturnahen Retentionsräumen zum Rückhalt von Dränabflüssen im Zeitraum von 2006 bis 2010 an Standorten im östlichen Brandenburg durchgeführt wurden (Steidl et al. 2011). Die in den Rückhaltfunktionen (Abbildung 1 und Abbildung 2) ausgewiesenen Rückhaltanteile sind auf die in den Retentionsraum eingetragenen jährlichen Gesamtfrachten bezogen worden.

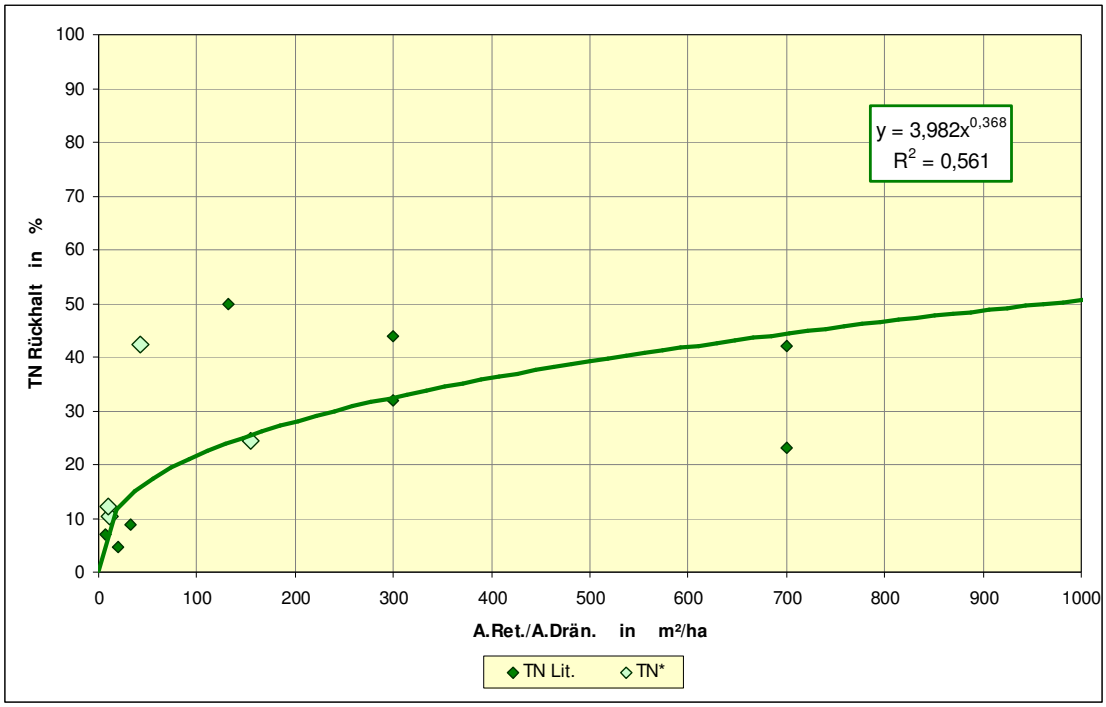


Abbildung 1: Jährlicher Rückhaltanteil von Gesamtstickstoff (in % der jeweiligen Jahresfracht) in Abhängigkeit vom Verhältnis der Fläche des Retentionsraumes zur Fläche des angeschlossenen Dränsystems auf der Basis von Daten aus der Literatur (TN Lit.) und Daten aus eigenen Untersuchungen (TN*)

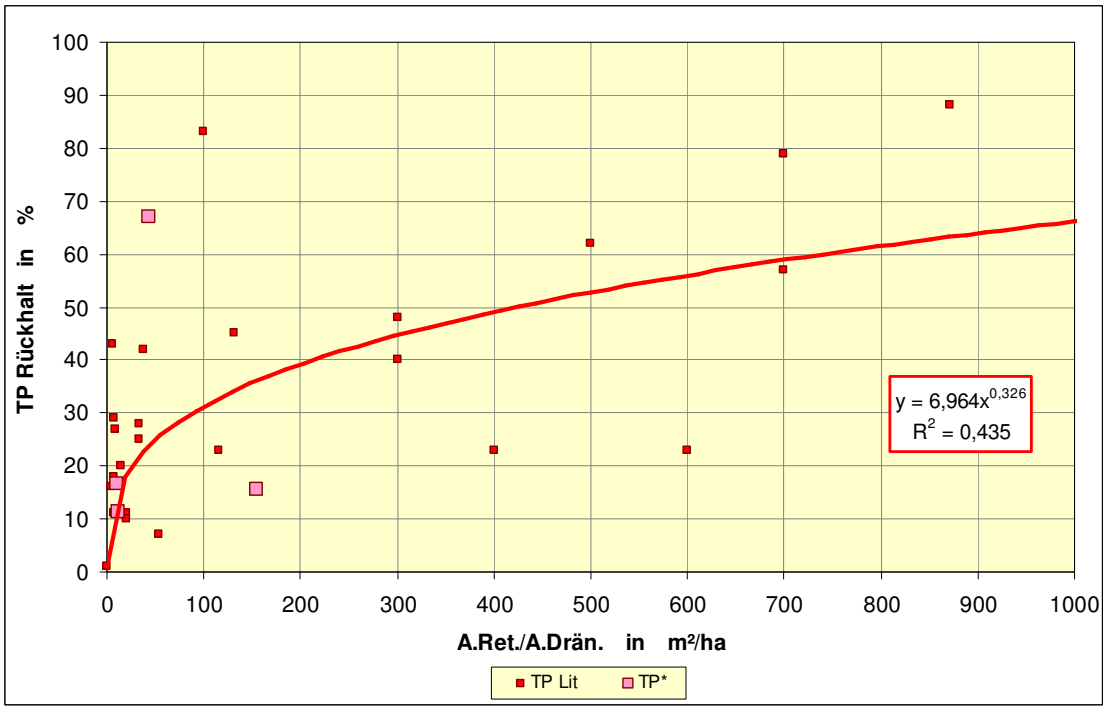


Abbildung 2: Jährlicher Rückhaltanteil von Gesamtphosphor (in % der jeweiligen Jahresfracht) in Abhängigkeit vom Verhältnis der Fläche des Retentionsraumes zur Fläche des angeschlossenen Dränsystems auf der Basis von Daten aus der Literatur (TP Lit.) und Daten aus eigenen Untersuchungen (TP*)

3.3.2 Nutzung von Grabenstrecken

Die Nutzung von Grabenstrecken zum Rückhalt von Nährstoffen aus Dränabflüssen wird bisher kaum in der Praxis angewandt (s. Abschnitt 1.3.3.3). Die wenigen Angaben über Minderungsleistungen, die der Literatur entnommen werden konnten, ermöglichen keine Ableitung einer für den Untersuchungsraum im deutschen Ostseeeinzugsgebiet anwendbaren Funktion oder andere Aussagen zum Nährstoffrückhalt. Dies ist u. a. durch die lokalen klimatischen Bedingungen der durchgeführten Feldversuche bedingt (z. B. Moore et al. 2010, Sukias et al. 2003). Die Versuchsergebnisse können für die im deutschen Ostseeeinzugsgebiet vorhandenen Bedingungen keinesfalls als repräsentativ eingestuft werden.

3.3.3 Denitrifizierende Bioreaktoren

Die mit denitrifizierenden Bioreaktoren erreichbaren Minderungsleistungen werden wesentlich von der Art der Kohlenstoffquelle und von deren Größe beeinflusst. Die der Literatur entnommenen Angaben zur möglichen Reduzierung von Nitratkonzentrationen variieren zwischen 1 mg NO3-N / l und 6 mg NO3-N / l und sind bei sehr unterschiedlichen Durchsatzraten beobachtet worden. Die Werte geben eine Orientierung über die mit denitrifizierenden Bioreaktoren erreichbaren Minderungsleistungen, wurden allerdings vorwiegend im Labormaßstab ermittelt. Eine für die Wirkung praktischer Umsetzung solcher Maßnahmen anwendbare Funktion zum Nährstoffrückhalt konnte aus den in die Literaturauswertung einbezogenen Quellen nicht abgeleitet werden.

4 Überführung des Maßnahmenkataloges zur Reduzierung von Nährstofffrachten in Dränabflüssen vor dem Vorfluter in eine Datenbankstruktur

4.1 Vorgegebene Datenbankstruktur des Auftraggebers

Der AG hatte unter Berücksichtigung seiner Zielvorstellungen hinsichtlich der Verwendung durch den AG ein Basiskonzept für die Inhalte und die Struktur einer Datenbank zur Aufnahme von Angaben über Maßnahmen zur Reduzierung von Nährstofffrachten entwickelt. Dieses Basiskonzept wurde dem AN im Rahmen eines Arbeitstreffens vorgestellt, das im November 2010 zur gemeinsamen Abstimmung der weiteren Vorgehensweise im IGB stattfand. Der AN konnte aufgrund der durchgeführten Literaturauswertung darauf hinweisen, dass einige für die Datenbank vorgesehen Informationen in der Literatur nicht in einheitlicher Form zur Verfügung stehen. So liegen beispielsweise Daten zur Eintragsminderung von Nährstoffen als flächenbezogene Größe (Minderung in kg/ha), als Minderungsanteil (Minderung in %) oder als klassifizierte Angabe (niedrig-mittel-hoch) vor. Daten zu den mit einer Maßnahme verbundenen Kosten sind ebenfalls nicht einheitlich als Durchschnittswert angegeben, sondern sind um Angaben zu Minimal- und Maximalwerten erweitert. Nach diesen Hinweisen hat der AG die ursprüngliche Datenbankstruktur entsprechend erweitert und die ausgearbeitete Vorgabe als Excel-Datei an den AN im Dezember 2010 übergeben.

Die Vorgaben des AG umfassen die vier Tabellen

- Measure Description
- Kosten-Nutzen
- Forschungsergebnisse
- Literatur

mit jeweils vorgegebenen Feldern (Spalten). Eine Übersicht zu der vorgegebenen Datenbankstruktur ist im Anhang den Tabellen A-1 – A-4 zu entnehmen.

4.2 Implementierung der Datenbank

Die Implementierung der Datenbank erfolgte unter Verwendung der vorgegebenen Struktur. Diese Struktur der vier vorgegebenen Tabellen wurde teilweise um zusätzliche Spalten erweitert, um einerseits die in den Literaturquellen verfügbaren Informationen vollständig erfassen zu können und andererseits eine Verknüpfung zwischen den Tabellen zu ermöglichen. Eine Übersicht zu der verwendeten Datenbankstruktur mit den vorgenommenen Erweiterungen ist im Anhang in den Tabellen A-1 – A-4 enthalten.

Die Tabelle *Kosten-Nutzen* wurde zusätzlich zu den Spalten *Cost Min* und *Cost Max* um die Spalte *Cost Mean* erweitert. In derselben Tabelle wurden die Spalten *N-Minderung in Prozent* und *P-Minderung in Prozent* jeweils durch die Gruppe *N Minderung in Prozent(Min), N Minderung in Prozent(Mean), N Minderung in Prozent (Max)* bzw. die Gruppe *P Minderung Prozent(Min), P Minderung Prozent(Mean), P Minderung Prozent(Max)* ersetzt. Erst mit der so modifizierten Datenbankstruktur war es möglich, bestehende Differenzierungen der in der Literatur gegebenen Informationen im vollen Umfang in der Datenbank zu berücksichtigen.

Die entsprechend der vorgegebenen Datenstruktur in den Tabellen *Measure Description* und *Kosten-Nutzen* enthaltene Spalte *Measure Description* wurde auch in die Tabelle *Forschungsergebnisse* eingefügt. Damit ist auch in der modifizierten Tabelle die gleiche Möglichkeit zur Gruppierung der Datensätze gegeben.

Außerdem wurde die in drei Tabellen bereits enthaltene Spalte *Author* auch in die Tabelle *Measure Description* eingefügt, sodass mit dieser nun in allen Tabellen enthaltenen Spalte eine Verknüpfung zwischen den vier Tabellen möglich ist.

In Hinblick auf Gruppierungen und Selektionen von Datensätzen sowie auf Verknüpfungen zwischen den Tabellen wurden Begriffe zur Attributierung der Datensätze festgelegt, die ausschließlich in der gewählten Form in den Spalten *Measure Name*, *Measure Goal* und *Measure Descriptiion* verwendet wurden. Eine Übersicht der gewählten Begriffe ist in den Tabellen A-5 – A-7 gegeben.

Die in der Tabelle *Literatur* erfassten Datensätze zu den Literaturquellen stellt die Grundlage der Datenbank dar. Die aus der Literaturauswertung erarbeiteten Angaben zu möglichen Minderungsmaßnahmen, zu Aussagen über Koten-Nutzen der Maßnahmen sowie die zu Forschungsprojekten entnommenen Hinweise wurden so aufbereitet, dass die Datensätze entsprechend der Tabellenstrukturen angelegt werden konnten. Die Datenbank umfasst

- Tabelle *Measure Description* 263 Datensätze
- Tabelle *Kosten-Nutzen* 286 Datensätze
- Tabelle *Forschungsergebnisse* 78 Datensätze
- Tabelle *Literatur* 94 Datensätze

5 Erarbeitung von Planungsgrundlagen für einen dem Dränablauf nachgeschalteten Retentionsteich

Im Einzugsgebiet der Beke wurde ein landwirtschaftlicher Dränstandort gefunden, deren Dränsammler über einen ebenfalls landwirtschaftlich genutzten Grünlandstandort im Tal der Beke direkt in die Beke entwässert wird (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Dieser Standort war nach folgenden Kriterien für die Installation eines dem Dränablauf nachgeschalteten Retentionsteiches/Retentionsraumes und für die geplanten Untersuchungen geeignet:

- Bereitschaft eines Wasser- und Bodenverbandes als Vorhabensträger,
- Einverständnis von Eigentümer und Pächter,
- Dränsammler mit ausreichend großem Einzugsgebiet und Gefälle,
- gute Erreichbarkeit für Bautechnik und regelmäßige Probenahme sowie
- Möglichkeit zum Stromanschluss.

Die Standortfindung war das Ergebnis der Zusammenarbeit des Auftragnehmers mit dem Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUGV) Mecklenburg-Vorpommern und dem Wasser- und Bodenverband "Warnow-Beke". Dazu wurden mehrere Beratungen auch mit der Unteren Naturschutzbehörde und Unteren Wasserbehörde sowie den Flächeneigentümern und Landwirten durchgeführt. Zur Verfügbarmachung der Fläche für die Installation eines Retentionsteiches wurden den Flächeneigentümern durch das LUNG MV schließlich Ausgleichsflächen mit Ackerland und Wertausgleich angeboten, die von den Eigentümern vorab bereits akzeptiert wurden.

Abbildung 3: Ausgewählter Standort für die Einrichtung eines dem Dränablauf (Schacht, im Vordergrund) nachgeschalteten Retentionsteiches vor dem Übertritt des Dränwassers in das Fließgewässer (Beeke, verläuft am Waldrand im Hintergrund) bei einem Ortstermin

Der vorgefundene Dränsammler ist ein Gewässer 2. Ordnung mit einem Einzugsgebiet von 100 ha und entwässert aus Richtung Norden kommend im Bereich des NSG „Grünes Rad“ sowie des FFH-Gebietes „Beke und Zuflüsse“ östlich der Ortschaft Klein Gischow in die Beke. Für die technische Lösung und Untersuchung des nachgeschalteten Retentionsteiches wurde das folgende Konzept entwickelt: Die Anordnung und Funktionsweise der einzelnen Komponenten sind in Draufsicht und Schnitt als Prinzipskizzen dargestellt (Abbildung 4 und Abbildung 5). Die Messungen des Abflusses und der Stickstoffkonzentrationen ist sowohl im Zulauf als auch im Auslauf des Retentionsteiches erforderlich. Die Messung im Zulauf soll im Anschluss des Straßendurchlasses in einem Messschacht und die Messung im Ablauf in einem Messgerinne im Gewässer selber erfolgen. Außerdem sind ebenfalls die Messungen der örtlich sehr stark variierenden meteorologischen Parameter Niederschlag, Lufttemperatur, Oberflächentemperatur des Wassers sowie Windgeschwindigkeit und Messungen der Grundwasserstände im Zu- und Abstrombereich des Retentionsteiches vorgesehen.

Als Kohlenstoffquelle für die denitrifizierenden Mikroorganismen ist ein Schacht vorgesehen, der mit organischem Material (Holzhackschnitzel, Stroh, o. ä.) gefüllt wird. Die Denitrifikation erfolgt auch in einer teichartigen Aufweitung des Vorfluters (Retentions- und Sedimentationsraum) mit abnehmenden Wassertiefen zwischen 1,50 m und 0,30 m. Die Aufenthaltszeit des Dränwassers im Retentionsteich ist mittels Strömungslenker zu verlängern. Im teichartigen Retentions- und Sedimentationsraum ist eine Initialpflanzung zur Ansiedlung der gewünschten Makrophyten erforderlich. Die entstehende Vegetation ist ein wesentlicher Bestandteil für die Speicherung von Nährstoffen aus dem Dränsystem.

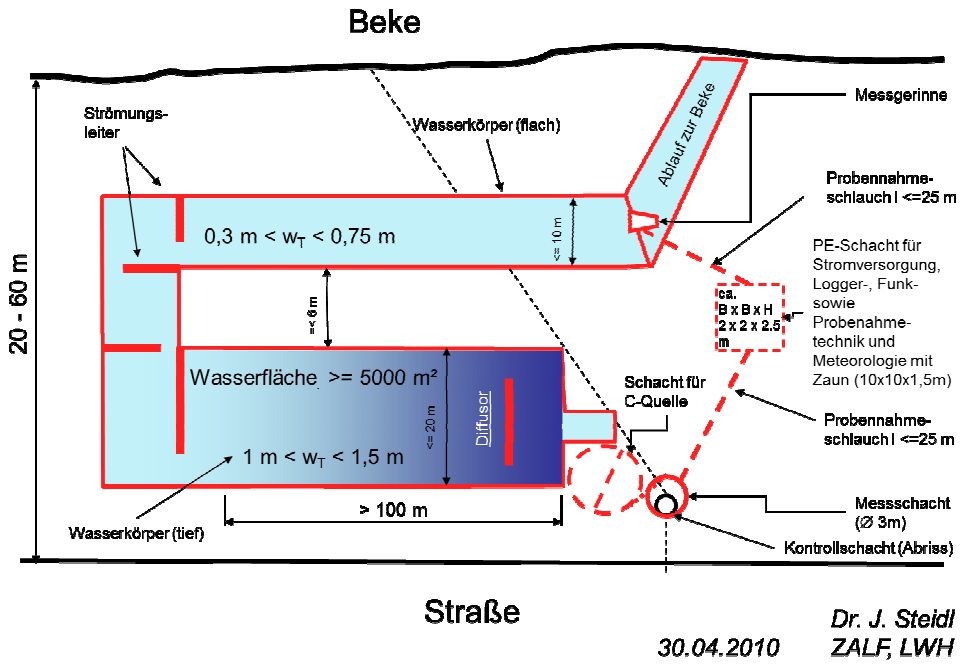


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Anordnung der Elemente eines Retentionsbeckens am Standort Klein Gischow mit Vorrichtungen zur Aufnahme der Messvorrichtungen

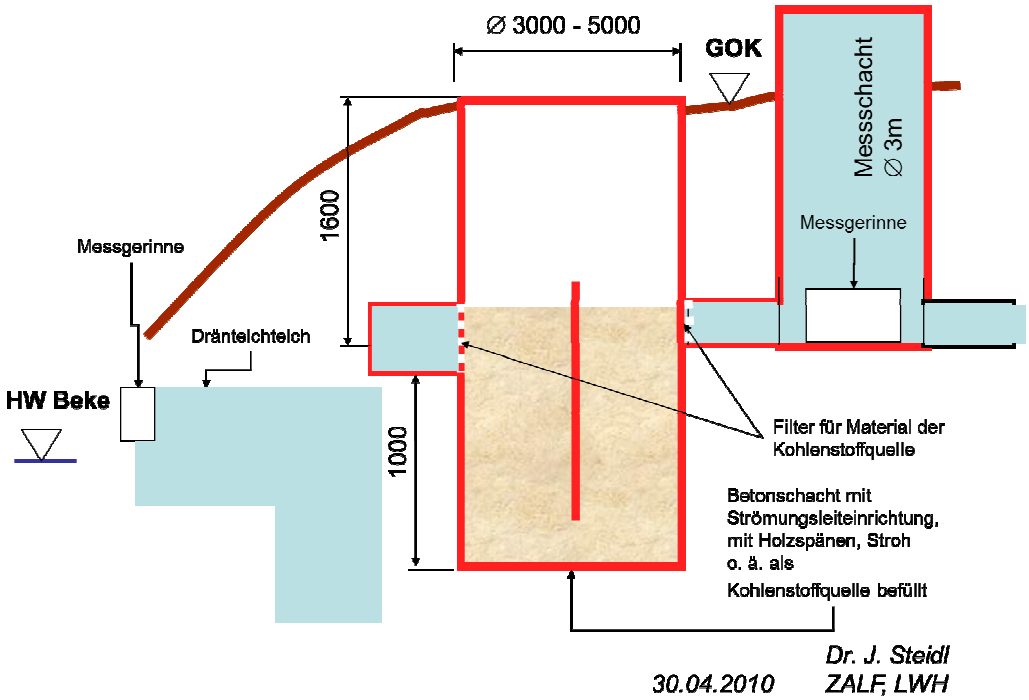


Abbildung 5: Schematische Schnittdarstellung der Elemente eines Retentionsbeckens am Standort Klein Gischow mit Vorrichtungen zur Aufnahme der Messvorrichtungen

Das Messprogramm soll die Grundlagen für die Funktionsnachweise des Teiches liefern. Dazu sind Tageswerte der Durchflüsse und Stoffkonzentrationen im Zu- und Ablauf sowie weitere Bilanzgrößen wie Niederschlag, Verdunstung als auch Grundwasserzustrom und Grundwasserabstrom zu ermitteln.

Die Durchflüsse können mit Messgerinnen und automatischen Messungen und weitere Bilanzgrößen ebenfalls mit entsprechenden automatischen Messgeräten ermittelt werden. Für die Ermittlung der täglichen Stoffkonzentrationen können automatische Probennehmergeräte eingesetzt werden, mit denen tägliche Mischproben erstellt werden. Die Mischproben und eine aktuelle Proben an Zu- und Ablauf sowie aus dem Grundwasser im Zu- und Abstrombereich des Retentionsraumes sollten einem akkreditierten Labor zur Analyse übergeben werden.

Die Grundlagen der Flächenfindung und das Konzept für die technische Lösung des nachgeschalteten Retentionsteiches am Standort Klein Gischow wurden dem Wasser- und Bodenverband "Warnow-Beke" übergeben. Dieser verwendete die Materialien für die Erstellung der Unterlagen für einen Antrag zur Bewilligung von Fördermitteln an das Land Mecklenburg-Vorpommern. Dieser Antrag wurde im September 2010 eingereicht, zum Ende des Jahres jedoch abschlägig beschieden. Eine alternative Finanzierung konnte bislang nicht gefunden werden, so dass das Vorhaben zur Realisierung eines nachgeschalteten Retentionsteiches bislang auch nicht umgesetzt werden konnte.

6 Workshop

Der geplante Workshop wurde entsprechend einer Abstimmung zwischen AN und AG nicht innerhalb der Bearbeitungszeit durchgeführt. Bei dem erreichten Bearbeitungsstand war noch keine Festlegung des Zeitpunktes, Ortes und Interessentenkreises möglich. Die Mitwirkung bei der Vorbereitung, Gestaltung und Durchführung durch den AN ist auch nach dem Ende der vertraglichen Reglung zwischen AG und AN möglich.

Zur Wissensverbreitung und Wissensverankerung bei der interessierten Fachöffentlichkeit und den Multiplikatoren der Praxispartner wurde inzwischen jedoch die Verbandsarbeit der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) genutzt. Die Facharbeitsgruppe DWA-AG GB-7.1 „Abfluss- und Nährstoffmanagement entwässerter Gebiete“ bereitet gegenwärtig ein Themenheft „Reduktion von Stoffeinträgen in Gewässer durch wasserseitige Maßnahmen“ dazu vor. Dabei wurde der Abschnitt Retentionsfeuchtgebiete in diesem Themenheft erarbeitet, der die Grundlagen und erreichbaren Wirkungen von Retentionsfeuchtgebieten oder Retentionsteichen darstellt. Mit dem Erscheinen des Themenheftes werden diese Informationen der interessierten Fachöffentlichkeit zur Verfügung stehen. Darüber hinaus wird auch mindestens ein Workshop geplant, der die Vorstellung, Diskussion und Verbreitung der Inhalte des Themenheftes dient.

7 Literatur

Ahiablame, L., Chaubey, I., Smith, D. (2009): Nutrient interactions at the sediment-water interface of tile-fed agricultural drainage ditches. ASABE Annual International Meeting, June 2009

Alström, T, Holmström, K., Krook, J., Reuterskiöld, D., Torle, C., Tranvik, L., Wedding, B. (2000): Wetlands in agricultural areas – complementary measures to reduce nutrient transport to inland and coastal waters. Life-Project LIFE96ENV/S/346, final report. Ekologgruppen Landskrona, Schweden

Baker, J.L., Crumpton, W.G. (2002): Use of constructed wetlands to reduce nitrate-nitrogen transported with subsurface drainage. In: Strock, J.S. und Everett, L. [Eds.] (2002): Contributed papers from the 1st Agricultural Drainage and Water Quality Field Day 14 August 2002, Lamberton, Minnesota

Baker, J.L., David, M.B., Lemke, D.W. (2005): Understanding nutrient fate and transport, including the importance of hydrology in determining losses, and potential implications on management systems to reduce those losses. Proc. of Gulf Hypoxia and Local Water Quality Concerns Workshop, held at Iowa State University on Sep. 26–28, 2005. pp. 11–25.

BMELV – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2009): Minderung der Stickstoff-Überschüsse in der Landwirtschaft durch Verbesserung der Stickstoff-Effizienz der Düngung. Standpunkt des Wissenschaftlichen Beirates für Düngungsfragen

Braskerud, B.C., Tonderski, K.S., Wedding, B., Bakke, R., Blankenberg, A.-G.B., Ulén, B. and Koskiaho, J. (2005): Can constructed wetlands reduce the diffuse phosphorus loads to eutrophic water in cold temperate regions? J. Environ. Qual. 34:2145–2155. Madison, WI

Braskerud, B.C. (2002a): Factors affecting nitrogen retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution. Ecological Engineering 18 (2002) 351–370

Braskerud, B.C. (2002b): Factors affecting phosphorus retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution. Ecological Engineering 19 (2002) 41–61

Braskerud, B.C., Hartnik, T., Løvstad,Ø. (2003): The effect of redox-potential on the retention of phosphorus in a small constructed wetland. Proceedings of the Diffuse Pollution Conference Dublin 2003

Bruen, M. (Hrsg.) (2003): Diffuse pollution and basin management. Proceedings of the 7th International Specialised IWA Conference, Dublin

Cameron, S.G., Schipper, L.A. (2010, im Druck): Nitrate removal and hydraulic performance of organic carbon for use in denitrification beds. Ecol. Eng., im Druck . Elsevier,

Carleton, J.N., Grizzard, T.J., Godrej, A.N., Post, H.E. (2001): Factors affecting the performance of stormwater treatment wetlands. Wat. Res. Vol. 35, No. 6, pp. 1552–1562, 2001, Elsevier Science Ltd.

Chescheir, G.M., Gilliam, J.W., Skaggs, R.W., Broadhead, R.G. (1987): The hydrology and pollutant removal effectiveness of wetland buffer areas receiving

pumped agricultural drainage water (Report No. 231) August 1987; Water Resources Research Institute (WRRI) of The University of North Carolina

Crumpton, W.G., Stenback, G.A., Miller, B.A., Helmers, M.J. (2006): Potential benefits of wetland filters for tile drainage systems: impact on nitrate loads to Mississippi River Subbasins. Final project report to U.S. Department of Agriculture, Project number: IOW06682. Iowa State University, Ames, IA USA

Crumpton, W.G., Baker, J.L., Fisher, S.W., Hecht, B., Stenback, J.Z., Zmolek, C., Melvin, S.W., Lemke, D.W. (1999): Constructed wetlands to reduce agricultural chemical transport to water resources. Competitive Grant Report 95-48, Vol. 8, Leopold Center for Sustainable Agriculture, Iowa State University, Ames, IA

Dinnes, D.L. (2004): Assessment of practices to reduce nitrogen and phosphorus nonpoint source pollution of Iowa's surface waters. Iowa Department of Natural Resources, Des Moines, IA

Dinnes, D.L., Karlen, D.L., Jaynes, D.B., Kaspar, T.C., Hatfield, J.L., Colvin, T.S., Cambardella, C.A. (2002): Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained Midwestern soils.

DüngG - Düngegesetz (2009): Düngegesetz vom 9. Januar 2009 (BGBl. I S. 54, 136), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2539) geändert worden ist

http://npl.ly.gov.tw/pdf/6738.pdf

DüV - Düngeverordnung (2007) : Düngeverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 221), die zuletzt durch Artikel 18 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585) geändert worden ist

EG – Europäische Gemeinschaft (2007): Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91

EG – Europäische Gemeinschaft (2008): Verordnung (EG) Nr. 889/2008 der Kommission vom 5. September 2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische / biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen / biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle

EWG (1991): Richtlinie 91/676/EWG des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen. Amtsblatt Nr. L 375 vom 31/12/1991 S. 0001 – 0008

http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31991L0676:DE:HTML

Fier, A., u. Schäfer, W. (2007): Abschätzung von Phosphatausträgen aus Ackerböden in Niedersachsen. - S. 33 - 77; 13 Abb.; 18 Tab. in LBEG - Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (Hrsg.) (2007): Diffuse Nitrat- und Phosphatbelastung - Ergebnisse der Bestandsaufnahme der EUWRRL in Niedersachsen. GeoBerichte 2. Hannover

Fisher, J. and Acreman, M.C. (2004): Wetland nutrient removal: a review of the evidence. Hydrology and Earth System Sciences, 8(4), 673 - 685

Fleming, R. u. Ford, R. (2004): Suitability of using “end of pipe” systems to treat farm tile drainage water. Research report, University of Guelph. Ridgetown, Ontario, Canada

Foerster, P., Scheffer, B., Neuhaus, H. (1985): Dränwassergüte und Nährstoffaustrag im nordwestdeutschen Raum auf Marsch, Moor und Geest. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft Band 136 (1985), p. 497 - 504

Geohring, L.D., McHugh, O.V., Walter, M. T., Steenhuis, T.S., Akhtar, M.S., Walter, M.F. (2001): Phosphorus transport into subsurface drains by macropores after manure applications: implications for best manure management practices.Soil Science, Volume 166, Issue 12 - pp 896-909

Greenan, C.M., Moorman, T.B., Parkin, T.B., Kaspar, T.C., Jaynes, D.B. (2009): Denitrification in wood chip bioreactors at different water flows. J. Environ. Qual. 38:1664–1671 .

Haas, G., Berg, M., Koepke, U. (2002): Nitrate leaching: comparing conventional, integrated and organic agricultural production systems. In: Steenvorden, J., Claessen, F., Willems, J. (eds.) (2002): Intern. Association of Hydrological Sciences, IAHS Publ. no. 273, Oxfordshire, UK, 131-136.

HELCOM - Helsinki Commission (Baltic Marine Environment Protection Commission) (2007): Examples of measures for reducing phosphorus and nitrogen losses from agriculture. Documents adopted by the HELCOM Ministerial Meeting held in Krakow, Poland on 15 November 2007.

http://www.helcom.fi/BSAP/ActionPlan/otherDocs/en_GB/agri_measures/

Henning, K. (2008): Richtwerte für die Düngung - Umsetzung der Düngeverordnung in Schleswig-Holstein. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein

Hienisch, R. (2000): Nährstoffrückhalt mittels Retentionsweihern. UFA-Revue 10/2000, Verlag UFA-Revue, Winterthur; Schweiz

Hoffmann, J., Stein, H. (1988): Speicherung des Bodenwassers durch Dränanstau. Melioration und Landwirtschaftsbau 1/1988: 277-278.

incona (Hrsg.) (2010): Düngefibel. Beratunsinitiative Effiziente Stickstoffdüngung

http://80.254.131.114/solutions/incona/download/duengefiebel_web.pdf

de Vos, J.A., Hesterberg D., Raats, P.A.C. (2000): Nitrate leaching in a tile-drained silt loam Soil. Soil Science Society of America Journal 64:517-527

Jordan, T.E., Whighama, D.F., Hofmockel, K.H., Pittekc, M.A. (2003): Nutrient and sediment removal by a restored wetland receiving agricultural runoff. Journal of Environmental Quality 32: 1534-1547

Kladivko, E.J., Van Scoyoc, G.E., Monke, E.J., Oates, K.M., Pask, W. (1991): Pesticide and nutrient movement into subsurface tile drains on a silt loam soil in Indiana. J Environ Qual 20: 264-270 , Madison

Kladivko, E.J. (2004): Nitrate leaching into tile drains at SEPAC. Purdue Agronomy Extension Publ. AGRY-04-01.

Kolbe, H., Schuster, M., Hänsel, M., Grünbeck, A., Schließer, I., Köhler, A., Karalus, W., Krellig, B., Pommer, R., Arp, B. (2004): Zwischenfrüchte im ökologischen Landbau. Fachmaterial. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft,Fachbereich Pflanzliche Erzeugung, Dresden

Koskiaho, J. (2003): Flow velocity retardation and sediment retention in two constructed wetland-ponds. Ecological Engineering 19(5): 325-337

Koskiaho, J., Ekholm, P., Räty, M., Riihimäki, J., Puustinen, M. (2003): Retaining agricultural nutrients in constructed wetlands - experiences under boreal conditions. Ecological Engineering 20(1): 89-103

Koskiaho, J. (2006): Retention performance and hydraulic design of constructed wetlands treating runoff waters from arable land. Acta Univ. Oul. C 252, Department of Process and Environmental Engineering, University of Oulu, Finland

Kovacic, D.A., David, M.B., Gentry, L.E., Starks, K.M., Cooke, R.A. (2000): Effectiveness of constructed wetlands in reducing nitrogen and phosphorus export from agricultural tile drainage. Journal of Environmental Quality 29 (4): 1262-1274.

Kovacic, D.A., David, M.B., Gentry, L.E., Starks, K.M., Cooke, R.A. (2000): Effectiveness of constructed wetlands in reducing nitrogen and phosphorus export from agricultural tile drainage. Joumal of Environmental Quality, Volume 29, no. 4, July-Aug. 2000. Madison, WI

Kovacic, D.A., Twait, R.M., Wallace, M.P., Bowling, J.M. (2006): Use of created wetlands to improve water quality in the Midwest—Lake Bloomington case study. Ecological Engineering 28 (2006) 258–270

Kröger, R., Holland, M.M., Moore, M.T., Cooper, C.M. (2008): Agricultural drainage ditches mitigate phosphorus loads as a function of hydrological variability. J Environ Qual 2008 37: 107-113

Larson, A.C., Gentry, L.E., David, M.B., Cooke, R.A., Kovacic, D.A. (2000): The role of seepage in constructed wetlands receiving agricultural tile drainage, Ecological Engineering 15 (2000), pp. 91–104.

LBEG - Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (Hrsg.) (2007): Diffuse Nitrat- und Phosphatbelastung - Ergebnisse der Bestandsaufnahme der EUWRRL in Niedersachsen. GeoBerichte 2. Hannover

LfL - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2009): Wirtschaftsdünger und Gewässerschutz - Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern in der Landwirtschaft. Freising-Weihenstephan

LfL - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.) (2007): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. Freising-Weihenstephan

Maschinenring Wetterau: Beispielhafte Grundwasser-schutzmaß-nahmen http://www.mr-wetterau.de/de/proj_allg_Infos.htm

Mehl., D., Steinhäuser, A., Kästner, U., Müller, J. (2009): Regionalisierung der Nährstoffbelastung in Oberflächen-gewäs-sern in Mecklenburg-Vorpommern. Studie im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern

Mewes, M. (2004): Nährstoffausträge in die Ostsee aus diffusen Quellen Mecklenburg-Vorpommerns und Schleswig-Holsteins. Rostocker Meeresbiologische Beiträge 12, S. 89-102, Rostock.

Mitsch, W.J., Day, J.W., Gilliam, J.W., Groffman, P.M., Hey, D.L., Randall, G.W., Wang, N. (2001): Reducing nitrogen loading to the gulf of mexico from the Mississippi River Basin: Strategies to counter a persistent ecological problem

MLR-BW - Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum, Baden-Württemberg (2008): SchALVO-Nitrat-Bericht 2008 - Ergebnisse der Nitratuntersuchungen von Böden aus Wasserschutzgebieten (WSG) im Rahmen der SchALVO-Kontrolle. LTZ Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Karlsruhe

Moore, M.T., Kröger, R., Locke, M.A., Cullum, R.F., Steinriede, R.W., Testa, S., Lizotte, R.E., Bryant, C.T., Cooper C.M., (2010): Nutrient mitigation capacity in Mississippi Delta, USA drainage ditches. Environmental Pollution 158 (2010) 175–184

MRLT-Ministerium für ländlichen Raum, Landesplanung und Tourismus (2000): Leitlinien für eine ordnungsgemäße Landbewirtschaftung in Schleswig-Holstein. Landesregierung Schleswig-Holstein, Kiel

http://www.lwksh.de/cms/fileadmin/user_upload/Downloads/Stickstoffduengung/Leitlinien.pdf

MUNLV NRW - Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2009): Die neue EG-Verordnung Ökologischer Landbau. Eine einführende Erläuterung mit Beispielen, mit dem gesamten Text der neuen Verordnungen und des Ökolandbaugesetzes. 2. Auflage, September 2009

Nguyen, L., Sukias, J. (2002): Phosphorus fractions and retention in drainage ditch sediments receiving surface runoff and subsurface drainage from agricultural catchments in the North Island, New Zealand. Agriculture, Ecosystems and Environment 92 (2002) 49–69

Osterburg, B. u. Runge T. (Hrsg.) (2007): Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen in Gewässer – eine wasserschutzorientierte Landwirtschaft zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 307. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig

Peter, M. u. Miller, R. (2008): Maßnahmen zur Verminderung der diffusen Stickstoffeinträge in das Grundwasser. Bericht zur Aufstellung von Maßnahmenprogrammen im Sinne des Artikels 11 der europäischen Wasserrahmenrichtlinie Bereich Grundwasser zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Hessen, erstellt im Auftrag des Hessischen Landesamts für Umwelt und Geologie

Reinhardt, M., Gächter, R., Wehrli, B., Müller, B. (2005 b): Phosphorous retention in small constructed wetlands treating agricultural drainage water. J. Environ. Qual. 34, 1251-1259, Madison, Wisconsin

Reinhardt, M., Gächter, R., Müller, B. (2005 a): Retentionsweiher reinigen Drainagewasser aus der Landwirtschaft. EAWAG-Jahresbericht 2005, Eidgenössische Anstalt für Wassrversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz der ETH Zürich, Dübendorf, Schweiz

Robertson, W.D., Ptacek, C.J., Brown, S.J. (2009): Rates of nitrate and perchlorate removal in a 5-year-old wood particle reactor treating agricultural drainage.

Ground Water Monitoring und Remediation 29, no. 2/ Spring 2009/ 87–94. National Ground Water Association

Rosner, J., Zwatz, E., Klik, A., Gyuricza, C., (2008): Conservation tillage systems - soil - nutrient - and herbicide loss in Lower Austria and the mycotoxin problem, 15th International Congress of ISCO 18-23 May 2008, Budapest, Published by the Geographical Research Institute, Hungary.

Saunders, D.L. u. Kalff, J. (2001): Nitrogen retention in wetlands, lakes and rivers. Hydrobiologia 443: 205–212. Kluwer Academic Publishers,

Schäfer, W., Höper, H., Müller, U. (2007): Erfassung der diffusen Nitrat-Quellen im Rahmen der Bestandsaufnahme in Niedersachsen. - S. 5 - 32; 7 Abb.; 10 Tab. in LBEG - Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (Hrsg.) (2007): Diffuse Nitrat- und Phosphatbelastung - Ergebnisse der Bestandsaufnahme der EUWRRL in Niedersachsen. GeoBerichte 2. Hannover

Schelde, K., de Jonge, L.W., Kjaergaard, C., Laegdsmand, M., Rubæk, G.H. (2006): Effects of manure application and plowing on transport of colloids and phosphorus to tile drains. Vadose Zone Journal.2006; 5: 445-458

Schipper, L.A., Cameron, S.C., Warneke, S. (2010, im Druck): Nitrate removal from three different effluents using large-scale denitrification beds. Ecol. Eng., im Druck . Elsevier

Schipper, L.A., Robertson, W., Gold, A.J., Jaynes, D.B., Cameron, S.G., (2010, im Druck): Denitrifying bioreactors—an approach for reducing nitrate loads to receiving waters. Ecol. Eng., im Druck . Elsevier

Schmidt, T. u. Osterburg, B. (2008): Vorschlag für ein landesweites Maßnahmenprogramm unter Berücksichtigung der Ergebnisse der lokalen, nationalen und internationalen Diskussionen. Final Report zum Life-Projekt WAgriCo LIFE05 ENV/D/000182 (Deliverable 7.3).

Schröder, J.J., Aarts, H.F.M., van Middelkoop, J.C., de Haan, M.H.A., Schils, R.L.M., Velthof, G.L., Fraters, B., Willems, W.J. (2005): Limits to the use of manure and mineral fertilizer in grass and silage maize production in the Netherlands, with special reference to the EU Nitrates Directive. Report 93. Plant Research International B.V., Wageningen

Schuhmann, M. (2005): Untersuchungen zur Erfassung der Nitratverlagerung und Stickstoffkonservierung während des Winters in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Bodenbedeckung und N-Düngung. Dissertation an der Humboldt-Universität zu Berlin. Berlin

Skaggs, R.W. and Youssef, M.A. (2008): Effect of controlled drainage on water and nitrogen balances in drained lands. Proceedings of the 10th International Drainage Workshop of ICID Working Group on Drainage, Helsinki/Tallin, July 6-11, 2008: 195-208.

Stachowicz, K., Czernoch, M., Dubiel, E. (1994): Field pond as a sink for nutrients migrating from agrocenoses to freshwaters. Aquatic Sciences 56/4, 1994, Birkhäuser Verlag, Basel

Steidl, J., Kalettka, Th., Ehlert, V., Quast, J., Augustin, J. (2008a): Mitigation of pressures on water bodies by nutrient retention from agricultural drainage effluents using purification ponds. In: Proceedings of the 10th International Drainage Workshop of ICID Working Group on Drainage Helsinki, Finland |

Tallinn, Estonia, July 6th - 11th 2008, Helsinki University of Technology, Water Resources Publications, TKK-VTR-16, Espoo, 2008, ISBN 978-951-22-9469-5. pg. 187-194.

Steidl, J., Kalettka, Th., Ehlert, V., Quast, J., Augustin, J. (2008b): Minderung der Gewässerbelastung durch Nährstoffrückhalt aus Dränabflüssen in nachgeschalteten Reinigungsteichen. In: Dränung Nährstoffausträge, Flächenerfassung und Management, DWA-Themen, 2008, S. 96 -102.

Steidl J., Kalettka, Th., Ehlert, V., Augustin, J., Zander, P., Saltzmann, J. (2011): Funktionsnachweise und Bemessungsgrundlagen für naturraumangepasste Anlagen zum Rückhalt von Nährstoffen aus Abflüssen von landwirtschaftlichen Dränsystemen. Schlussbericht zum Forschungsauftrag 514-33.81/04HS039 der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Projektträger Agrarforschung. Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF e.V.) Müncheberg, 103 Seiten.

Stein, H., Quast, J. (1988): Projektierung und Bau von Dränanstausystemen. Melioration und Landwirtschaftsbau 1/1988: 274-276

Strock, J.S. und Everett, L. [Eds.] (2002): Contributed papers from the 1st Agricultural Drainage and Water Quality Field Day 14 August 2002, Lamberton, Minnesota

StMELF u. StMLU – Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1999): Verminderung der Nitratauswaschung. Merkblatt erarbeitet vom Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau. München

http://www.stmelf.bayern.de/landwirtschaft/agraroekologie_umwelt/19705/verminderung_nitratauswaschung.pdf

Sukias, J., Nguyen, L., Nagels, J., Reeves, P. (2003): Drainage ditches as sinks for attenuating N and P pollutants from dairy farms. Proceedings of the 7th IWA International Specialised Conference on Diffuse Pollution and Basin Management, Dublin, Ireland

Tan, C.S., Drury, C.F., Reynolds, W.D., Gaynor, J.D., Zhang, T.Q., Ng, H.Y. (2002): Effect of long-term conventional tillage and no-tillage systems on soil and water quality at the field scale. Water Sci Technol. 2002; Vol. 46 No. 6-7, pp 183-190. Pergamon Press,

Tanner, C.C. Nguyen, M.L., Sukias, J.P.S. (2005): Nutrient removal by a constructed wetland treating subsurface drainage from grazed dairy pasture. Agriculture, Ecosystems and Environment 105, 145–162

TGL (1985): TGL 42812/06, Fachbereichstandard Meliorationen, Bodenwasserregulierung (BWR), Systemgestaltung. Technische Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen der DDR

UBA 2009a: Stickstoffeinträge aus Punkt- und diffusen Quellen in die Flussgebietseinheiten Deutschlands. UBA-Umweltdaten, http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do?ident=18116

UBA 2009b: Phosphoreinträge aus Punkt- und diffusen Quellen in die Flussgebietseinheiten Deutschlands. UBA-Umweltdaten, http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do?ident=18117

UBA 2009c: Hintergrundpapier zu einer multimedialen Stickstoff-Emissionsminderungsstrategie.

UBA 2009d: Stickstoff und Phosphoreinträge aus Punkt- und diffusen Quellen in die Oberflächengewässer in Deutschland. UBA-Umweltdaten, http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do?ident=18115

Venohr, M., Hirt, U., Hofmann, J., Opitz, D., Gericke, A., Wetzig, A., Ortelbach, K., Natho, S., Neumann, F., Hürdler, J. (2009): Das Modellsystem MONERIS, Handbuch Version 2.14.1vba. Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) im Forschungsverbund Berlin e.V., Berlin

Wald, F. (2003): Einfluss der Bearbeitungsintensität beim Umbruch von Luzerne-Kleegras auf die Stickstoffmineralisation zur Folgefrucht Winterweizen im organischen Landbau. Dissertation an der Universität Hohenheim.

Wesström, I. und Messing, I. (2007): Effects of controlled drainage on N and P losses and N dynamics in a loamy sand with spring crops Agricultural Water Management, Volume 87, Issue 3, 16 February 2007, Pages 229-240

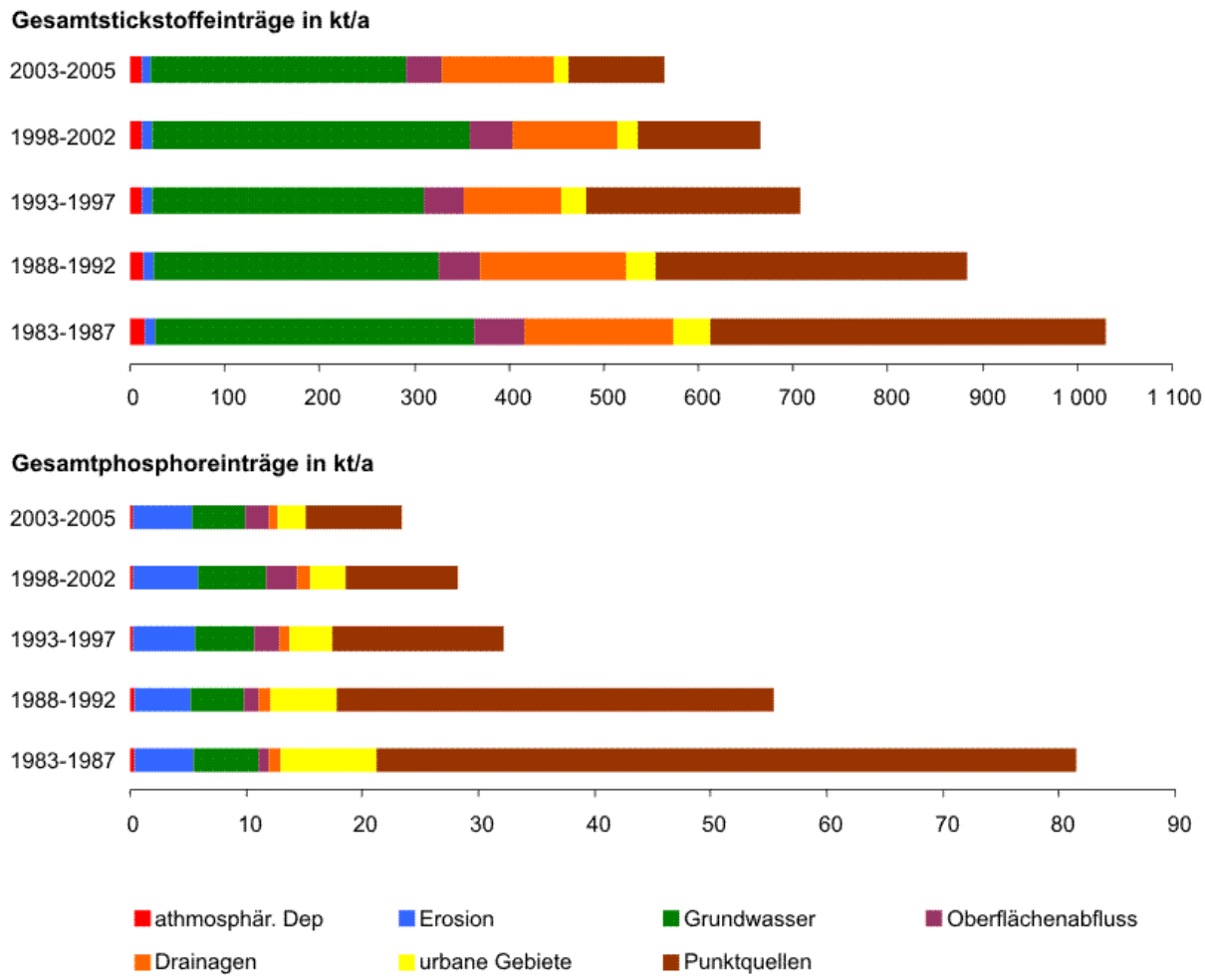
Wilbois, K.P., Szerencsits, M., Hermanowski, R. (2007): Eignung des ökologischen Landbaus zur Minimierung des Nitrataustrags in das Grundwasser Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Frankfurt

Woltemade, C.J. (2000): Ability of restored wetlands to reduce nitrogen and phosphorous concentrations in agricultural drainage water. J. Soil Water Conserv. 55, 303-309

8 Anhang

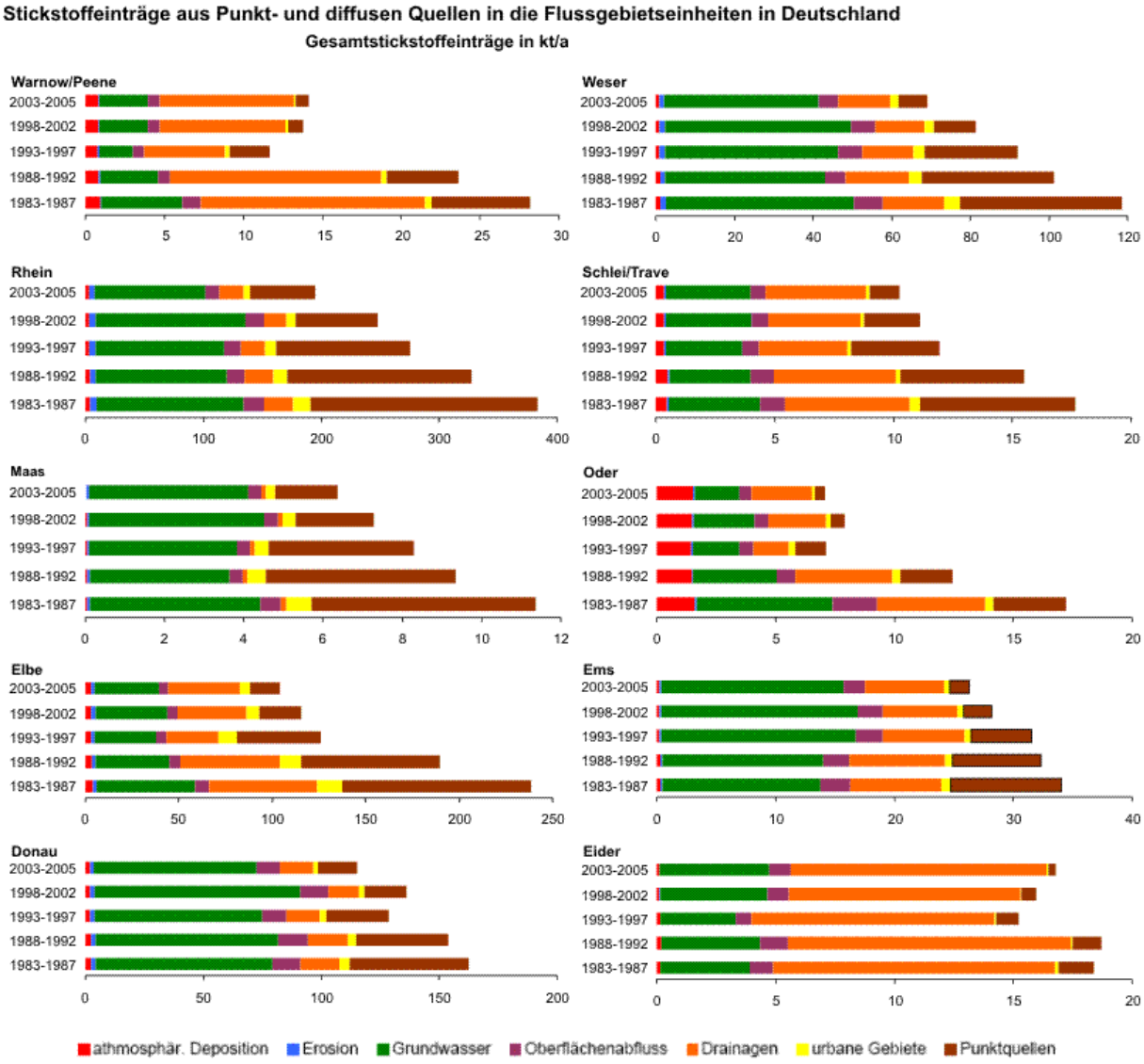
8.1 Daten des Umweltbundesamtes zu Nährstoffeinträgen in Fließgewässer

Stickstoff- und Phosphoreinträge aus Punkt- und diffusen Quellen in die Oberflächengewässer in Deutschland



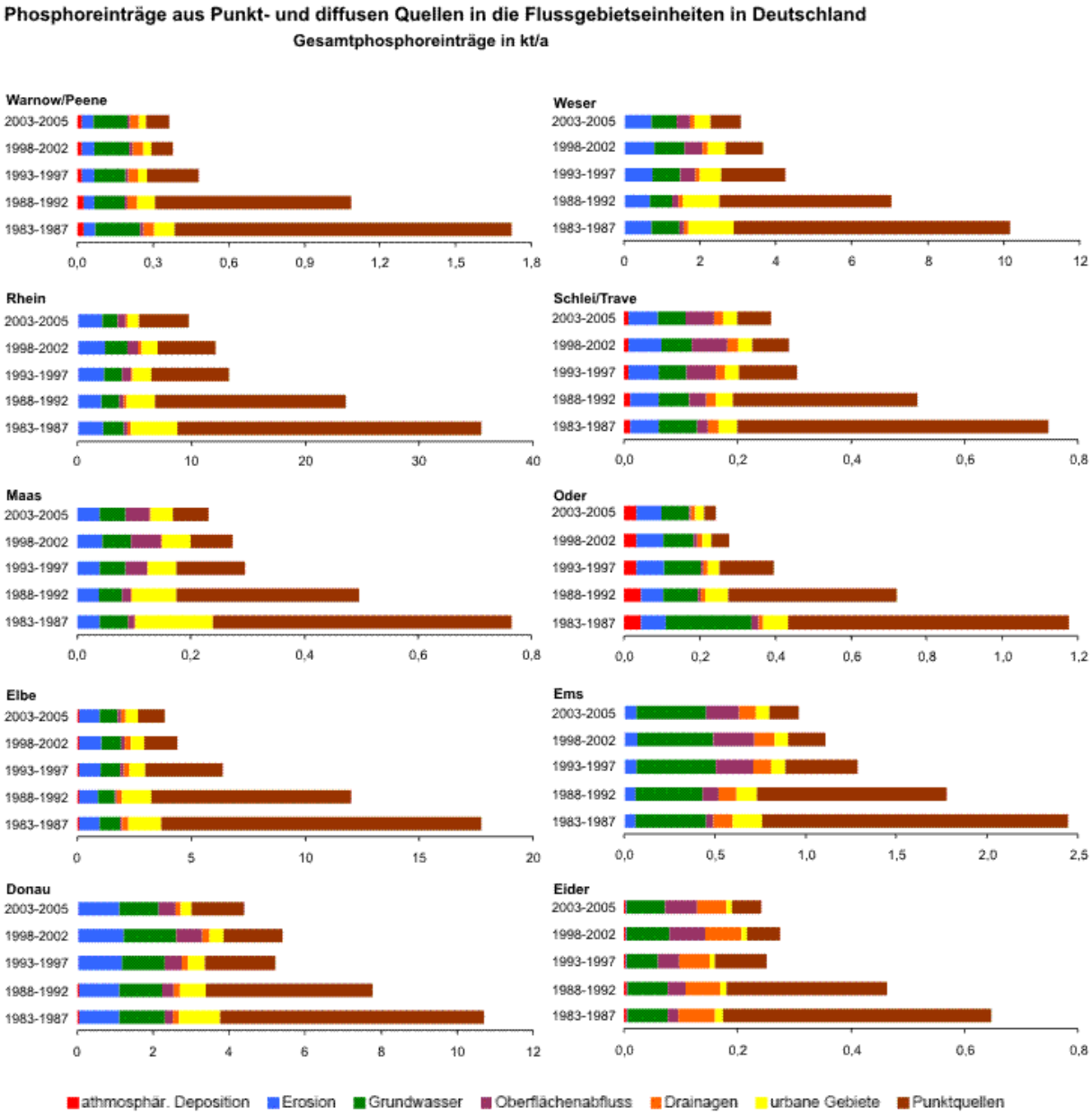
Quelle: Umweltbundesamt 2009

Stickstoff und Phosphoreinträge aus Punkt- und diffusen Quellen in die Oberflächengewässer in Deutschland. (UBA 2009d:)



Quelle: Umweltbundesamt 2009

Stickstoffeinträge aus Punkt- und diffusen Quellen in die Flussgebietseinheiten Deutschlands (UBA 2009a)



Quelle: Umweltbundesamt 2009

Phosphoreinträge aus Punkt- und diffusen Quellen in die Flussgebietseinheiten Deutschlands. (UBA 2009b)

8.2 Gesetze, Verordnungen (Auszüge)

8.2.1 Düngegesetz (Auszug

DüngG - Düngegesetz 2009 http://npl.ly.gov.tw/pdf/6738.pdf Düngegesetz vom 9. Januar 2009 (BGBl. I S. 54, 136), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2539) geändert worden ist

Düngegesetz 2009:

(3) Das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Bundesministerium) wird ermächtigt, im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit durch Rechtsverordnung mit Zustimmung des Bundesrates die Anforderungen der guten fachlichen Praxis im Sinne des Absatzes 2 näher zu bestimmen. In Rechtsverordnungen nach Satz 1 können zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung, insbesondere durch Nitrat, auch Vorschriften erlassen werden über

1.Zeiträume, in denen das Aufbringen bestimmter Düngemittel auf landwirtschaftlichen Flächen verboten ist,

2.flächenbezogene Obergrenzen für das Aufbringen von Nährstoffen aus Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft,

3.das Aufbringen von Düngemitteln auf stark geneigten landwirtschaftlichen Flächen,

4.das Aufbringen von Düngemitteln auf wassergesättigten, überschwemmten, gefrorenen oder schneebedeckten Böden,

5.die Bedingungen für das Aufbringen von Düngemitteln auf landwirtschaftlichen Flächen in der Nähe von Wasserläufen,

6.die Berücksichtigung von beim Weidegang anfallenden sowie durch andere Maßnahmen als der Düngung zugeführten Nährstoffen,

7.die Aufzeichnungen der Anwendung von Düngemitteln,

8.die Technik zum Aufbringen von Düngemitteln sowie

9.die Lagerkapazität für Wirtschaftsdünger.

8.2.2 Nitrat-Richtlinie (Auszug)

Nitrat-Richtlinie Richtlinie 91/676/EWG des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen
http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31991L0676:DE:HTML

Schutz der Gewässer vor Nährstoffeintrag – Nitratrichtlinie, Dünge-Verordnung, Anforderungen bezgl. Phosphat, JGS-Anlagen

jährliche Nährstoffvergleiche für Stickstoff und Phosphat erstellen

Untersuchung des Bodens auf Phosphat bei Schlägen > 1 ha alle 6 Jahre (Acker und Grünland)

Stickstoffmengen im Boden jährlich für jede Kultur ermitteln (z.B. eigene N-Untersuchungen oder NID-Berichte aus dem Wochenblatt oder sonstige Beratungsempfehlungen)

maximal 170 kg/ha Stickstoff aus Wirtschaftsdünger im Betriebsdurchschnitt ausbringen

direkten Eintrag und Abschwemmung von Düngemitteln mit wesentlichen Gehalten an Stickstoff oder Phosphat in Oberflächengewässer vermeiden (ausreichender Abstand, Geländebeschaffenheit, Bodenverhältnisse)

Abstandsregeln für stickstoff- oder phosphathaltige Düngemittel einhalten (1m, 3 m, 10 m bzw. 20 m je nach Maßnahme)

Düngemittel mit wesentlichen Gehalten an Stickstoff oder Phosphat dürfen nur auf aufnahmefähigen Boden ausgebracht werden (nicht: wassergesättigt oder überschwemmt, ganztägig gefroren oder durchgängig mit mehr als 5 cm Schnee bedeckt)

im Herbst darf mit Gülle, Jauche, Geflügelkot und flüssigen N-haltigen Sekundärrohstoffdüngern maximal 40 kg/ha Ammonium-N oder 80 kg/ha Gesamt-N ausgebracht werden und nur bei Bedarf (Zwischenfrüchte, Wintergerste, Winterraps, Getreide-Strohdüngung)

während der Sperrfrist (Ackerland 01.11. - 31.01.; Grünland 15.11. - 31.01.) keine Ausbringung von Düngemitteln mit wesentlichem Gehalt an verfügbarem Stickstoff außer Festmist ohne Geflügelkot

ausreichende Lagerkapazität bei Gülle-, Jauche- und Sickersaftbehältern, sog. JGS-Anlagen (Lagerkapazität ab 01.01.2009 mind. sechs Monate)

standfeste und dauerhaft dichte Behälter

ortsfeste Anlagen für Festmist mit dichter, wasserundurchlässiger Bodenplatte und seitlicher Einfassung

kein Ablaufen oder Überlaufen des Lagergutes und Eintrag in Gewässer oder Kanalisation (gilt auch für Festmistzwischenlager)

8.3 Datenbank

8.3.1 Datenbankstrukturen

Tab. A-1: Datenbank-Tabelle *Measure Description* mit Feldern nach Vorgabe des IGB und in der vom Auftragnehmer modifizierten Version mit hinzugefügtem Feld (gelb hervorgehoben)

Measure Description (IGB)	***Measure Description (ZALF)***
	Author
Measure Name	Measure Name
Measure Goal	Measure Goal
Measure Description	Measure Description
Comments	Comments
Atm. Deposition	Atm. Deposition
Tile Drainage	Tile Drainage
Erosion	Erosion
Ground Water	Ground Water
Point Sources	Point Sources
Urban Sources	Urban Sources
Overland Flow	Overland Flow
Effect Reduction N Leaching	Effect Reduction N Leaching
Effect Reduction N Surplus	Effect Reduction N Surplus
Effect Reduction N Mineralisation	Effect Reduction N Mineralisation
Effect Reduction N Surface Runoff	Effect Reduction N Surface Runoff
Effect Increase Denitrifikation	Effect Increase Denitrifikation
Effect Reduction P Surface Runoff	Effect Reduction P Surface Runoff
Effect Reduction P Surplus	Effect Reduction P Surplus
Effect Reduction P Erosion	Effect Reduction P Erosion
Precipitation Unter 600 mm	Precipitation Unter 600 mm
Precipitation Ueber 600 mm	Precipitation Ueber 600 mm
Landuse_Agriculture	Landuse_Agriculture
Landuse_Grass	Landuse_Grass
Landuse_Arable	Landuse_Arable
Landuse_Wetland	Landuse_Wetland
Landuse_Urban	Landuse_Urban
Soil_Sand	Soil_Sand
Soil_Loam	Soil_Loam
Soil_Clay	Soil_Clay
Soil_Silt	Soil_Silt
Soil_fen	Soil_fen
Soil_bog	Soil_bog
Slope_1	Slope_1
Slope_2	Slope_2
Slope_3	Slope_3
Slope_4	Slope_4
Slope_5	Slope_5

Tab. A-2: Datenbank-Tabelle *Kosten-Nutzen* mit Feldern nach Vorgabe des IGB und in der vom Auftragnehmer modifizierten Version mit hinzugefügtem Feld (gelb hervorgehoben)

Kosten-Nutzen (IGB)	***Kosten-Nutzen (ZALF)***
Hauptgruppe	Autor
Gruppe	Gruppe
Untergruppe	Untergruppe
Measure Name	Measure Description
Cost Description	Cost Description
Cost Min	Cost Min
	Cost Mean
Cost Max	Cost Max
Cost Unit	Cost Unit
N Minderung in Prozent	N Minderung in Prozent(Min)
	N Minderung in Prozent(Mean)
	N Minderung in Prozent (Max)
P Minderung Prozent	P Minderung Prozent(Min)
	P Minderung Prozent(Mean)
	P Minderung Prozent(Max)
N Minderung Klasse	N Minderung Klasse
P Minderung Klasse	P Minderung Klasse
MIN N Saldo Minderung im Boden (kg N/ha)	MIN N Saldo Minderung im Boden (kg N/ha/a)
MEAN N Saldo Minderung im Boden (kg N/ha)	MEAN N Saldo Minderung im Boden (kg N/ha/a)
MAX N Saldo Minderung im Boden (kg N/ha)	MAX N Saldo Minderung im Boden (kg N/ha)
MIN Herbst N Minderung (kg N/ha)	MIN Herbst N Minderung (kg N/ha)
MEAN Herbst N Minderung (kg N/ha)	MEAN Herbst N Minderung (kg N/ha)
MAX Herbst N Minderung (kg N/ha)	MAX Herbst N Minderung (kg N/ha)
MIN N Fracht Minderung (kg N/ha)	MIN N Fracht Minderung (kg N/ha)
MEAN N Fracht Minderung (kg N/ha)	MEAN N Fracht Minderung (kg N/ha)
MAX N Fracht Minderung (kg N/ha)	MAX N Fracht Minderung (kg N/ha)
MIN N Fracht Minderung (kg N/ha)	MIN N Fracht Minderung (kg N/ha)
MEAN N Fracht Minderung (kg N/ha)	MEAN N Fracht Minderung (kg N/ha)
MAX N Fracht Minderung (kg N/ha)	MAX N Fracht Minderung (kg N/ha)
MIN N Saldo Minderung (€ / kg N)	MIN N Saldo Minderung (€ / kg N)
MEAN N Saldo Minderung (€ / kg N)	MEAN N Saldo Minderung (€ / kg N)
MAX N Saldo Minderung (€ / kg N)	MAX N Saldo Minderung (€ / kg N)
MIN Herbst N Minderung (€/kg N)	MIN Herbst N Minderung (€/kg N)
MEAN Herbst N Minderung (€/kg N)	MEAN Herbst N Minderung (€/kg N)
MAX Herbst N Minderung (€/kg N)	MAX Herbst N Minderung (€/kg N)
MIN 'N Fracht Minderung (€/kgN)	MIN N Fracht Minderung (€/kgN)
MEAN 'N Fracht Minderung (€/kgN)	MEAN N Fracht Minderung (€/kgN)
MAX 'N Fracht Minderung (€/kgN)	MAX N Fracht Minderung (€/kgN)
Akzeptanz	Akzeptanz
Prüffähigkeit	Prüffähigkeit
Umsetzbarkeit Maßnahme Verwaltungsaufwand	Umsetzbarkeit Maßnahme Verwaltungsaufwand
Bearbeiter/in	Bearbeiter/in
Datum	Datum

Tab. A-3: Datenbank-Tabelle *Forschungsergebnisse* mit Feldern nach Vorgabe des IGB und in der vom Auftragnehmer modifizierten Version mit hinzugefügtem Feld (gelb hervorgehoben)

Forschungsergebnisse (IGB)	***Forschungsergebnisse (ZALF)***
Measure Name	Measure Name
	Measure Description
Author	Author
Year	Year
ResearchTitle	ResearchTitle
Research Journal	Research Journal
Research Site	Research Site
Research Description	Research Description
Research Duration	Research Duration
Research Methods	Research Methods
Research Results	Research Results

Tab. A-4: Datenbank-Tabelle *Literatur* mit Feldern nach Vorgabe des IGB und in der vom Auftragnehmer übernommenen Version

Literatur (IGB)	***Literatur (ZALF)***
Measure Name	Measure Name
Institution	Institution
Author	Author
Year	Year
Place	Place
Publication	Publication
Volume	Volume
Issue	Issue
Pages	Pages
Bearbeiterin	Hyperlink
Hyperlink	Bearbeiterin

8.3.2 Liste der festgelegten Begriffe zur Attributierung

Tab. A-5: Festgelegte Begriffe zur Attributierung der Datensätze in der Spalte *Measure Name*

Measure Name
Kulturartenauswahl und Fruchtfolgegestaltung
Betriebliche Maßnahmen bei Anfall von Wirtschaftsdünger
Düngemanagement
Umstellung von Ackerbau auf Grünlandnutzung
Zwischenfruchtanbau
Bodenbearbeitung
Ökologischer Landbau
Bedarfsgerechte Steuerung von Dränanlagen
Schaffung von Retentionsräumen
Nutzung von Graben- und Gewässerstrecken
Denitrifizierende Bioreaktoren mit Kohlenstoffquelle

Tab. A-6: Festgelegte Begriffe zur Attributierung der Datensätze in der Spalte *Measure Goal*

Measure Goal
Risikominderung von Nährstoffakkumulationen und deren potentieller Auswaschungsgefährdung
Pflanzenangepassste Düngung
Reduzierung von Nährstoffausträgen besonders in vegationssloser Jahreszeit
Verringerung von Stickstoff- und Phosphorausträgen
Verringerung von Nährstoffüberschüssen
Verringerung von Nährstoffausträgen
Erhalt der Bodenfruchtbarkeit
Wasserstandsregulierung zur Nährstoffreduktion im Dränwasser
Verminderung der Nährstoffeinträge aus Dränanlagen in Gewässer
Nährstoffrückhalt
Minderung von Stickstoffgehalten

Tab. A-7: Festgelegte Begriffe zur Attributierung der Datensätze in der Spalte *Measure Description*

Measure Description
Verkürzung vegetationsloser Zeiten durch Zwischenfruchtanbau und wechselnder Anbau von flach- und tiefwurzelnden Kulturen
exakte Kenntnis der Nährstoffgehalte der Wirtschaftsdünger; Einhaltung neuen Düngeverordnung (DüV 2007) bzgl. Lagerung
zeitnahe bedarfsgerechte Düngung
Nutzungsänderung zu Beweidung bzw. Grasschnitt
Verkürzung vegetationsloser Zeiten durch Zwischenfruchtanbau
Zerstörung der Makroporen durch pflügen; aber..
weite Fruchtfolgen, reduzierte BB, kein Mineraldüngereinsatz
Einstellung eines hohen Grundwasserstandes bei tiefer liegender Dränung
Einrichten verschiedener Typen und Formen von Retentionsräumen; Nutzung organischer und anorganischer Prozessabläufe
Stoffrückhalt in Gräben abhängig von Vegetation, von Sedimenteigenschaften und chemischen Bedingungen sowie der Dauer der Kontaktzeit
Abbau Nitrat-Stickstoff durch Denitrifikation (denitrifying bioreactor“)