



NITROLIMIT

Stickstofflimitation in Binnengewässern

Ist Stickstoffreduktion ökologisch sinnvoll
und wirtschaftlich vertretbar?

Positionspapier

Ergebnisse, Schlussfolgerungen,
Empfehlungen

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Impressum

Herausgeber:

Projekt NITROLIMIT
Claudia Wiedner, Jeanette Schlieff
c/o Brandenburgische Technische
Universität Cottbus - Senftenberg
Lehrstuhl Gewässerschutz
Forschungsstelle Bad Saarow
Seestraße 45
15526 Bad Saarow

Kontakt:

info@nitrolimit.de

Bildnachweise:

Sämtliche Bilder, wenn nicht anders am Ende des Kapitels vermerkt, von C. Wiedner, S. Barkhoff, A. Matzinger, J. Rücker und I. Henschke. Alle anderen Abbildungen: Copyright bei den Autoren.

Zitiervorschlag:

Wiedner, C. und Schlieff, J. (Hrsg.) (2016):
Positionspapier des Projekts NITROLIMIT –
Stickstofflimitation in Binnengewässern –
Ist Stickstoffreduktion ökologisch sinnvoll
und wirtschaftlich vertretbar?
Bad Saarow. 48 Seiten.

Weitere Informationen finden Sie unter: www.nitrolimit.de

NITROLIMIT Positionspapier

Das Positionspapier stellt die wichtigsten Ergebnisse des NITROLIMIT Projekts für Fachkollegen aus Wissenschaft und Praxis sowie für alle, die sich für Gewässerökologie interessieren, kompakt zusammen. Aufgrund der Kürze können nicht alle Teilergebnisse, methodischen Details oder ein kompletter Literaturüberblick gegeben werden. Eine ausführliche Darstellung aller Teilstudien ist jedoch in den Abschlussberichten von NITROLIMIT I und NITROLIMIT II zu finden. Zudem wurden ausgewählte Ergebnisse in Form von Diskussionspapieren und wissenschaftlichen Publikationen bereits veröffentlicht. Eine komplette Publikationsliste ist ab Seite 44 zu finden.

Die Verantwortung für den Inhalt der einzelnen Kapitel des Positionspapiers liegt bei den Autoren.



NITROLIMIT

Stickstofflimitation in Binnengewässern – Ist Stickstoffreduktion ökologisch sinnvoll und wirtschaftlich vertretbar?

Projektförderung:

NITROLIMIT wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenprogramm „Forschung für Nachhaltige Entwicklungen“ (FONA) im Schwerpunkt „Nachhaltiges Wassermanagement“ (NaWaM) gefördert.

Förderkennzeichen: 033L041 A-G (NITROLIMIT I), 0033W015A-N (NITROLIMIT II)

Laufzeit: 01.09.2010 bis 31.08.2013 (NITROLIMIT I),
01.05.2014 bis 31.10.2016 (NITROLIMIT II)

Projektbegleitung: Projektträgerschaft Ressourcen und Nachhaltigkeit/Projektträger Jülich

Projektpartner:



Brandenburgische Technische
Universität Cottbus - Senftenberg



Bundesanstalt für
Gewässerkunde



Kompetenzzentrum Wasser
Berlin gGmbH



Leibniz-Institut für Gewässer-
ökologie und Binnenfischerei



Technische Universität Berlin



Technische Universität Dresden

NITROLIMIT wird von weiteren Partnern unterstützt:

- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (SenStadtUm) Berlin
- Berliner Wasserbetriebe (BWB)
- Landesamt für Umwelt des Landes Brandenburg (LfU)
- Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern (MLUV)
- Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR)
- Naturparkverwaltung Dahme-Heideseen (NP-DH)

NITROLIMIT I wurde von einem wissenschaftlichen Beirat beraten, der sich zu gleichen Teilen aus Wissenschaftlern und Interessenvertretern aus dem Bereich der Gewässerbewirtschaftung zusammensetzte.



Inhalt

Hintergrund und Ziele von NITROLIMIT	4
Ergebnisse	5
1. Ist Stickstoffreduktion ökologisch sinnvoll?	5
1.1 Einfluss von Stickstoff und Phosphor auf den ökologischen Zustand von Seen	6
1.2 Stickstoffeinträge durch Cyanobakterien	10
1.3 Einfluss von Nitrat auf die Phosphorrücklösung aus dem Sediment	14
1.4 Stickstoffumsatz in Fließgewässern	18
2. Ist Stickstoffreduktion wirtschaftlich vertretbar?	22
2.1 Kosten und Nutzen des guten ökologischen Zustandes am Beispiel der Berliner Unterhavel	24
2.2 Die Bedeutung von Gewässern für Freizeit und Erholung	28
2.4 Nährstoffreduktionspotenzial, Beispiel Storkower Seenkette	34
2.5 Akzeptanz von Agrarumweltmaßnahmen bei Landwirten	38
Fazit und Empfehlungen	42
Publikationen aus NITROLIMIT	44
Danksagung	48





Hintergrund und Ziele von NITROLIMIT

Claudia Wiedner und Jeanette Schlie

Der Großteil von Seen und Flüssen in Deutschland befindet sich nicht in dem von der europäischen Wasserrahmenrichtlinie geforderten guten ökologischen Zustand. Die Ursache hierfür besteht in den meisten Gewässern nach wie vor in zu hohen Nährstoffbelastungen. Dadurch wird besonders im Sommer das Wachstum des Phytoplanktons (Algen) gefördert, das Wasser wird trübe, zeitweise sauerstoffarm und riecht unangenehm. Solche Gewässer stellen für viele Tiere und Pflanzen keinen geeigneten Lebensraum dar und sind für den Menschen unattraktiv.

Die Hauptnährstoffe, um die es dabei geht, sind Stickstoff und Phosphor. Dabei galt Phosphor (P) lange Zeit als der begrenzende Faktor der Phytoplanktonbiomasse in Binnengewässern: Je geringer die P-Konzentration desto geringer die Biomasse und desto besser die Gewässergüte. Dies ist bis heute Lehrbuchmeinung. In der Praxis wurde und wird daher auf eine Senkung der Phosphorkonzentrationen gesetzt, was in vielen aber längst nicht allen Gewässern zum Erfolg führte. Deutlich weniger Studien zeigten, dass Stickstoff die Phytoplanktonbiomasse begrenzt, was allerdings auch darauf zurückzuführen ist, dass deutlich weniger Studien zum Einfluss von Stickstoff durchgeführt wurden. Eine systematische Analyse zur Bedeutung von Phosphor im Vergleich zu Stickstoff fehlte bisher. Bis heute wird daher die Bedeutung von Stickstoff als begrenzender Faktor der Phytoplanktonbiomasse weitgehend negiert. In der Praxis wird bislang die gezielte Reduktion von Stickstoffeinträgen abgelehnt, weil man befürchtet, dass dies besonders in Seen durch Stickstofffixierung von Cyanobakterien ausgeglichen werden kann und sinkende Nitratkonzentrationen die Freisetzung von Phosphor aus den Gewässersedimenten steigern. Beides könnte einer Verbesserung der Gewässergüte entgegenwirken. Für diese Argumente fehlte jedoch eine fundierte wissenschaftliche Grundlage. Stickstoff wird sowohl in Seen als auch in Fließgewässern intensiv umgesetzt und kann über verschiedene mikrobielle Umsatzprozesse (insbesondere Denitrifikation) auch wieder aus dem System entfernt werden. Fließgewässer transportieren schließlich die nicht zurückgehaltenen Nährstoffe aus den Einzugsgebieten in die Ästuare, Küstengewässer und Meere, wo in weiten Bereichen Stickstoff der limitierende Nährstoff ist. Über den Umsatz und den Rückhalt von Stickstoff in großen Flüssen bestehen bis heute allerdings große Unsicherheiten. Zur Beantwortung der Frage „Ist Stickstoffreduktion ökologisch sinnvoll?“ bestand daher umfangreicher Forschungsbedarf.

Die bisherige Strategie zur Verbesserung der Gewässergüte zielte auf Minderung der Phosphorkonzentration ab. Hierzu existieren Erfahrungswerte zu Wirkung und Kosten von Maßnahmen. Viele Maßnahmen zur Phosphorreduktion gehen zu einem gewissen Teil auch mit Stickstoffreduktion einher. Der Erfolg der Begleiterscheinung „Stickstoffreduktion“ wurde jedoch meist nicht analysiert. Fallstudien zur Verbesserung der Gewässergüte durch gezielte Stickstoffminderung wurden bisher nicht durchgeführt, weshalb Daten und Erfahrungen zu Kosten und Wirksamkeit solcher Maßnahmen fehlen. Unabhängig davon, ob eine Verbesserung der Gewässergüte über Phosphor- oder Stickstoffreduktion ange-

strebt wurde, fehlte bisher eine Strategie, nach der im Voraus Kosten, Wirksamkeit und Nutzen ermittelt und abgewogen werden. Daher bestand auch zur Beantwortung der Frage, „Ist Stickstoffreduktion wirtschaftlich vertretbar?“ deutlicher Forschungsbedarf.

Das Projekt hat sich daher folgende Ziele gesetzt:

- Eine wissenschaftliche Grundlage zur Beurteilung des Einflusses von Stickstoff im Vergleich zu Phosphor auf den ökologischen Zustand von Binnengewässern zu schaffen.
- Möglichkeiten, Kosten, Nutzen und Akzeptanz von Stickstoffreduktionsmaßnahmen abzuschätzen.
- Basierend auf Ergebnissen der ersten beiden Punkte Empfehlungen für eine nachhaltige Gewässerbewirtschaftung zu erarbeiten.



Ergebnisse

1. Ist Stickstoffreduktion ökologisch sinnvoll?

Stickstoffreduktion ist dann ökologisch sinnvoll, wenn dies zu einer Verbesserung des ökologischen Zustandes von Gewässern führt. Um dies zu klären, galt es Wissenslücken in folgenden Bereichen zu schließen:

Zum Einfluss von Stickstoff im Vergleich zu Phosphor auf die Biomasse des Phytoplanktons: Kann durch Senkung der Stickstoffkonzentrationen in Gewässern auch die Biomasse des Phytoplanktons gemindert und die Gewässergüte verbessert werden? Antworten hierauf werden in Kapitel 1.1 gegeben.

Zu möglichen Folgen der Senkung von Stickstoffkonzentrationen auf gewässerinterne Prozesse: Können Cyanobakterien durch Bindung von gasförmigem Stickstoff aus der Luft eine Minderung der Stickstoffkonzentration ausgleichen und somit kostenintensiven Maßnahmen zur Reduktion von Stickstoffeinträgen entgegenwirken? Ergebnisse zur Beantwortung dieser Fragen werden Kapitel 1.2 vorgestellt. In welchem Umfang beeinflusst die Nitratkonzentration im Vergleich zu anderen Einflussgrößen die Bindung von Phosphor in Seesedimenten? Dies wird in Kapitel 1.3 beantwortet.

Zu Rückhalt und Entfernung von Stickstoff in Fließgewässern: Welche Rolle spielen flussinterne Umsatzprozesse für die Verringerung der Stickstoffüberschüsse aus dem Binnenland? Ergebnisse in Kapitel 1.4 zum Stickstoffumsatz in einem großen Fluss geben hierauf Antworten.



1.1 Einfluss von Stickstoff und Phosphor auf den ökologischen Zustand von Seen

Claudia Wiedner und Andrew M. Dolman

Hintergrund und Ziele

Phytoplankter (Algen) sind ein wichtiger Bioindikator zur Ermittlung des ökologischen Zustandes nach der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL). Vereinfacht kann man sagen, je geringer die Biomasse des Phytoplanktons, desto besser ist der ökologische Zustand von Gewässern. Die Begrenzung der Biomasse ist daher ein primäres Ziel bei der Umsetzung der EU-WRRL. Erreicht werden kann dies durch Minderung der Hauptnährstoffe Stickstoff (N) und Phosphor (P). Dabei ist es wichtig zu wissen, an welchem der beiden Nährstoffe es dem Phytoplankton mangelt. Wie eingangs dargestellt, galt Phosphor lange Zeit als der begrenzende Nährstoff der Biomasse. Durch Minderung der P-Konzentration wurde in einigen aber längst nicht allen Gewässern der ökologische Zustand verbessert. Allerdings gab es auch einige Studien, die zeigten, dass Stickstoff die Biomasse des Phytoplanktons begrenzen kann. Eine systematische Analyse zur Bedeutung von Phosphor im Vergleich zu Stickstoff fehlte bisher.

Die Ziele dieser Teilstudie bestanden daher in:

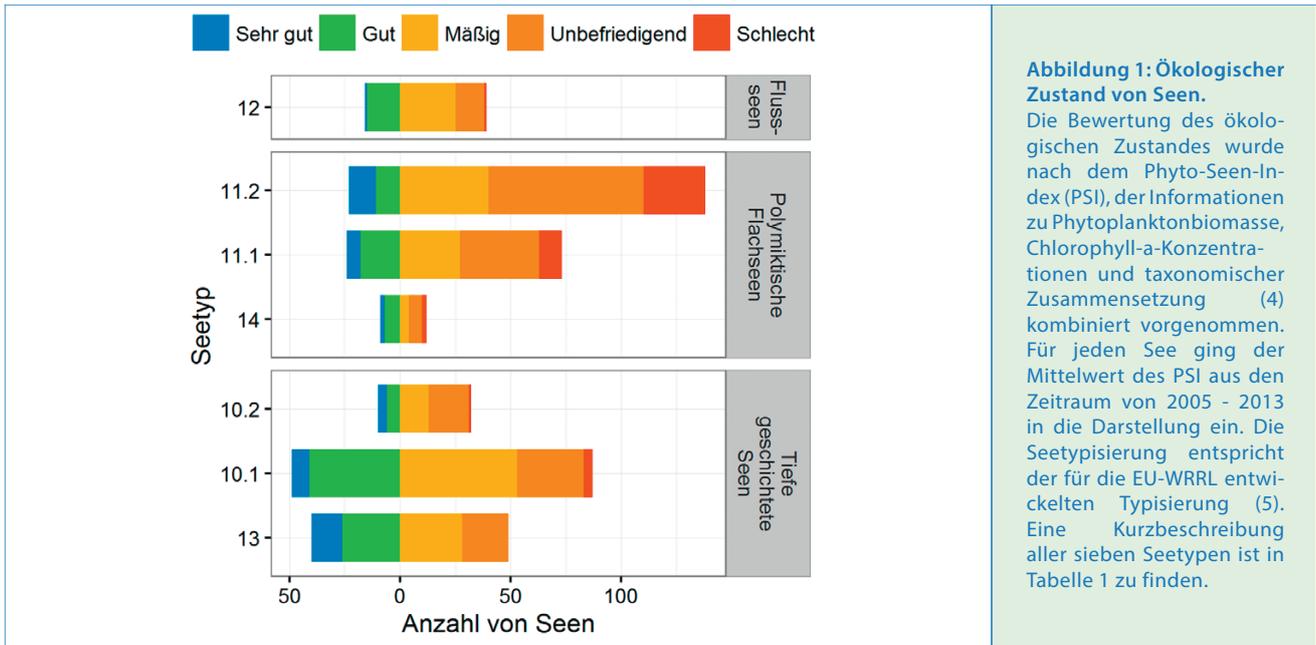
- der Ermittlung des Einflusses von Stickstoff im Vergleich zu Phosphor auf die Phytoplanktonbiomasse
- der Ableitung von Zielwerten für die Konzentration von Stickstoff und Phosphor, ab denen zu erwarten ist, dass sich der gute ökologische Zustand einstellt.

Hierfür wurden Daten des Gewässermonitorings der Länder zu natürlichen Seen der Norddeutschen Tiefebene in einer Datenbank (NDB-Seen) vereint und analysiert.

Ergebnisse

In die Auswertung gingen insgesamt 6234 Datensätze von 482 Seen aus den Jahren 2005 -2013 ein. Der größte Teil dieser Seen befindet sich nach wie vor in einem mäßigen bis schlechten ökologischen Zustand (Abb. 1). Es besteht daher weiterhin deutlicher Handlungsbedarf zur Umsetzung der EU-WRRL, die für alle Gewässer den guten ökologischen Zustand fordert. Dies trifft vor allem für die Gruppe von Flachseen (besonders Typ 11.2) zu, die zahlenmäßig in der Region den größten Anteil darstellen.

Für die Beantwortung der Frage, ob die Biomasse des Phytoplanktons durch Stickstoff oder Phosphor begrenzt (limitiert) wird, wurde das Verhältnis von N zu P herangezogen. Denn Phytoplankter bestehen wie alle Lebewesen aus N und P in einem bestimmten Verhältnis. Nimmt der relative Teil von N oder P ab, zeigt dies N- bzw. P-Mangel auf.



Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass auch Stickstoff ein begrenzender Faktor der Phytoplanktonbiomasse ist (Abb. 2). Dies ist besonders bei Flachseen und Flusseen während der Sommermonate der Fall. In solchen Gewässern könnte eine Minderung der Stickstoffkonzentration daher zu einer Verbesserung des ökologischen Zustandes führen. In den tiefen geschichteten Seen überwiegt dagegen der Anteil von Seen, in denen Phosphor die Biomasse begrenzt. Hier wäre bei den meisten Seen also eine Minderung der P-Konzentration zielführend (1). Diese seetypspezifischen und saisonalen Muster zum Einfluss von Stickstoff und Phosphor wurden für ausgewählte Seen, dem Scharmützelsee (Typ 13), dem Müggelsee (Typ 11.1), dem Langen See (Typ 11.2) und der Berliner Unterhavel (Typ 12), auch durch Analyse von Langzeitdaten und durch Experimente geprüft und bestätigt (2; 3).

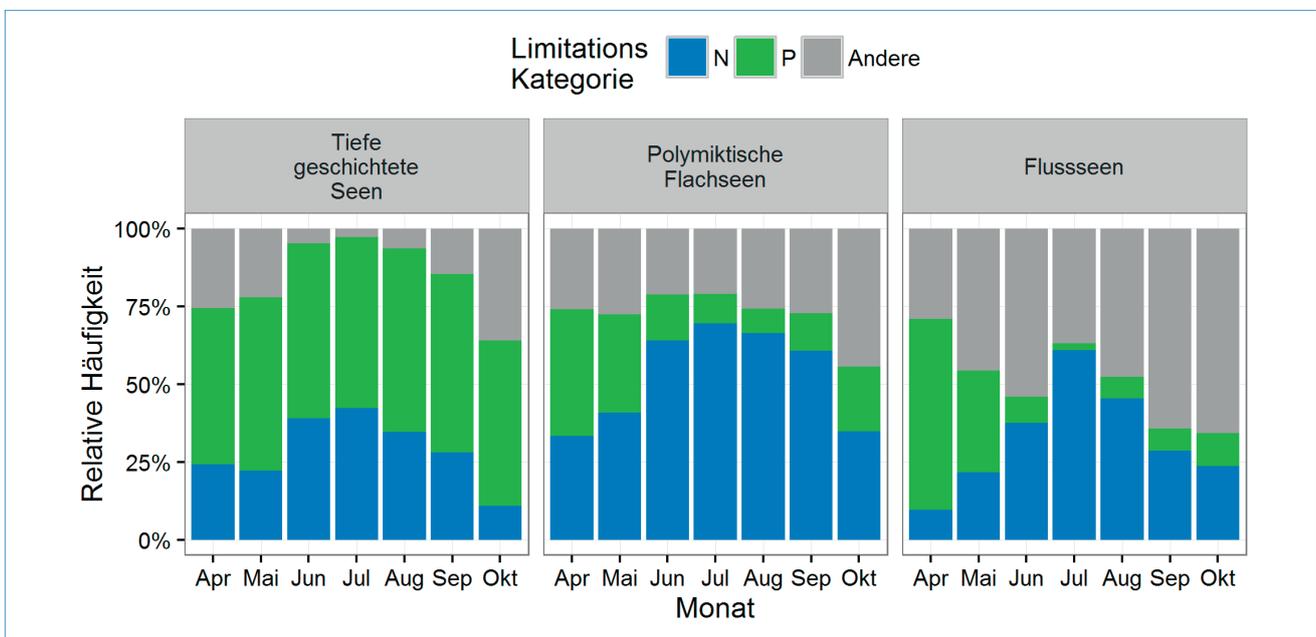


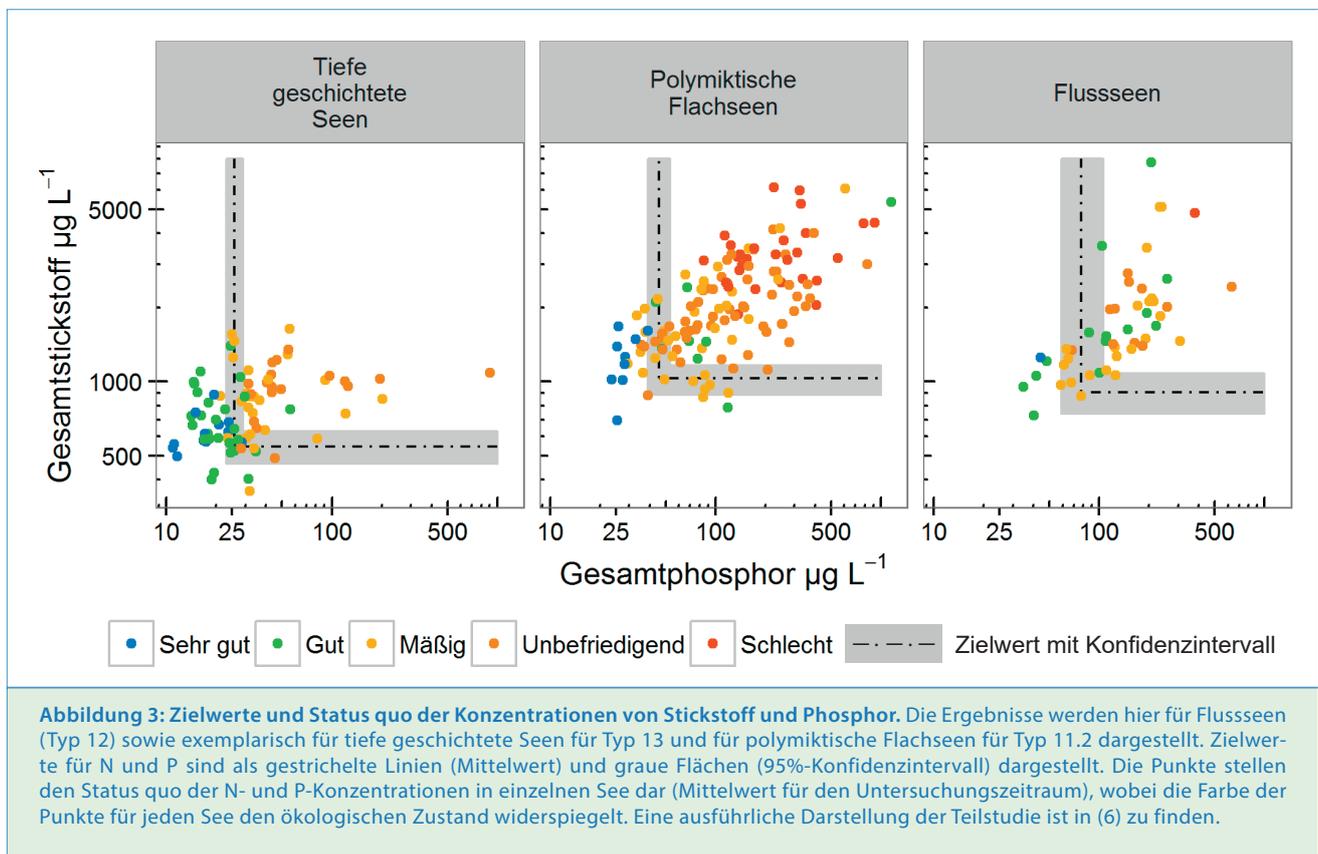
Abbildung 2: Seetypspezifische und saisonale Limitation der Phytoplanktonbiomasse.

Die Ergebnisse werden hier für Flusseen (Typ 12) sowie exemplarisch für tiefe geschichtete Seen für Typ 13 und für polymiktische Flachseen für Typ 11.2 dargestellt. Die Unterscheidung von N- und P-Limitation erfolgte anhand des Verhältnisses der Konzentrationen von DIN: TP. Dies sind die gelösten anorganischen N-Verbindungen (DIN: Ammonium und Nitrat) und Gesamtphosphor (TP). Bei einem DIN: TP Verhältnis kleiner 1,6 liegt N-Limitation vor, bei DIN: TP größer 1,6 liegt P-Limitation vor. Wenn die Konzentrationen der für das Phytoplankton verfügbaren Verbindungen von Phosphor (Ortho-Phosphat) und von Stickstoff (Ammonium und Nitrat) Werte von 25 µg bzw. von 140 µg pro Liter überschritten, sind diese im Überfluss vorhanden und die Biomasse wird von anderen Faktoren begrenzt. Eine ausführliche Darstellung dieser Teilstudie ist in (1) zu finden.

Zielwerte für Konzentrationen von Stickstoff und Phosphor wurden für einen Phyto-Seen-Index-Wert von 2,5, der auf der Skala des ökologischen Zustandes den Übergang zwischen "moderat" und "gut" markiert, berechnet (Tab.1). Der Vergleich dieser Zielwerte mit dem Status quo der N- und P-Konzentrationen (Abb. 3) zeigt, dass zum Erreichen des guten ökologischen Zustandes in den meisten Seen noch deutliche Anstrengungen bei der Reduktion von Stickstoff und Phosphor unternommen werden müssen (6).

Tabelle 1: Seetypen und Zielwerte. Die Beschreibung der Seetypen orientiert sich an (5). VQ = Volumenquotient (Größe des Einzugsgebietes (km²) in Relation zum Seevolumen (m³)). Die Zielwerte wurden für einen Phyto-See-Index Wert von 2,5, der die obere Grenze der Zustandsklasse „gut“ markiert, ermittelt. Aufgelistet sind Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervall (in Klammern).

Seetyp		Zielwerte	
Nr.	Beschreibung	Stickstoff (TN µg L ⁻¹)	Phosphor (TP µg L ⁻¹)
10.1	Dimiktisch; 1,5 < VQ < 15	650 (568 - 731)	29 (26 - 32)
10.2	Dimiktisch; VQ > 15	610 (489 - 759)	32 (27 - 38)
11.1	Polymiktisch; mittl. Tiefe ≥ 3m	680 (564 - 795)	43 (38 - 49)
11.2	Polymiktisch; mittl. Tiefe < 3m	1030 (893 - 1153)	46 (39 - 53)
12	Flusseen	900 (738 - 1084)	78 (56 - 109)
13	Dimiktisch; VQ ≤ 1,5	550 (464 - 631)	26 (23 - 29)
14	Polymiktisch; VQ ≤ 1,5	660 (496 - 834)	43 (32 - 60)



Schlussfolgerungen

Die Studie hat deutlich belegt, dass nicht nur Phosphor, sondern auch Stickstoff eine relevante Steuergröße des Phytoplanktons und damit des ökologischen Zustandes darstellt.

Daher empfehlen wir, zur Umsetzung der EU-WRRL zukünftig neben den Strategien zur Reduktion von P-Einträgen zusätzlich Strategien zur Reduktion von N-Einträgen zu entwickeln und umzusetzen. Gerade für die große Anzahl von Flachseen (Typ 11.2), die sich in einem mäßigen bis schlechten ökologischen Zustand befinden, ist zu erwarten, dass durch Minderung der gewässerinternen Stickstoffkonzentration eine Verbesserung des Zustandes herbeigeführt werden kann.



Quellen und Literatur

- (1) Dolman, A. M., Mischke, U., & Wiedner, C. (2016): Lake-type-specific seasonal patterns of nutrient limitation in German lakes, with target nitrogen and phosphorus concentrations for good ecological status. *Freshwater Biology* 61: 444-456.
- (2) Kolzau, S., Wiedner, C., Rücker, J., Köhler, J., Köhler, A. & Dolman, A. M. (2014): Seasonal patterns of nitrogen and phosphorus limitation in four German lakes and the predictability of limitation status from ambient nutrient concentrations. *PLoS ONE* 9: 1-14.
- (3) NITROLIMIT (2014): Stickstofflimitation in Binnengewässern - Ist Stickstoffreduktion ökologisch sinnvoll und wirtschaftlich vertretbar? Abschlussbericht NITROLIMIT I. 208 S.
- (4) Mischke, U., Riedmüller, U., Hoehn, E. & Nixdorf, B. (2014): Handbuch Phyto-See-Index: Verfahrensbeschreibung für die Bewertung von Seen. *PhytoSee 6.0* (<http://www.igb-berlin.de/datenbanken.html>).
- (5) Mathes, J., Plambeck, G. & Schaumburg, J. (2002): Das Typisierungssystem für stehende Gewässer in Deutschland mit Wasserflächen ab 0,5 km² zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. In: Nixdorf, B. & Deneke, R. (Hrsg.). *Ansätze und Probleme bei der Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie*. BTUC-AR 5/2002, BTU Cottbus: 15-24.
- (6) Dolman, A. M. & Wiedner, C. (2015): Predicting phytoplankton biomass and estimating critical N:P ratios with piecewise models that conform to Liebig's law of the minimum. *Freshwater Biology* 60: 686-697.



1.2 Stickstoffeinträge durch Cyanobakterien

Claudia Wiedner, Andrew M. Dolman, Jacqueline Rücker, Sebastian Kolzau, Tom Shatwell, Jan Köhler, Björn Grüneberg, und Brigitte Nixdorf

Hintergrund und Ziele

Wie alle Lebewesen benötigen Phytoplankter Stickstoff zum Aufbau von Biomasse. Die meisten Arten sind dabei auf anorganische Verbindungen wie Ammonium (NH_4) oder Nitrat (NO_3), die im Sommer häufig knapp werden, angewiesen. Doch einige können auch gasförmigen molekularen Stickstoff (N_2), der stets im Überfluss vorhanden ist, verwenden. Dazu gehört eine Gruppe von Cyanobakterien, die Nostocales. Sie können spezialisierte Zellen, Heterocyten, ausbilden, in denen sie N_2 in organische Stickstoffverbindungen umwandeln. Diese N_2 -Fixierung ist eine enzymatische Reaktion, die dem Haber-Bosch-Verfahren gleicht, bei dem N_2 auf chemische Weise in pflanzenverfügbare Stickstoffverbindungen umgesetzt wird.

Es ist eine weit verbreitete Annahme, dass Nostocales bei Mangel von Ammonium und Nitrat auf N_2 -Fixierung umsteigen, durch diesen Konkurrenzvorteil innerhalb der Phytoplanktongemeinschaft zur Dominanz gelangen und in bedeutendem Maße zum Eintrag von Stickstoff in Gewässer beitragen. So würden sie kostenintensiven Maßnahmen zur Reduktion von Stickstoffeinträgen entgegenwirken. Unbestritten ist, dass Nostocales N_2 fixieren können. Für alle weiteren Annahmen fehlt jedoch eine fundierte wissenschaftliche Grundlage. Ziel dieser Teilstudie war es daher, folgende Fragen aufzuklären:

- Wie hoch ist die Biomasse von Nostocales in verschiedenen Seetypen im saisonalen Verlauf und wieviel N_2 können Nostocales fixieren?
- Wie hoch ist der N-Eintrag durch N_2 -Fixierung von Nostocales im Vergleich zu anderen N-Einträgen?
- In welchem Umfang können Nostocales eine Minderung der gewässerinternen N-Konzentration durch N_2 -Fixierung kompensieren?
- Wie wirkt sich eine Minderung der N-Konzentration langfristig auf die Entwicklung von Nostocales aus?

Ergebnisse

Zur Klärung der Frage, welche Biomasse Nostocales erreichen können, wurde die NITROLIMIT Datenbank Seen (siehe 1.1) ausgewertet. Dies ergab, dass die höchste Biomasse von Nostocales im Sommer in Flachseen erreicht wird (Abb. 1). Im Durchschnitt ist die Biomasse von Nostocales jedoch in allen Seetypen im gesamten Jahresverlauf stets geringer im Vergleich zu anderen Cyanobakterien und anderen Phytoplanktongruppen. Auch wenn hier Ausnahmen aufgrund der

Variabilität im Biovolumen in einzelnen Seetypen möglich sind (1), bleibt festzustellen, dass Nostocales nicht oder nur selten zur Dominanz gelangen.

Der Eintrag von Stickstoff durch Nostocales wurde anhand ihrer Biomasse in verschiedenen Seetypen und der N₂-Fixierung pro Biomasse geschätzt. Für letzteres wurden eigene Messungen und Literaturdaten berücksichtigt (1). Danach ist der höchste N-Eintrag durch N₂-Fixierung in Flachseen und Flusseen (Abb. 2), die auch die höchste Biomasse von Nostocales aufweisen (Abb. 1), zu erwarten. Der Anteil der N₂-Fixierung an den gesamten N-Einträgen variiert jedoch in Abhängigkeit von Größe und Nutzung des Sees und seines Einzugsgebietes.

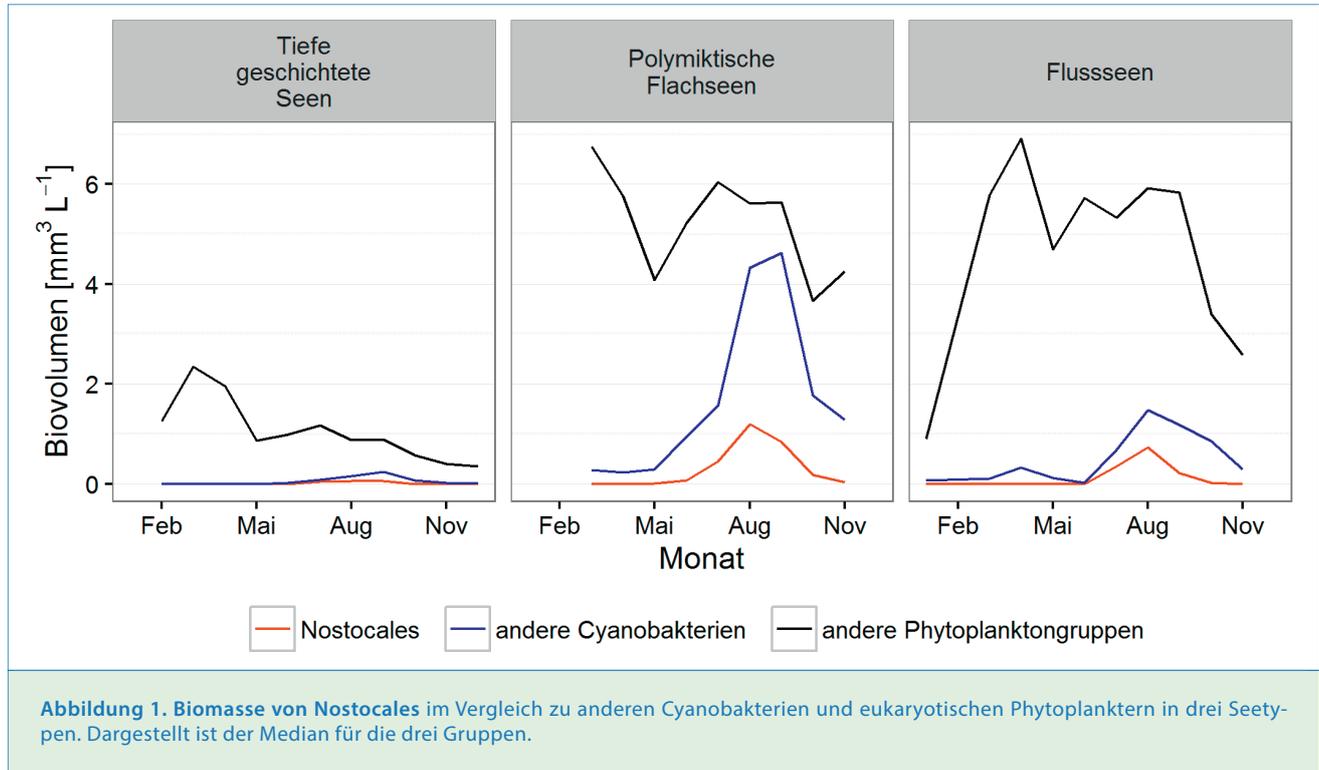


Abbildung 1. Biomasse von Nostocales im Vergleich zu anderen Cyanobakterien und eukaryotischen Phytoplanktern in drei Seetypen. Dargestellt ist der Median für die drei Gruppen.

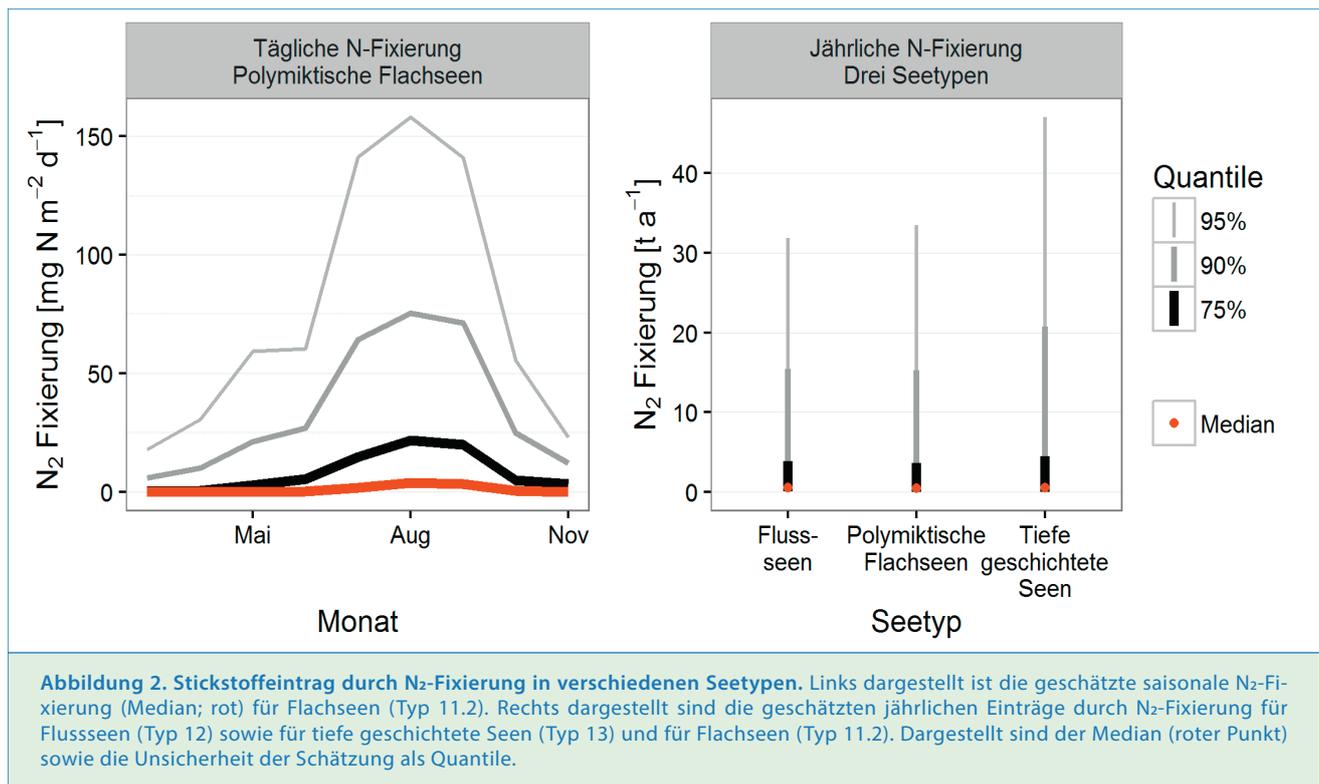
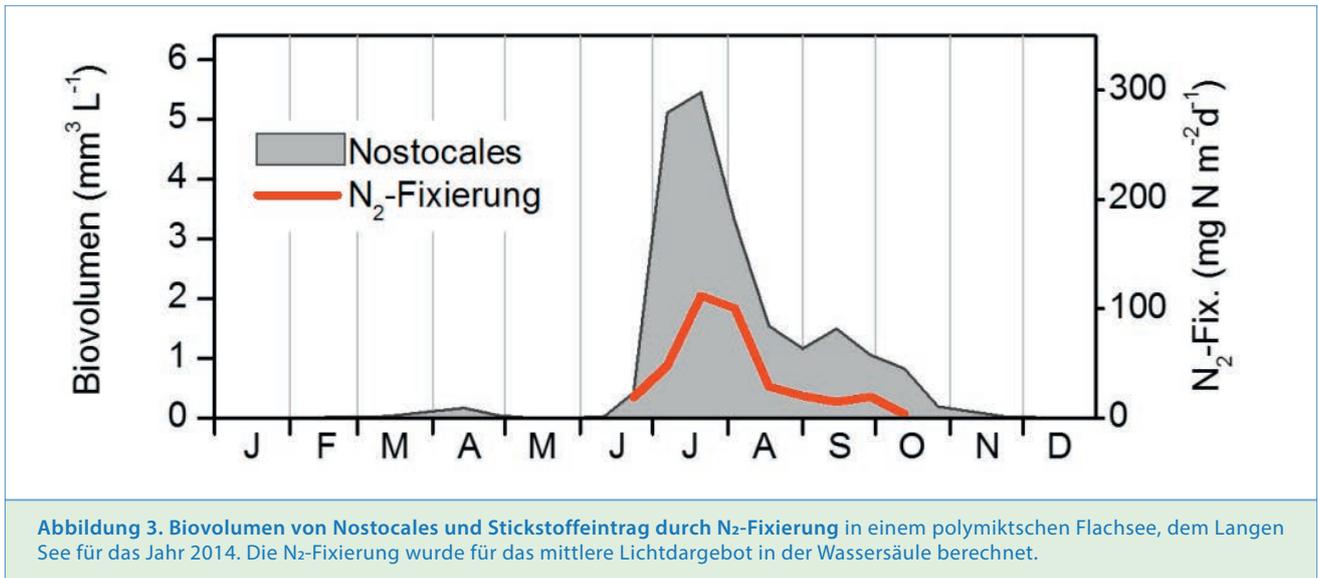
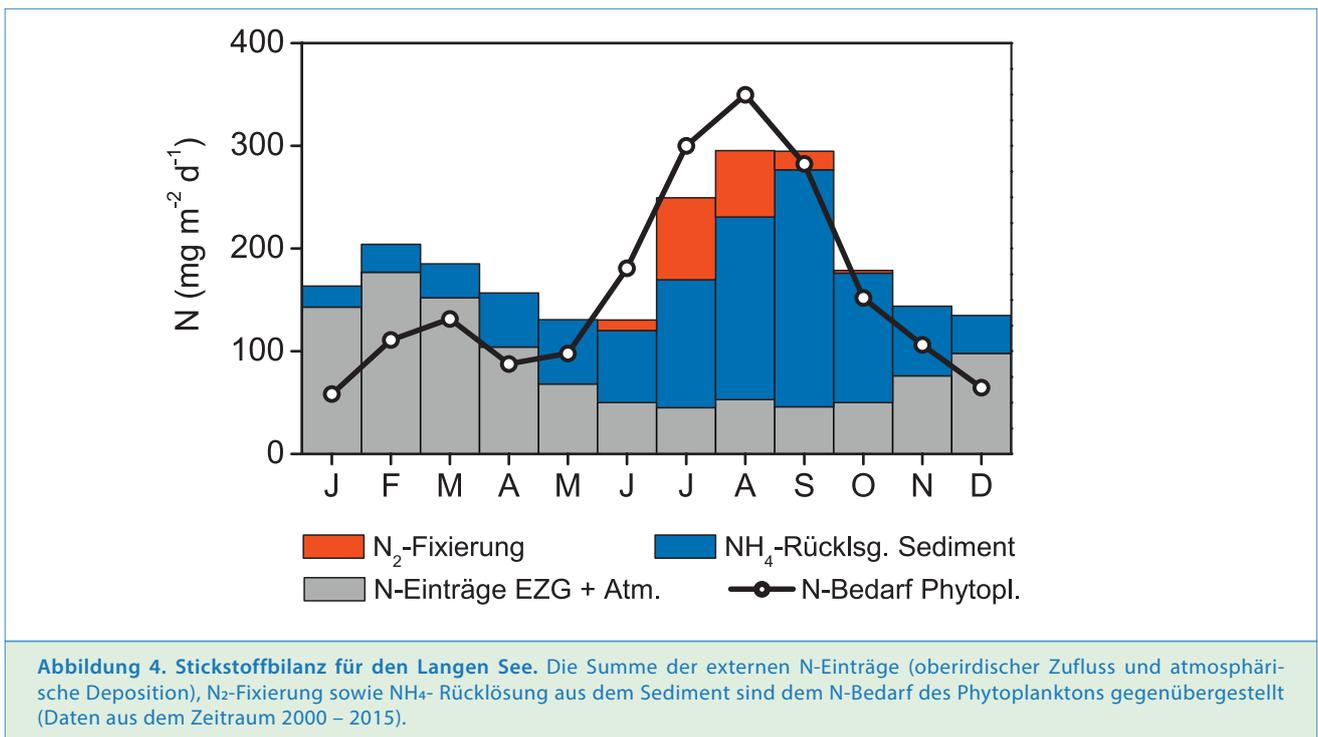


Abbildung 2. Stickstoffeintrag durch N₂-Fixierung in verschiedenen Seetypen. Links dargestellt ist die geschätzte saisonale N₂-Fixierung (Median; rot) für Flachseen (Typ 11.2). Rechts dargestellt sind die geschätzten jährlichen Einträge durch N₂-Fixierung für Flusseen (Typ 12) sowie für tiefe geschichtete Seen (Typ 13) und für Flachseen (Typ 11.2). Dargestellt sind der Median (roter Punkt) sowie die Unsicherheit der Schätzung als Quantile.

Exemplarisch wurde für einen Flachsee, den Langen See, die saisonale Entwicklung der Nostocales und der N₂-Fixierung gemessen (Abb. 3). Das maximale Biovolumen der Nostocales war mit 5,5 mm³ L⁻¹ im Langen See etwa doppelt so hoch wie der Median der Schätzung für diesen Seetyp (Abb. 1), und die höchsten Messwerte zur N₂-Fixierung von 112 mg m⁻² d⁻¹ lagen im oberen Bereich der Schätzung für diesen Seetyp (Abb. 2, links). Bei höherem Lichtdargebot (Lichtsättigung) kann sich diese Rate noch verdoppeln.



Für den Langen See wurden außerdem die Stickstoffquellen zur Deckung des N-Bedarfs des Phytoplanktons in ihrem saisonalen Verlauf quantifiziert. In Abbildung 4 sind die externen Einträge über den oberirdischen Zufluss und die Luft (atmosphärische Deposition auf die Seefläche) sowie die N₂-Fixierung der Nostocales und die seeinterne Rücklösung von Ammonium aus dem Sediment dargestellt. Im Juli und August wird der N-Bedarf des Phytoplanktons zu rund 46% durch Ammoniumrücklösung aus dem Sediment und zu ca. 23% durch die N₂-Fixierung gedeckt. In dieser Zeit ist die N₂-Fixierung größer als die externen Einträge aus dem Einzugsgebiet und der Atmosphäre. Damit ist die N₂-Fixierung im Hochsommer eine bedeutende N-Quelle für das Phytoplankton (2).



Als Flachsee (Typ 11.2) gehört der Lange See zu der Gruppe von Seen, für die eine Minderung der N-Konzentration zur Verbesserung des ökologischen Zustandes vorgeschlagen wurde (vgl. 1.1). Daher stellte sich besonders hier die Frage, ob Nostocales eine Minderung der N-Konzentration durch N_2 -Fixierung kompensieren können. Dies wurde durch Experimente geprüft, in denen eine Minderung der N-Einträge und N-Konzentrationen bei gleichbleibendem Phosphoreintrag simuliert wurde (1). Es zeigte sich, dass die Biomasse der Nostocales bei abnehmenden N-Konzentrationen nicht ansteigt, aber die N_2 -Fixierung pro Biovolumen zunimmt. Anhand der N_2 -Fixierung pro Biomasse wurde berechnet, in welchem Umfang Nostocales im Langen See eine Minderung der N-Konzentration kompensieren könnten. Dabei zeigte sich, dass Nostocales eine Senkung der N-Konzentration lediglich zu 4 - 23% kompensieren können (1). Strittig ist jedoch die Frage, wie sich eine Senkung der N-Konzentration in Seen langfristig auf die Entwicklung von N_2 -Fixierern auswirkt. Für den Müggelsee wurde hierzu eine 40 Jahre lange Datenreihe analysiert. In diesem Zeitraum verringerte sich die N-Last um 75%. Trotz sich verstärkenden N-Mangels im Sommer nahmen sowohl die Biomasse der Nostocales als auch ihr Anteil am Gesamt-Phytoplankton ab (1).



Schlussfolgerungen

Es wurden keine Anhaltspunkte dafür gefunden, dass stickstofffixierende Cyanobakterien, Nostocales, die Phytoplanktongemeinschaft in unterschiedlichen Seetypen dominieren, obwohl die Phytoplanktonbiomasse in vielen Seen durch Stickstoff limitiert wird (s. Kap. 1.1). Der jährliche Stickstoffeintrag von Nostocales wird für alle Seetypen als gering eingeschätzt. Lediglich im Hochsommer kann N_2 -Fixierung nennenswert zum Stickstoffeintrag beitragen. Maximale Werte hierfür wurden in Flachseen gemessen. Aber auch hier zeigen erste Ergebnisse, dass eine Minderung der Stickstoffkonzentration zur Verbesserung des ökologischen Zustandes maximal zu einem Viertel durch N_2 -Fixierung von Nostocales kompensiert werden kann. Langfristig führt eine Senkung der N-Konzentration zu einer Abnahme des Biovolumens der N_2 -fixierenden Cyanobakterien. Stickstoffreduktion ist daher auch nach diesen Ergebnissen ökologisch sinnvoll.

Literatur

- (1) NITROLIMIT II (2016): Stickstofflimitation in Binnengewässern - Ist Stickstoffreduktion ökologisch sinnvoll und wirtschaftlich vertretbar? Abschlussbericht NITROLIMIT II.
- (2) Nixdorf, B., Grüneberg, B. & Rücker, J. (2016): Bilanzierung der saisonalen Stickstoffein- und -austräge sowie deren Umsetzungen in einem eutrophen Flachsee. Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 2015 in Essen. Eigenverlag der DGL, Hardegsen: 69-76.

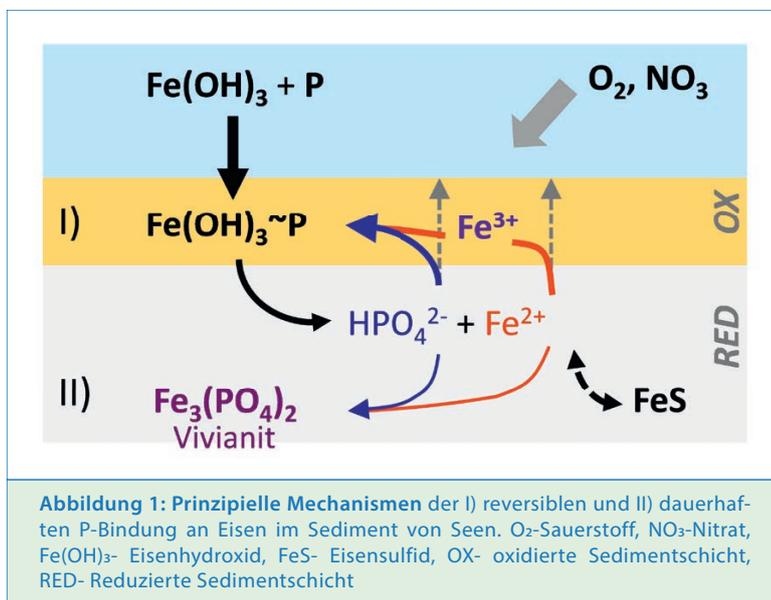


1.3 Einfluss von Nitrat auf die Phosphorrücklösung aus dem Sediment

Björn Grüneberg, Thomas Petzoldt, David Kneis, Michael Hupfer, Sylvia Jordan und Helmut Fischer

Hintergrund und Ziele

Die Wassergüte von Seen wird maßgeblich durch den Nährstoff Phosphor (P) gesteuert. Große Mengen Phosphor werden im Sediment gespeichert und können durch Rücklösung teilweise wieder in das Wasser des Sees gelangen und somit eine Eutrophierungsgefahr darstellen. Seit langem ist bekannt, dass neben Sauerstoff auch die Anwesenheit von Nitrat die P-Rücklösung aus dem Sediment beeinflussen kann. Die zu Grunde liegenden Mechanismen sind in Abb. 1 dargestellt: Ist Sauerstoff vorhanden, liegt Eisen als oxidiertes Fe-Hydroxid in fester Form vor, das als Barriere für den Phosphor wirkt. Fehlt dagegen der Sauerstoff wird das feste Eisen reduziert und geht in Lösung, wodurch der gebundene Phosphor ebenfalls an das überstehende Wasser abgegeben wird. Ist kein Sauerstoff mehr vorhanden, kann Nitrat dessen Funktion übernehmen. Sowohl Sauerstoff als auch Nitrat tragen zum Erhalt von P-Bindekapazität bei, indem die Auflösung von Fe-Hydroxiden an der Sedimentoberfläche verhindert wird. Außerdem bewirken sie eine Neuschaffung von P-Bindekapazität, indem gelöstes Fe²⁺ oder Eisensulfid oxidiert wird. Neben dieser reversiblen Bindungsform kann P auch dauerhaft unter anoxischen Bedingungen durch Ausfällung des Minerals Vivianit an Fe gebunden werden (1).



in Lösung, wodurch der gebundene Phosphor ebenfalls an das überstehende Wasser abgegeben wird. Ist kein Sauerstoff mehr vorhanden, kann Nitrat dessen Funktion übernehmen. Sowohl Sauerstoff als auch Nitrat tragen zum Erhalt von P-Bindekapazität bei, indem die Auflösung von Fe-Hydroxiden an der Sedimentoberfläche verhindert wird. Außerdem bewirken sie eine Neuschaffung von P-Bindekapazität, indem gelöstes Fe²⁺ oder Eisensulfid oxidiert wird. Neben dieser reversiblen Bindungsform kann P auch dauerhaft unter anoxischen Bedingungen durch Ausfällung des Minerals Vivianit an Fe gebunden werden (1).

Die oxidierende Wirkung des Nitrats wird gezielt als Gewässertechnologie genutzt, u. a. um die mit der Anreicherung von Schwefelwasserstoff verbundenen Gefahren zu bekämpfen oder die P-Rücklösung aus Sedimenten zu verhindern. Zudem führte die Beobachtung an zahlreichen Seen, dass im Jahresgang sinkende Nitratkonzentrationen mit einer steigenden P-Rücklösung einhergehen, zu dem Schluss, dass die Anwesenheit von Nitrat eine positive Wirkung auf die P-Bindung im Sediment hat und deshalb nicht unbedingt in Kläranlagen eliminiert werden sollte. Einige Autoren haben daraus bereits Schwellenwerte für die Steuerung der P-Rücklösung durch Nitrat abgeleitet. Allerdings ist die Kausalität des Zusammenhanges über die oben beschriebenen

Mechanismen nicht ausreichend belegt. Modellvorstellungen für Seen mit zeitweiser thermischer Schichtung gehen davon aus, dass Nitrat einen zusätzlichen Effekt bei der P-Bindung haben könnte, wenn im Frühjahr noch genug Sauerstoff vorhanden ist bzw. der Zeitpunkt der P-Freisetzung verzögert wird, wenn der Sauerstoff bereits aufgebraucht ist (Abb. 2). Erfahrungen mit der Belüftung von Seen und sich zum Teil widersprechende Befunde in Prozessstudien zeigten allerdings, dass das komplizierte Zusammenspiel verschiedener Faktoren bei der Steuerung der P-Bindung im Sediment immer noch nicht ausreichend verstanden ist, um dieses Wissen gezielt und erfolgreich zur Bewirtschaftung von Seen einzusetzen.

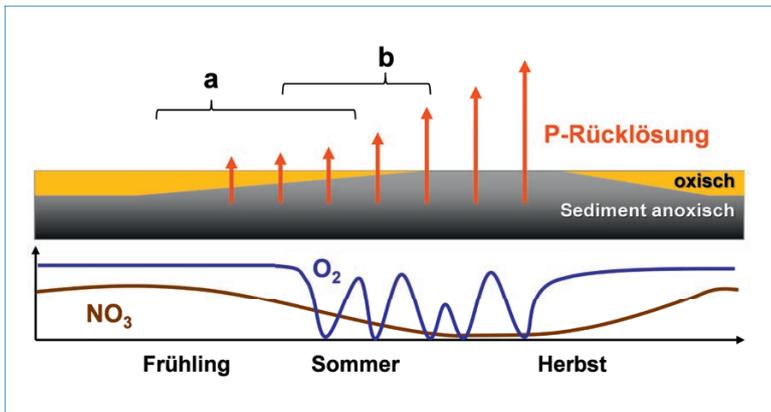


Abbildung 2: Sensitive Phasen, in denen die Verminderung der P-Rücklösung durch Nitrat positive Auswirkungen auf die Gewässergüte haben könnte, sind a) im Frühjahr unter konstant oxischen Bedingungen, und b) im Sommer unter anoxischen Bedingungen aufgrund zeitweiser Schichtung des Wasserkörpers; verändert nach (2).

Das Ziel der Untersuchungen im Rahmen von NITROLIMIT bestand deshalb in der Beantwortung der Frage, ob und unter welchen Bedingungen Nitrat einen Einfluss auf die Festlegung von Phosphor im Sediment haben kann. Speziell sollte untersucht werden, ob verminderte Nitratreinträge zu höherer P-Rücklösung führen, oder ob z.B. der Verbleib von Nitrat im gereinigten Abwasser zu empfehlen ist. Dazu wurden sowohl Laboruntersuchungen als auch Freilandexperimente mit sogenannten Benthoskammern durchgeführt, um den P-Austausch zwischen Sediment und Wasser unter kontrollierten Bedingungen zu

messen. Benthoskammern ermöglichen realitätsnahe Messungen, da diese für einige Tage auf den Grund des Sees gesetzt werden und über Schlauchsysteme die zeitlichen Veränderungen der Nährstoffe über dem Sediment registriert werden können. Um die Rolle des Eisens für die Wirksamkeit des Nitrates zu testen, wurden einerseits Flachseen in Berlin und Brandenburg mit sehr unterschiedlichem Eisenanteil im Sediment ausgewählt und andererseits einem eisenarmen Sediment künstlich Eisen zu dosiert. Die experimentellen Arbeiten konzentrierten sich zudem auf die Frage, welchen Einfluss die gleichzeitige Anwesenheit von Sauerstoff haben kann. Die Interpretation der experimentellen Ergebnisse und die Anwendung eines mathematischen Modells ermöglichten es, den Effekt eines verminderten Nitratreintrages in die Gewässer abzuschätzen.

Ergebnisse

Mit den experimentellen Untersuchungen wurde gezeigt, dass der Eisengehalt der Sedimente eine entscheidende Rolle für die Wirkung des Nitrats spielt. Unter sauerstofffreien Bedingungen hat Nitrat in **Fe-armen Sedimenten** erwartungsgemäß kaum eine Wirkung, weil sich nicht genügend Eisen an der Sedimentoberfläche anreichern kann, um eine quantitativ bedeutsame Rolle für den P-Rückhalt zu spielen. Nur durch längerfristige Zugabe hoher Nitratmengen lässt sich im Labor die P-Aufnahme auch bei Fe-armen Sedimenten etwas steigern. Für die P-Bilanz eines Gewässers und die P-Dynamik ist das aber ohne Bedeutung. Sehr interessant ist der Befund, dass relativ wenig Nitrat ($< 2 \text{ mg N L}^{-1}$) die P-Rücklösung in diesen Sedimenten zusätzlich vermindern kann, wenn gleichzeitig Sauerstoff vorhanden ist. Hier tritt ein summarischer Effekt von O_2 und NO_3 hinsichtlich der Oxidationswirkung auf, der durch die Anwesenheit von röhrenbauenden Zuckmücken (Chironomiden)-Larven offenbar verstärkt wird. Diese im Sediment lebenden Mückenlarven pumpen O_2 - und NO_3 -reiches Wasser über etwa 10-15 cm tiefe Röhren in tiefere Sedimentbereiche (Bioirrigation) und vergrößern somit an der Röhrenwandung die oxidierte Grenzfläche und damit die P-Bindekapazität um ein Vielfaches. Ohne Sauerstoff dagegen stellen Chironomiden-Larven ihre Aktivitäten weitestgehend ein, wodurch auch der effektive Transport von Nitrat in tiefere Sedimentschichten zum Erliegen kommt.

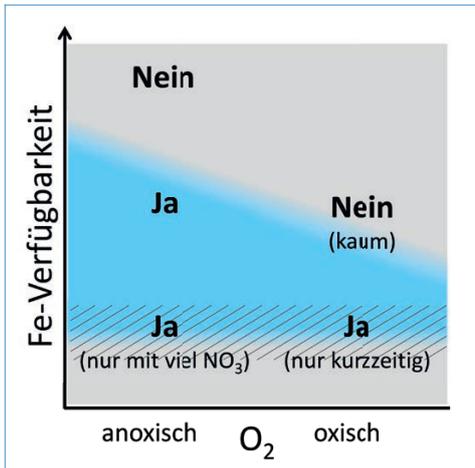


Abbildung 3: Vermindert die Anwesenheit von Nitrat die P-Rücklösung? Der blaue Bereich kennzeichnet die Bedingungen, unter denen Nitrat die P-Rücklösung aus dem Sediment vermindern kann. Für den schraffierten Bereich wurde bei Untersuchungen zwar eine Nitratwirkung gefunden, die aber quantitativ kaum relevant ist.

Unerwartete Effekte ergaben sich bei sehr **Fe-reichen Sedimenten** (> 6% Fe-Gehalt), bei denen die P-Bindung nitratunabhängig war und wahrscheinlich durch das im Sediment vorhandene Eisen allein gesteuert wurde. Das Nitrat wirkt in diesen Fällen sogar kontraproduktiv, weil die Bildung von Vivianit an der Sedimentoberfläche gestört wird. Beim Vivianit handelt es sich um ein phosphorhaltiges Mineral, das an Luft blauschimmernde Kristalle bildet und auch in tiefen anoxischen Schichten eine langfristige P-Senke darstellt. Den größten Effekt hatte Nitrat zur Verminderung der P-Rücklösung bei einer mittleren Fe-Verfügbarkeit, wobei diese nicht nur vom Fe-Gehalt allein, sondern vor allem durch das Vorkommen von Schwefel und dem bereits gebundenem P beeinflusst wird. Abb. 3 illustriert in einfacher Form die dargestellten Randbedingungen, unter denen die Anwesenheit von Nitrat die P-Rücklösung aus Sedimenten wirksam unterdrückt.

Die Szenarien mit Hilfe des mathematischen Modells bestätigen ebenfalls, dass Nitrat nur unter sehr engen geochemischen Randbedingungen die gewünschte Wirkung auf den P-Austausch zwischen Sediment und Wasser haben

kann (Abb. 4). Das Auftreten einer sommerlichen P-Freisetzung selbst bei hohen Nitratkonzentrationen oder Sauerstoffanwesenheit zeigt, dass andere Mechanismen das grundlegende saisonale Muster der P-Freisetzung in Flachseen bestimmen.

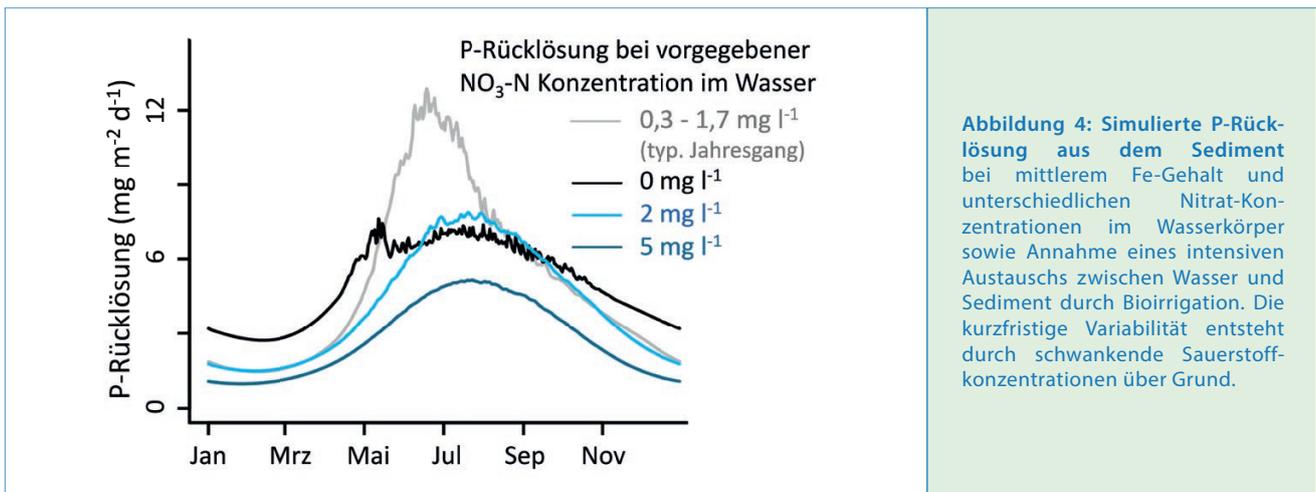
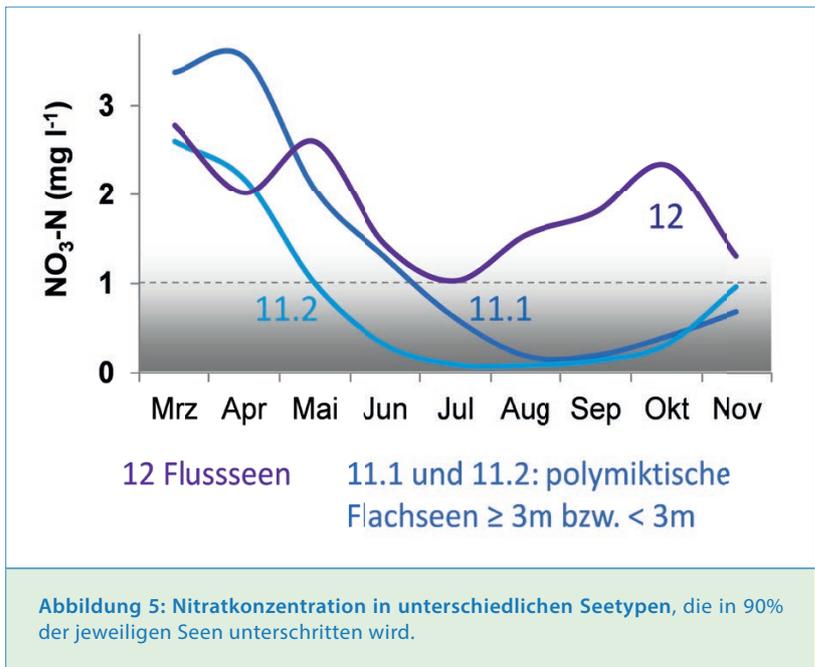


Abbildung 4: Simulierte P-Rücklösung aus dem Sediment bei mittlerem Fe-Gehalt und unterschiedlichen Nitrat-Konzentrationen im Wasserkörper sowie Annahme eines intensiven Austauschs zwischen Wasser und Sediment durch Bioirrigation. Die kurzfristige Variabilität entsteht durch schwankende Sauerstoffkonzentrationen über Grund.

Schlussfolgerungen

Welche praktischen Konsequenzen haben die Ergebnisse für die Bewirtschaftung von Seen? In den meisten Fällen wird die durch NO_3 -ausgelöste zusätzliche P-Bindekapazität quantitativ unbedeutend sein, so dass eine Verminderung des NO_3 -Eintrages in den meisten Flachseen der Region zu keiner unerwünschten Wirkung bezüglich des P-Haushaltes führt. Auch bei ausreichender Fe-Verfügbarkeit bedarf es einer Einzelfallbetrachtung, ob die Verminderung der P-Rücklösung aus dem Sediment durch Nitrat gewässerökologisch relevant ist. Praktikable Methoden zur Prognose stehen durch das Projekt zur Verfügung. Beispielsweise wurde für die Berliner Unterhavel gezeigt, dass der saisonale Verlauf der P-Rücklösungsrate durch P-Mobilisierung aus der frischen, obersten Sedimentschicht gespeist wird und kaum durch Nitrat beeinflussbar ist (3). Aufgrund hoher Nitrat-Zehrungsraten ist die zeitliche Reichweite der Nitratwirkung beim Übergang zu O_2 -freien Bedingungen auf wenige Stunden bis Tage beschränkt.

Entscheidend für die Beurteilung, ob Nitrat für den P-Haushalt von Flachseen in der Region Berlin/ Brandenburg eine Rolle spielt, ist vor allem, dass ausreichend Nitrat in den meisten Fällen nur im Frühjahr zur Verfügung steht, nicht jedoch im Sommer, wenn die P-Rücklösung bedeutsam für den internen P-Haushalt wäre (Abb. 5). Eine weitere Reduzierung der Stickstoffeinträge würde diese Situation logischerweise nicht verändern. Mit Blick auf den P-Austausch zwischen Sediment und Wasser spricht allerdings auch nichts gegen eine kontinuierliche Zufuhr von Nitrat. Die Untersuchungen bestätigen auch, dass dem Schwefel eine zentrale Rolle für den P-Rückhalt in Gewässern zukommt, weil er die Verfügbarkeit von Eisen vermindert. Deswegen sollte das Ziel von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf eine hohe Fe-Verfügbarkeit gerichtet sein, was durch Maßnahmen zur Verminderung der Trophie sowie eine Reduzierung des Sulfateintrages erreicht werden kann.



Literatur

- (1) Rothe, M., Kleeberg, A., Grüneberg, B., Friese, K., Pérez-Mayo, M., & Hupfer, M. (2015): Sedimentary Sulphur:Iron Ratio Indicates Vivianite Occurrence: A Study from Two Contrasting Freshwater Systems. PLoS ONE 10(11): e0143737.
- (2) Petzoldt, T. & Uhlmann, D. (2006): Nitrogen emissions into freshwater ecosystems: is there a need for nitrate elimination in all wastewater treatment plants? Acta hydrochimica et hydrobiologica 34: 305-324.
- (3) Grüneberg, B., Dadi, T., Lindim, C. & Fischer, H. (2015): Effects of nitrogen and phosphorus load reduction on benthic phosphorus release in a riverine lake. Biogeochemistry 123: 185-202.



1.4 Stickstoffumsatz in Fließgewässern

Stephanie Ritz und Helmut Fischer

Einleitung

Flüsse exportieren große Mengen Stickstoff aus dem Einzugsgebiet in die Küstengewässer, was dort zu Eutrophierung und somit zu großen ökologischen Problemen führen kann. Dabei sind Flüsse nicht nur reine Transportsysteme, sondern bieten auch Reaktionsräume, in denen die transportierten Stoffe mikrobiell umgesetzt und teilweise zurückgehalten werden (Retention). Bislang bestehen jedoch große Unsicherheiten sowohl über die daran beteiligten Prozesse als auch über die entsprechenden Umsatzraten.

Die im Gewässer vorliegenden gelösten anorganischen Stickstoffverbindungen sind für die Organismen verfügbar und können von diesen aufgenommen und somit in die partikuläre organische Form überführt werden (Assimilation). Die transportierten partikulären Stickstoffkomponenten können zeitweise im Sediment abgelagert werden (Deposition). Aufgrund der möglichen Remineralisierung und Resuspension führen diese Mechanismen aber lediglich zu einer temporären Retention. Bestimmte mikrobielle Umsatzprozesse bewirken jedoch auch eine dauerhafte Entfernung (Elimination) von Stickstoff aus dem System. Von zentraler Bedeutung ist hierbei die Denitrifikation, bei der Nitrat in inertes N_2 umgewandelt wird und als Gas aus dem Gewässer entweichen kann. Da die Denitrifikation nur unter sauerstoffarmen Bedingungen abläuft, findet dieser Prozess in Fließgewässern weitgehend sedimentgebunden statt, ist aber von der Substratzulieferung (organisches Material und Nitrat) aus der Wassersäule abhängig.

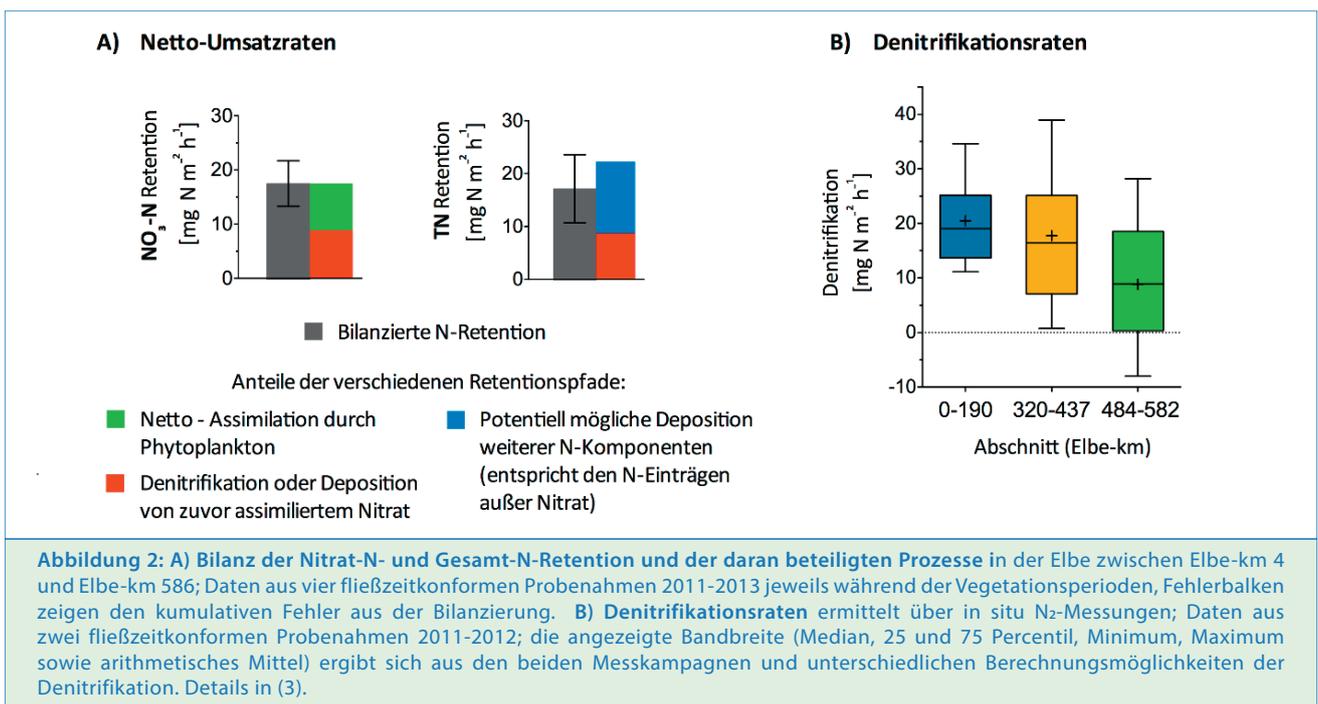
Die Messung der Nährstoffumsätze in Flusssedimenten unter Freilandbedingungen ist schwierig. Häufig werden Sedimentproben im Labor unter künstlichen Bedingungen gemessen. Hierbei stellt sich vor allem die Frage, in welchem Ausmaß die im Labor z. T. notwendigen Nährstoffzugaben und der nicht adäquat simulierbare hydraulische Austausch zwischen dem Lückensystem der Flusssedimente (Hyporheal) und dem Oberflächenwasser die Umsatzraten beeinflussen und wie die so gemessenen Daten auf das Freiland übertragbar sind. Oft wird vor allem die Effizienz kleiner Flüsse beim Stickstoffrückhalt betont (1), jedoch ist die Datenlage für große Flüsse ungleich schlechter und es ist unklar, in wie weit sich die in kleinen Flüssen gemessenen Umsatzraten auf große Flüsse extrapolieren lassen (2).

Daher wurden im Projekt NITROLIMIT Freilandmethoden eingesetzt, um den flussinternen Stickstoffumsatz unter in-situ Bedingungen am Beispiel eines großen Flusses, der Elbe zwischen Schmilka (Elbe-km 4) und Geesthacht (Elbe-km 586), zu ermitteln. Durch Differenzbildung zwischen Ein- und Austrägen von Nitrat-N, Gesamt-N und Phytoplankton wurden Stoffbilanzen erstellt und die Netto-Umsatzraten der jeweiligen Parameter bestimmt. Basierend auf gemessenen N_2 Konzentrationen in der Wassersäule wurden außerdem die Denitrifikationsraten ermittelt (Abb. 1).



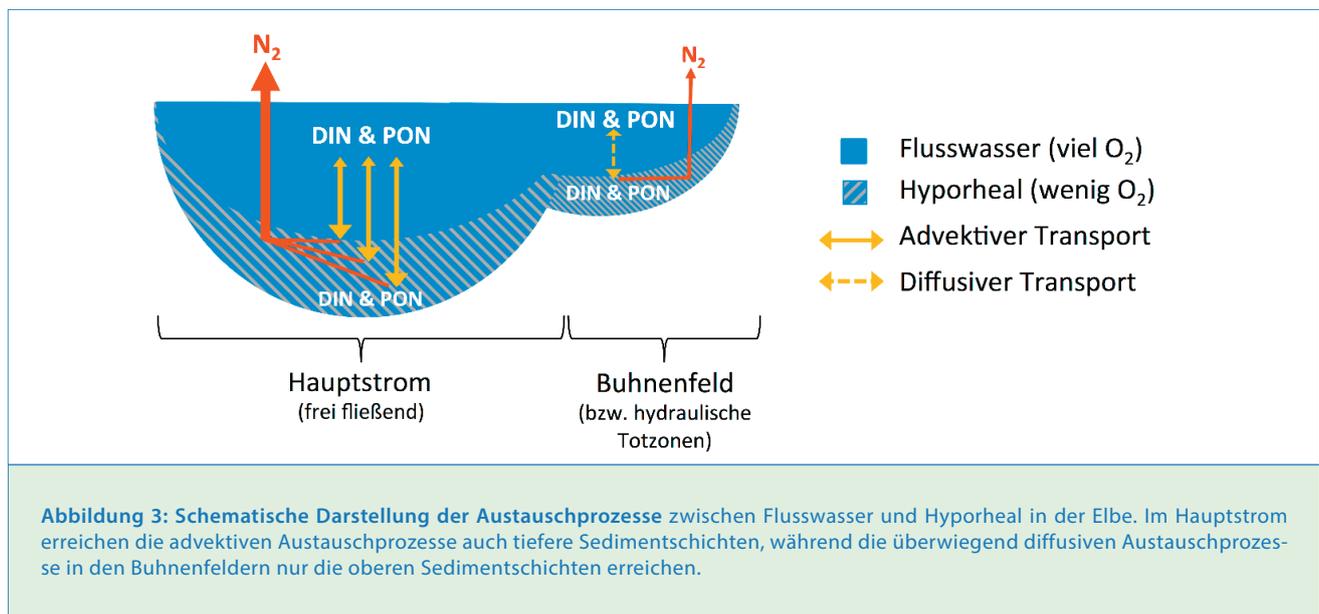
Ergebnisse

Im Mittel ergab sich für den Zeitraum der Probenahmen eine Nitrat- und Gesamt-N-Retention von ca. $17 \text{ mg N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Nitrat wird in der Elbe intensiv durch das Phytoplankton assimiliert. Der bilanzierte Netto-Zuwachs des Phytoplanktons reichte allerdings nicht aus, um die Nitrat-Retention vollständig über diese Assimilation zu erklären (Abb. 2A). Gemeinsam mit der ebenfalls hohen Gesamt-N-Retention zeigt dies, dass ein gewisser Anteil des eingetragenen Nitrats zusammen mit weiteren eingetragenen Stickstoffkomponenten (z.B. organischem Stickstoff) nicht



nur innerhalb der Wassersäule transformiert und weiter transportiert, sondern auch im Sediment deponiert wird. Auch in den Flusssedimenten findet ein intensiver Stickstoffumsatz statt. Die über die N_2 -Messungen bestimmten Denitrifikationsraten lagen im Durchschnitt bei $16 \text{ mg N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, was der bilanzierten Gesamt-N-Retention entspricht (Abb. 2B). Somit werden die im Sediment abgelagerten Stickstoffkomponenten tatsächlich dauerhaft über die Denitrifikation aus dem System entfernt. Diese Werte wurden während der Vegetationsperiode bestimmt und entsprechen einer Verringerung der eingetragenen Gesamt-N-Fracht um ca. 30% allein auf der Fließstrecke der Elbe zwischen Elbe-km 4 und Elbe-km 586. Für das Winterhalbjahr sind aufgrund geringerer Wassertemperaturen niedrigere Denitrifikationsraten zu erwarten. Unter Berücksichtigung der jährlichen Temperaturschwankungen (mit einem Q_{10} -Wert von 2) ergibt sich ein Jahresmittelwert der Denitrifikation von $12 \text{ mg N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Allein in der Elbe zwischen Schmilka und Geesthacht können damit jährlich rund 10.000 t Stickstoff durch Denitrifikation entfernt werden.

Des Weiteren hängt die TN-Retention von der Versorgung des Hyporheals mit organischem Material (durch Phytoplankton) und Nitrat aus der fließenden Welle ab. Die gemessenen Denitrifikationsraten waren in der unteren Mittelelbe vor dem Wehr Geesthacht am niedrigsten. In den oberen Abschnitten sind die Sedimente zunächst grob kiesig und weiter stromab grob sandig. Bei hoher Strömungsgeschwindigkeit sind hier besonders intensive advective Austauschprozesse zwischen dem Flusswasser und dem Hyporheal zu erwarten, welche die Sedimente gut mit Substrat aus der fließenden Welle versorgen. In der unteren Mittelelbe werden die Sedimente feiner und die Strömungsgeschwindigkeit wird geringer, so dass auch die Intensität des hydraulischen Austauschs zwischen Flusswasser und Lückensystem nachlässt. Entsprechend zeigte eine Modellierung des Stoffumsatzes, dass nicht nur die Sedimentation und Diffusion in hydraulischen Totzonen (z.B. Bühnenfelder), sondern auch der advective Austausch berücksichtigt werden muss, um die Retentionsleistung der Elbe in vollem Umfang zu erfassen (Abb. 3).



Trotz der hohen Denitrifikationsraten bleiben die transportierten Stickstoffmengen hoch. Die mittleren jährlichen Stickstoffkonzentrationen liegen in den stromab gelegenen Bereichen der Mittelelbe derzeit bei $3,7 \text{ mg N L}^{-1}$ für Gesamt-N und bei $3,0 \text{ mg N L}^{-1}$ für Nitrat-N (Mittelwerte des Zeitraumes 2010-2015 an der Gütemessstation „Schnackenburg“ bei Elbe-km 475; www.fgg-elbe.de, abgefragt im August 2016). Aufgrund dieser hohen Werte ist selbst bei einer starken Reduzierung der Nitratreinträge kein Effekt auf das Phytoplanktonwachstum im Fluss zu erwarten. Im marinen Bereich fördert Stickstoff jedoch die Eutrophierung. Der von der LAWA verabschiedete meeresökologische Zielwert liegt bei $2,8 \text{ mg N L}^{-1}$ (4). Entsprechend ist eine Stickstoffreduzierung im Hinblick auf die Küstengewässer in jedem Fall anzustreben.



Schlussfolgerungen

In situ gemessene Denitrifikationsraten aus großen Flüssen sind sehr rar. Die in der Elbe gemessenen Werte liegen im oberen Bereich der in einer Literaturstudie zusammengestellten Daten, die überwiegend an kleineren Fließgewässern mit unterschiedlicher Methodik ermittelt wurden (arithmetischer Mittelwert $9,6 \text{ mg N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$; Median $2,9 \text{ mg N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) (5). Die Elbe weist somit eine vergleichsweise hohe Denitrifikationsleistung auf, welche insbesondere auf der guten Nitrat- und Kohlenstoffversorgung der Reaktionsräume im Hyporheal beruht. Insgesamt betonen diese Ergebnisse im Einklang mit weiteren aktuellen Studien die Bedeutung des aktiven hydraulischen Austauschs mit tieferen Sedimentschichten für die Effizienz des Stickstoffumsatzes in Fließgewässern (z.B. 6). Entsprechend sollten wasserwirtschaftliche flussmorphologische Maßnahmen diese Austauschprozesse zwischen dem Flusswasser und dem Hyporheal fördern, um die Selbstreinigungsleistung der Fließgewässer beizubehalten oder sogar zu steigern.

Literatur

- (1) Alexander, R. B., Smith, R. A. & Schwarz, G. E. (2000): Effect of stream channel size on the delivery of nitrogen to the Gulf of Mexico. *Nature* 403: 758-761.
- (2) Helton, A. M, Poole G. C. & 21 co-authors (2011): Thinking outside the channel: modeling nitrogen cycling in networked river ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9: 229-238.
- (3) Ritz, S. (2016): In-stream nitrogen retention in a large nitrogen rich lowland river: estimates from open-channel methods. Dissertation Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg. 136 S.
- (4) LAWA (2014): Empfehlung zur Übertragung flussbürtiger, meeresökologischer Reduzierungsziele ins Binnenland. LAWA Produktdatenblatt WRRL-2.4.7, Berlin. 17 S.
- (5) Kronvang, B., Hezlar, J., Boers, P., Jensen, J. P. & Behrendt, H. (2004): Nutrient retention handbook. Software manual for EUROHARP-NUTRET and scientific review on nutrient retention. EUROHARP report 9-2004, NIVA report SNO4878/2004, Oslo, Norway. 103 S.
- (6) Gomez-Velez, J. D., Harvey, J. W., Cardenas, M. B. & Kiel, B. (2015): Denitrification in the Mississippi River network controlled by flow through river bedforms. *Nature Geoscience* 26: 1-8.



2. Ist Stickstoffreduktion wirtschaftlich vertretbar?

Zum Erreichen des guten ökologischen Zustandes vieler Binnengewässer sind weitere Anstrengungen zur Reduktion von Nährstoffeinträgen notwendig. Für Maßnahmen zur Reduktion von Phosphoreinträgen existieren bereits Erfahrungswerte zu deren Wirksamkeit, Kosten und Nutzen. Während entsprechende Kenntnisse für Maßnahmen zur Stickstoffreduktion weitestgehend fehlen. Zur Beantwortung der Frage „ob Stickstoffreduktion ökonomisch vertretbar ist“ wurden daher die Wirksamkeit, Kosten, Nutzen und Akzeptanz von Maßnahmen zur N-Reduktion in unterschiedlichen Fallbeispielen analysiert.

An einem für die Norddeutsche Tiefebene typischen Flussee wurden die Kosten für N-Reduktionsmaßnahmen zum Erreichen des guten ökologischen Zustandes dem Nutzen in Form der Zahlungsbereitschaft von Bürgern für eine Verbesserung der Gewässerqualität gegenübergestellt. Die Resultate dieser Kosten-Nutzen-Analyse finden sich in Kapitel 2.1. In Ergänzung hierzu wurde in Kapitel 2.2 die Bedeutung von Gewässern für Freizeit und Erholung ermittelt.

Für urbane Gewässer in Berlin wurden die Auswirkungen urbaner Maßnahmen zur Nährstoffreduktion am Beispiel einer Klärwerksstillegung und der Effizienz von Bodenfiltern analysiert. Die Ergebnisse hierzu sind in Kapitel 2.3 dargestellt.

Am Beispiel einer Seenkette in einem ländlichen Einzugsgebiet, in der die meisten Gewässer den guten ökologischen Zustand bisher nicht erreichen, wurden Nährstoffquellen und -einträge sowie Optionen und Kosten der Nährstoffreduktion zur Verbesserung des ökologischen Zustandes analysiert. Die entsprechenden Ergebnisse werden in Kapitel 2.4 vorgestellt.

Schließlich wird in Kapitel 2.5 auf die Akzeptanz von Landwirten zur Teilnahme an landwirtschaftlichen Maßnahmen zur Nährstoffreduktion eingegangen. Dabei wurde ermittelt in welchem Umfang Landwirte bereit sind, an Agrarumweltmaßnahmen, die im ländlichen Raum für eine Minderung der N-Einträge dringend erforderlich sind, teilzunehmen.



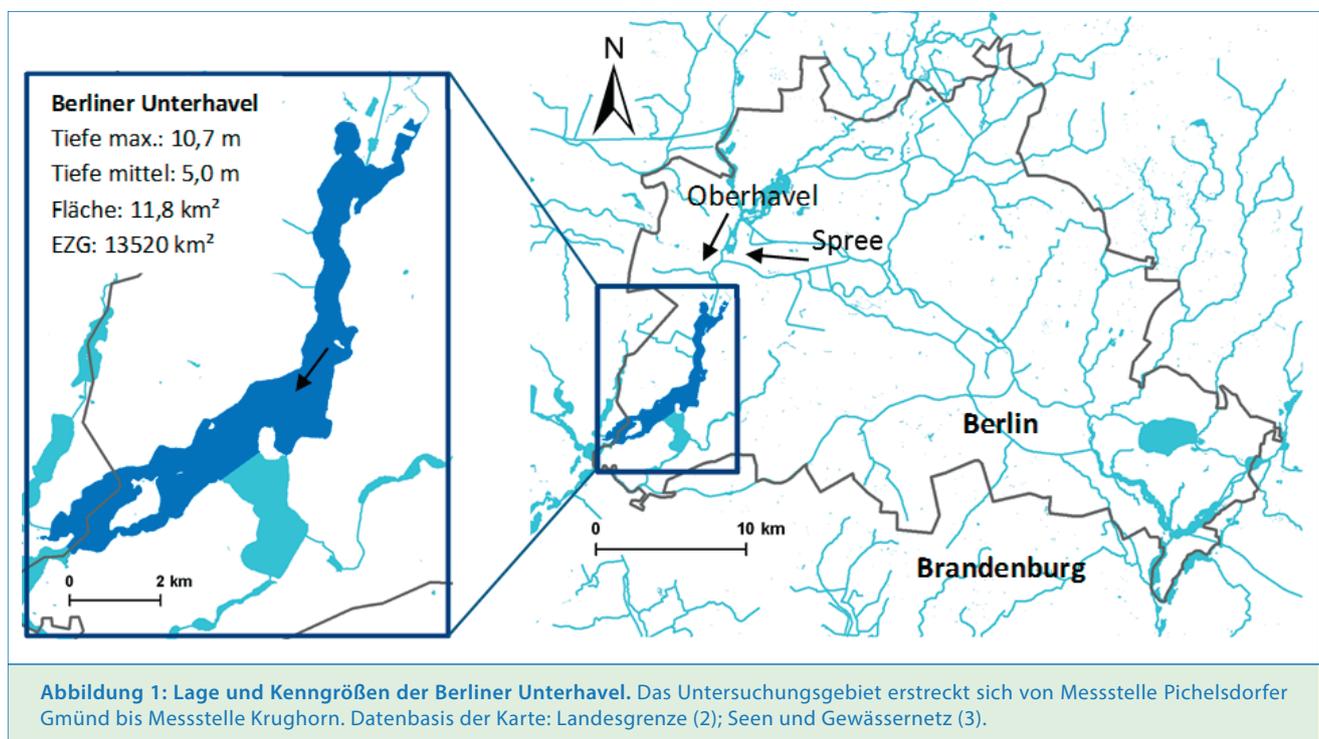
2.1 Kosten und Nutzen des guten ökologischen Zustandes am Beispiel der Berliner Unterhavel

Andreas Horbat, Christian Remy, Pascale Rouault, Jeanette Schlieff und Claudia Wiedner

Hintergrund und Ziele

Die Berliner Unterhavel ist ein für die Norddeutsche Tiefebene charakteristischer Flussee, der durch seine Lage in der Metropolenregion Berlin (Abb. 1) einem hohen Nutzungsdruck unterliegt. Bis zur Wende wurde sie als hocheutroph eingestuft. In der Folge verbesserte sich ihr Zustand durch Nährstoffreduktion im EZG. Den guten ökologischen Zustand nach EU-Wasserrahmenrichtlinie erreichte sie bis zu Beginn dieser Studie jedoch nicht (1). Gerade in Flusseen könnte eine Minderung der Stickstoffkonzentration zur Verbesserung der Gewässergüte führen (vgl. Seite 7). Am Beispiel der Berliner Unterhavel sollte daher untersucht werden, mit welchen Kosten und Nutzen das Erreichen des guten ökologischen Zustandes verbunden ist. Dafür wurden:

- der Status quo der N-Einträge aus dem EZG sowie der gewässerinternen N-Konzentrationen ermittelt,
- die notwendige N-Eintragsreduktion zum Erreichen des guten ökologischen Zustandes berechnet,
- Kosten und Wirksamkeit von potenziellen Maßnahmen zur N-Reduktion analysiert,
- der ökonomische Nutzen in Form der Zahlungsbereitschaft der Bevölkerung für den guten ökologischen Zustand ermittelt und den Kosten der Maßnahmen gegenübergestellt.



Ergebnisse

Status quo und notwendige N-Eintragsreduktion: Der ökologische Zustand der Berliner Unterhavel wurde in 2009, dem Referenzjahr dieser Studie, nach den biologischen Qualitätskomponenten der EU-Wasserrahmenrichtlinie nur mit mäßig bis befriedigend (nach Phytoplankton) bzw. unbefriedigend bis schlecht (nach Makrophyten) bewertet. Die gewässerinterne Konzentration von



Gesamtstickstoff (TN) betrug im Jahresmittel 1,5 mg pro Liter und lag damit weit über der Zielkonzentration von 0,9 mg TN pro Liter, ab der in Flusseen zu erwarten ist, dass sich der gute ökologische Zustand einstellt (4) (vgl. auch S. 8). Die N-Einträge aus dem sehr großen EZG, zu dem der gesamte Bereich der Oberhavel und Spree mit dem urbanen Ballungsraum Berlin gehören, betragen insgesamt 6453 t TN, wovon 46% aus urbanen Quellen, z. B. Klärwerken, und 47% aus landwirtschaftlichen Quellen, z. B. Ackerflächen, stammten. Um die Zielkonzentration von 0,9 mg TN pro Liter zu erreichen, müssten die N-Einträge um 45% (auf 3573 t TN pro Jahr) reduziert werden (5).

Kosten und Wirksamkeit von N-Reduktionsmaßnahmen: Für das EZG der Berliner Unterhavel wurden zunächst geeignete Maßnahmen zur Minderung der Einträge aus landwirtschaftlichen und urbanen Quellen ausgewählt (6 und 7). Im landwirtschaftlichen Bereich wurden Grünlandextensivierung, Zwischenfruchtanbau, Umstellung auf Ökolandbau, Freiwillige Gewässerschutzleistungen oder die Anlage von Dränteichen und im urbanen Bereich die Optimierung bzw. der Ausbau von Klärwerken berücksichtigt. Aus diesen Einzelmaßnahmen wurden sieben theoretisch mögliche Maßnahmenkombinationen erstellt, wobei nicht nur der Mix an Maßnahmen, sondern auch deren möglicher Umsetzungsumfang auf Flächen im EZG variiert wurde (Tab. 1).

Tabelle 1: Verschiedene mögliche Maßnahmenkombinationen (MK) für das EZG Berliner Unterhavel. Für jede Maßnahme ist angegeben mit welchem Anteil der zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Fläche (Ackerland, Grünland, Drainierte Fläche) sie umgesetzt wird. Maßnahmenkürzel: FrGe = Freiwillige Gewässerschutzleistungen, Öko = Ökolandbau, GrEx = Grünlandextensivierung, Drän =Anlage von Dränteichen.

Maßnahmenkombinationen	Maßnahmenumfang auf der landwirtschaftlichen Fläche				Klärwerksmaßnahmen
	FrGe	Öko	GrEx	Drän	
MK 1	100 %			25 %	Optimierung
MK 2	75 %	25 %		25 %	Ausbau
MK 3	50 %	50 %		50 %	Ausbau
MK 4	50 %	50 %		100 %	Ausbau
MK 5	50 %	50 %	25 %	100 %	Ausbau
MK 6		50 %	50 %	100 %	Ausbau
MK 7		100%		100 %	Ausbau

Wirksamkeit und Kosten der Maßnahmenkombinationen sind in Abbildung 2 gegenübergestellt. Die potenzielle Minderung der N-Einträge über unterschiedliche Pfade reicht je nach Mix und Umsetzungsumfang der Maßnahmen von 1200 bis 1887 Tonnen pro Jahr (linker Teil Abb. 2). Als Folge hiervon ist zu erwarten, dass die gewässerinterne N-Konzentration von derzeit 1,5 mg TN auf Werte von 1,25 bis 1,06 mg TN pro Liter gesenkt werden (mittlerer Teil Abb. 2). Damit reicht sie in den Vertrauensbereich der Zielwertschätzung, erreicht aber nicht deren Mittelwert (0,9 mg TN pro Liter). Die Kosten, die für die Umsetzung der Maßnahmenkombination ermittelt wurden, sind schließlich im rechten Teil der Abbildung 2 dargestellt und werden im Folgenden dem ökonomischen Nutzen gegenübergestellt.

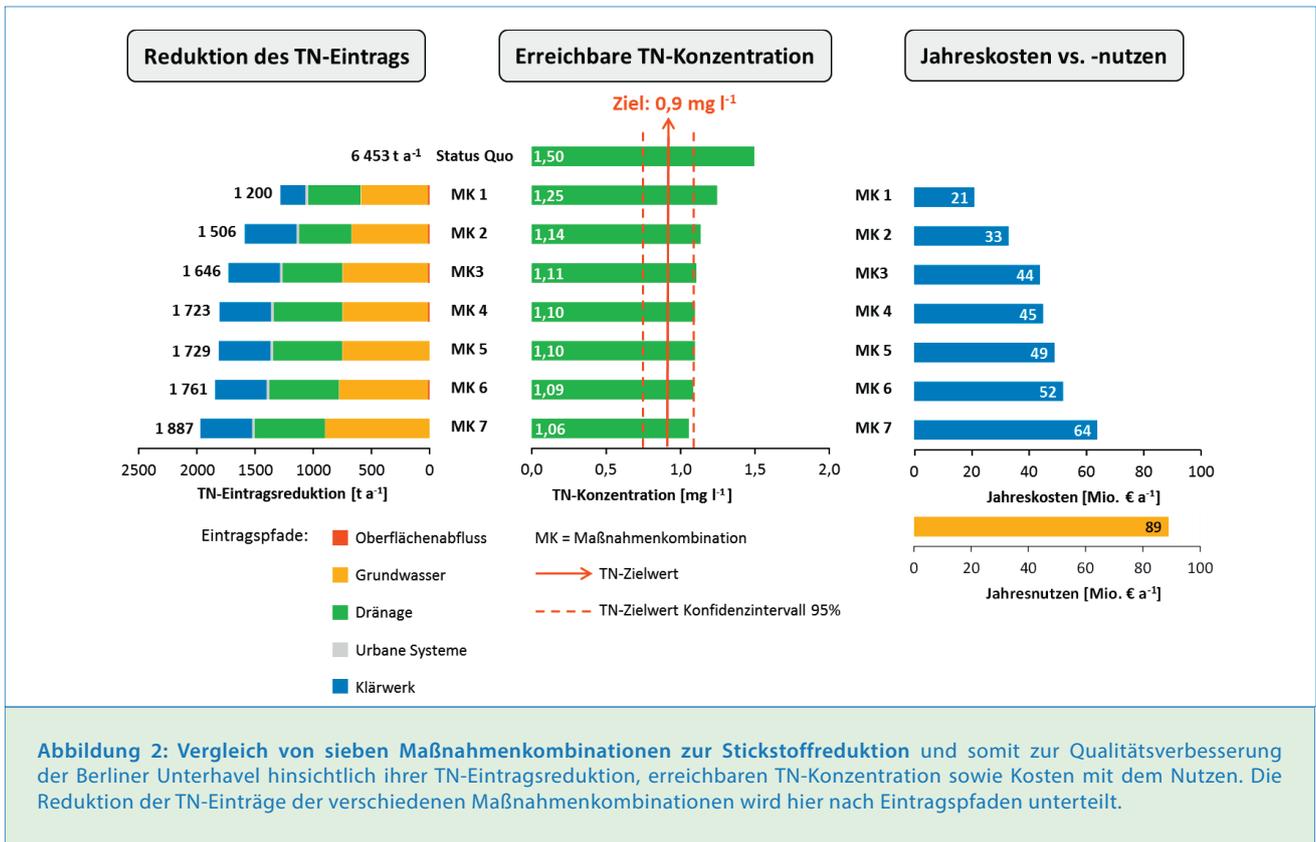


Abbildung 2: Vergleich von sieben Maßnahmenkombinationen zur Stickstoffreduktion und somit zur Qualitätsverbesserung der Berliner Unterhavel hinsichtlich ihrer TN-Eintragsreduktion, erreichbaren TN-Konzentration sowie Kosten mit dem Nutzen. Die Reduktion der TN-Einträge der verschiedenen Maßnahmenkombinationen wird hier nach Eintragspfaden unterteilt.

Nutzen des guten ökologischen Zustandes: Der ökonomische Nutzen wurde in Form der Zahlungsbereitschaft (8) der Bevölkerung für das Erreichen des guten ökologischen Zustandes der Berliner Unterhavel ermittelt. Hierzu wurden 752 Personen aus Berlin und Brandenburg befragt. Diese sind im Durchschnitt pro Haushalt und Jahr bereit, eine Summe von 31 € über einen Zeitraum von 10 Jahren zu zahlen, wenn die Berliner Unterhavel dafür den guten ökologischen Zustand erreicht. Rechnet man diese Zahlungsbereitschaft auf die Anzahl der Haushalte in Berlin und Brandenburg hoch, ergibt sich ein Nutzen für die Region von jährlich insgesamt 89 Mio. €.

Schlussfolgerungen

Aus der Analyse der aktuellen Eintragsituation und der möglichen Maßnahmen wird deutlich, dass das Reduktionspotenzial im landwirtschaftlichen Bereich des Einzugsgebiets am höchsten ist. Für eine genauere Einschätzung des lokalen N-Reduktionspotenzials sollte jedoch der Einfluss ausgewählter Standortfaktoren (z.B. Bodenverhältnisse) auf das tatsächliche N-Reduktionspotenzial einzelner Agrarumweltmaßnahmen sowie deren tatsächliche Umsetzbarkeit geprüft werden.

Die Kosten betragen für das gesamte Einzugsgebiet je nach Maßnahmenkombination zwischen 21 und 64 Mio. € pro Jahr und liegen somit deutlich niedriger als der ermittelte jährliche Nutzen von 89 Mio. € (Abb. 2). Die Kosten-Nutzen-Analyse zeigt damit ein positives Verhältnis von Kosten

und Nutzen der Nährstoffreduktion für alle Maßnahmenkombinationen, auch wenn bestehende Unsicherheiten bei den Daten hier noch nicht berücksichtigt wurden. Nur im Falle von steigenden Kosten (um bis zu 10%) und sinkendem Nutzen (um bis zu 30%) wäre lediglich die Maßnahmenkombination MK 1 noch wirtschaftlich sinnvoll.

Die vorliegende Analyse zeigt jedoch auch, dass der Bereich für die gewässerinterne Zielkonzentration nur durch Maßnahmenkombinationen mit umfangreicher Reduktion der N-Einträge (> 23%) zu erreichen ist. Allerdings wurde die Zielkonzentration nicht für die Berliner Unterhavel, sondern allgemein für den Typ Flusseen ermittelt. Die derzeitige Entwicklung der Berliner Unterhavel spricht eher dafür, dass der gute ökologische Zustand bereits bei höheren Konzentrationen erreicht wird, was den Nutzen deutlich verstärken würde. Weiterer Nutzen durch die Verbesserung der Gewässergüte stromabwärts der Berliner Unterhavel ist hier ebenfalls noch nicht berücksichtigt.

Quellen und Literatur

- (1) SenStadtUm/MLUL (2015): Reduzierung der Nährstoffbelastungen von Dahme, Spree und Havel in Berlin sowie der Unteren Havel in Brandenburg, Gemeinsames Handlungskonzept der Wasserwirtschaftsverwaltungen der Bundesländer Berlin und Brandenburg, Teil 3: Maßnahmen und Strategien zur Reduzierung der Nährstoffbelastungen. Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (SenStadtUm), Brandenburgisches Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft (MLUL). Berlin/Potsdam. 45 S.
- (2) BKG (2015): Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Landesgrenze. Heruntergeladen am 23.11.2015 unter: http://sg.geodatenzentrum.de/web_download/vg/vg1000-ew_3112/utm32s/shape/vg1000-ew_3112.utm32s.shape.kompakt.zip
- (3) MLUL Brandenburg (2014): Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg, Seen und Gewässernetz. Heruntergeladen am 09.09.2014 unter: <http://www.mugv.brandenburg.de/luas/gis/seen25.zip> und <http://www.mlul.brandenburg.de/luas/gis/gewnet25.zip>
- (4) Dolman, A. M., Mischke, U. & Wiedner, C. (2016): Lake-type specific seasonal patterns of nutrient limitation in north German lakes and target nitrogen and phosphorus concentrations for a good ecological status. *Freshwater Biology* 61: 444-456.
- (5) Venohr, M., Hirt, U., Hofmann, J., Opitz, D., Gericke, A., Wetzig, A., Natho, S., Neumann, S., Hürdler, J., Matranga, M., Mahnkopf, J., Gadegast, M. & Behrendt, H. (2011): Modelling of Nutrient Emissions in River Systems – MONERIS – Methods and Background. *International Review of Hydrobiology* 96: 435-483.
- (6) KULAP (2007-2014): Richtlinie zur Förderung umweltgerechter landwirtschaftlicher Produktionsverfahren und zur Erhaltung der Brandenburger Kulturlandschaft. Heruntergeladen am 20.10.2015 unter: http://www.mlul.brandenburg.de/media_fast/4055/Richtlinie_KULAP_2007_05-02-2014.pdf
- (7) Osterburg, B. & Runge, T. (2007): Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen in Gewässer- eine wasserschutzorientierte Landwirtschaft zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. *Landbauforschung Völkenrode*. 308 S.
- (8) Meyerhoff, J., Boeri, M. & Hartje, V. (2014): The value of water quality improvements in the region Berlin-Brandenburg as a function of distance and state residency. *Water Resources and Economics* 5: 49-66.



2.2 Die Bedeutung von Gewässern für Freizeit und Erholung

Andreas Horbat, Jürgen Meyerhoff, Jeanette Schlieff und Claudia Wiedner

Hintergrund und Ziele

Immer mehr Menschen suchen in ihrer Freizeit Erholung in der Natur. Seen und Flüsse stellen aufgrund ihrer vielfältigen Möglichkeiten zur Nutzung durch Freizeitaktivitäten besonders attraktive Ziele dar. Sie können daher zum Wohlbefinden und somit zum ökonomischen Nutzen für die Bevölkerung beitragen. Insbesondere in Ballungsräumen, wie in und um die Metropole Berlin, ist der Bedarf an Erholungsnutzung von Gewässern als hoch einzuschätzen. Konkrete Daten für die Region fehlten jedoch bislang. Ziel dieser Studie war es daher, anhand einer Bevölkerungsbefragung zu ermitteln:

- wie häufig Gewässer zu Erholungszwecken aufgesucht werden,
- welche Aktivitäten dort ausgeübt werden und
- welche Distanzen dafür zurückgelegt werden.

Ergebnisse

Die Bevölkerungsbefragung zeigt, dass die Berliner und Brandenburger Gewässer für eine Vielzahl von Freizeitaktivitäten genutzt werden. Die beliebtesten sind Spaziergehen, gefolgt von Schwimmen, Radfahren und anderen Aktivitäten wie Bootfahren, Joggen und Wandern (vgl. Abb. 1). Angeln wurde eher selten als Freizeitnutzung genannt, jedoch besuchten Angler häufiger ein Gewässer als z. B. Schwimmer. Dies dürfte vor allem darauf zurückzuführen sein, dass Schwimmen vorwiegend auf die Sommermonate beschränkt ist, was zu einer geringeren Anzahl von Gewässerbesuchen führt. Auch die Umgebung der Gewässer hat einen Einfluss auf die Besuchshäufigkeit. So steigt die Anzahl der Gewässerbesuche, wenn Sportanlagen in Gewässernähe vorhanden sind, gegenüber Gewässern ohne derartige Anlagen. Ebenso wirkt sich ein hoher Anteil an landwirtschaftlichen Flächen und Wald in unmittelbarer Gewässerumgebung positiv auf die Besuchshäufigkeit aus.



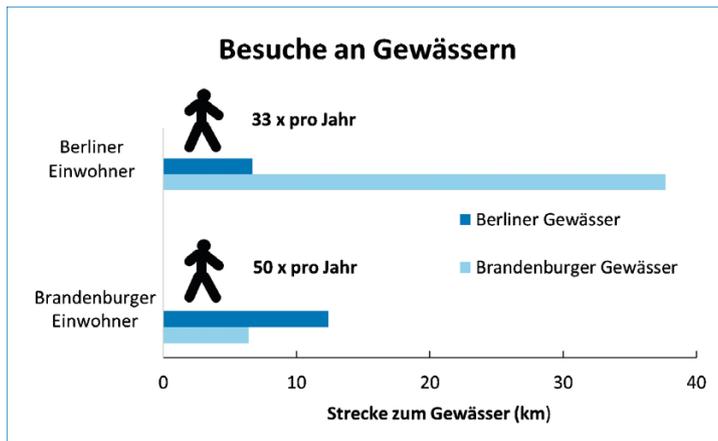


Abbildung 2: Anzahl der Gewässerbesuche und zurückgelegte Strecke zu den am häufigsten besuchten Gewässern der Berliner und Brandenburger Einwohner innerhalb eines Jahres vor der Befragung (bevölkerungsrepräsentative Stichprobe anhand 1883 Telefoninterviews).

Weiterhin zeigt sich, dass Brandenburger häufiger ein Gewässer besuchen als Berliner (Abb. 2), wobei beide bei ihren Gewässerbesuchen eher im eigenen Bundesland bleiben. Außerdem sind Berliner bereit, größere Distanzen bei ihren Gewässerbesuchen zurückzulegen als Brandenburger. Dies ist plausibel, da viele Berliner erst einmal die Stadt verlassen und somit eine größere Strecke zurücklegen müssen, um an ein Gewässer zu gelangen. Auch ist bei den Berlinern die geplante Freizeitaktivität am Gewässer ausschlaggebend für die Entfernung zum Gewässer. So legen Berliner eine größere Distanz zurück, um an ein Gewässer zum Schwimmen zu gelangen als an eines zum Spazierengehen. Dies kann so interpretiert werden, dass für das Aufsuchen von Gewässern mit höherer Wasserqualität (erkennbar an klarem Wasser), mit welchen man in „Hautkontakt“ treten möchte, die Bevölkerung bereit ist, einen höheren Aufwand zu betreiben. Dagegen sind die Distanzen zu Gewässern zum Spazierengehen und Schwimmen für Brandenburger annähernd gleich. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, dass zum Schwimmen geeignete Gewässer, hier leichter erreicht werden.

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der Bevölkerungsumfrage zeigen, dass die Gewässer in Brandenburg und Berlin für verschiedene Aktivitäten häufig aufgesucht werden und eine besondere Bedeutung für die Erholungsnutzung haben. Für den Besuch von Gewässern mit guter Wasserqualität nimmt man sogar weite Entfernungen auf sich, insbesondere zum Schwimmen. Dies zeigt, dass die Wasserqualität die Art und Intensität der Nutzung eines Gewässers zu Erholungszwecken beeinflusst und auch, dass ein Bedarf an Gewässern in einem guten ökologischen Zustand besteht.

Der ökologische Zustand kann jedoch auch durch Freizeitaktivitäten beeinflusst werden. Zu vermuten ist, dass mit zunehmender Intensität der Nutzung auch die Gefahr der Beeinträchtigung eines Gewässers steigt. Zudem können auch Konflikte zwischen verschiedenen Nutzergruppen bestehen, da die Nutzer jeweils unterschiedliche Erwartungen im Hinblick auf die Nutzung der Gewässer haben (1). Die Untersuchung der beiden wichtigen Themen Nutzungsintensität und Nutzungskonflikte waren jedoch nicht Gegenstand der Bevölkerungsbefragung und bedürfen zukünftiger Forschungsanstrengungen.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass Verbesserungen der Gewässerqualität nicht nur positive Auswirkungen auf die Gewässerökologie hätten, sondern auch auf die Erholungsnutzung eines Gewässers und dadurch die gesellschaftliche Wohlfahrt erhöhen können.

Literatur

(1) Church, A., Gilchrist, P. & Ravenscroft, N. (2007): Negotiating recreational access under asymmetrical power relations: the case of inland waterways in England. *Society & Natural Resources: An International Journal* 20: 213-227.



2.3 Nährstoffreduktion in urbanen Gewässern

Mathias Riechel, Andreas Matzinger und Pascale Rouault

Hintergrund und Ziele

Die Einträge von Stickstoff und Phosphor in Oberflächengewässer wurden in Deutschland in den letzten drei Jahrzehnten erheblich verringert (1), wozu insbesondere Modernisierungen der Kläranlagen beigetragen haben. Trotz dieser Verbesserungen sind noch immer 21% der Stickstoff- und 45% der gesamten Phosphoreinträge auf Klärwerks-, Regenwasser- und Mischwassereinleitungen zurückzuführen (1). Aus diesen drei urbanen Quellen können Nährstofffrachten durch verschiedene Maßnahmen theoretisch weiter gesenkt werden (2). In der Praxis fehlen jedoch bisher Erfahrungswerte zum Erfolg individueller urbaner Maßnahmen. Hier werden zwei Fallstudien zu urbanen Maßnahmen, der erzielten Nährstoffreduktion und Auswirkung auf den ökologischen Zustand von Gewässern vorgestellt:

- Auswirkungen der Klärwerksstilllegung Berlin-Falkenberg auf die beiden Fließgewässer Wuhle und Stadtspre,ee,
- Effekte von Retentionsbodenfiltern (RBF) auf urbane Kleinseen am Beispiel des Halensees und des Biesdorfer Baggersees.

Ergebnisse

Auswirkungen der Klärwerksstilllegung Berlin-Falkenberg

Das Klärwerk Berlin-Falkenberg wurde 1968 in Betrieb genommen und im Jahr 2003 aufgrund der schlechten Ablaufwerte und des abnehmenden Abwasseraufkommens stillgelegt. Das Abwasser wird seitdem auf die Klärwerke Waßmannsdorf und Schönertlinde verteilt. Für die Wuhle bedeutet die Stilllegung des Klärwerks Falkenberg eine Reduktion der P- und N-Frachten im Unterlauf um > 90%. Durch den Wegfall des Klärwerks werden Regenwassereinleitungen zur dominanten Quelle für Nährstoffe in der Wuhle. In der stromab liegenden Stadtspre,ee haben die Nährstofffrachten seit Klärwerksstilllegung um 39% für N und 19% für P abgenommen, wobei der Klärwerkeffekt teilweise durch reduzierte Stofffrachten aus den Zuflüssen Müggelspre,ee und Dahme überlagert wird.

Eine mögliche Veränderung des ökologischen Zustandes der Wuhle kann aufgrund der fehlenden Daten zu Phytoplankton und Makrophyten nicht beurteilt werden. Allerdings zeigt der Saprobieindex, trotz der deutlich verringerten Nährstoffeinträge nach Klärwerksstilllegung, keine

deutliche Verbesserung. Entsprechend ist auch keine Verbesserung des ökologischen Zustandes zu erwarten. Dabei ist es wichtig zu berücksichtigen, dass sich durch die Klärwerksstilllegung auch der mittlere Basisabfluss der Wuhle von $1,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ auf $0,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ deutlich verringert hat. Die Fließgeschwindigkeiten nahmen im Mittel auf Werte $< 10 \text{ cm s}^{-1}$ ab. Möglicherweise wirken diese stark veränderten hydraulischen Verhältnisse einer Verbesserung des ökologischen Zustandes entgegen. Dagegen zeigt sich in der flussabwärtsliegenden Stadtspre mit Fließgeschwindigkeiten im Bereich von $10\text{-}30 \text{ cm s}^{-1}$ seit Stilllegung des Klärwerks eine deutliche Abnahme der Chla-Konzentration (um 43%), während sich die Verhältnisse oberhalb der Wuhlemündung kaum verändert haben (Abb. 1).

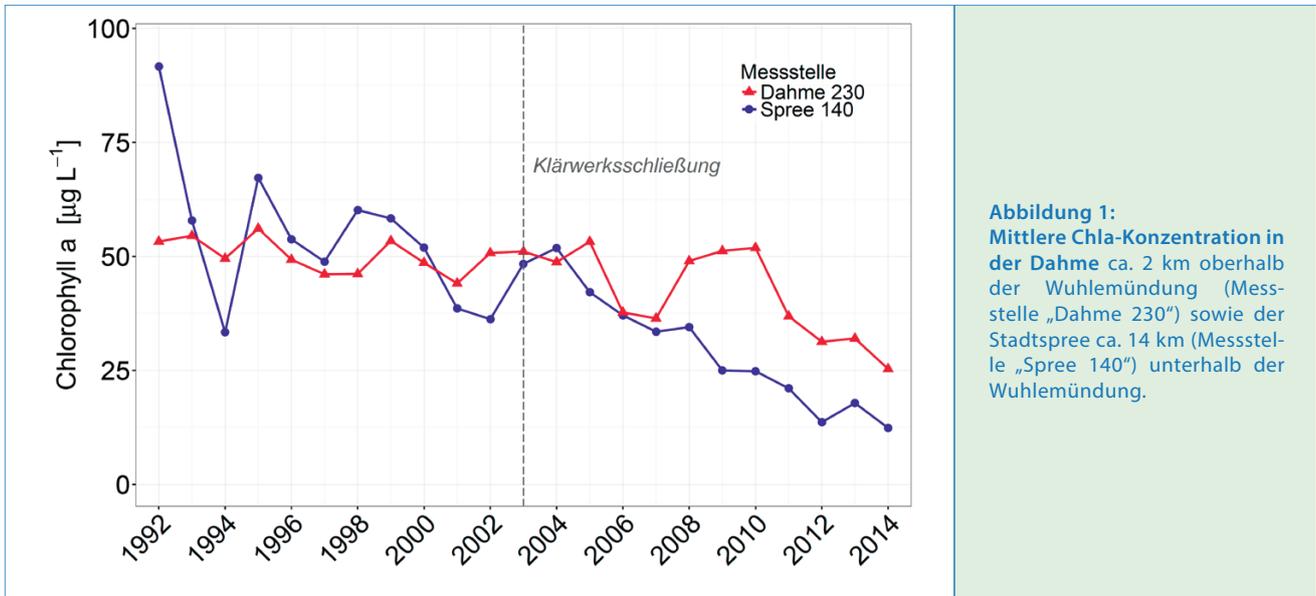


Abbildung 1: Mittlere Chla-Konzentration in der Dahme ca. 2 km oberhalb der Wuhlemündung (Messstelle „Dahme 230“) sowie der Stadtspre ca. 14 km (Messstelle „Spree 140“) unterhalb der Wuhlemündung.

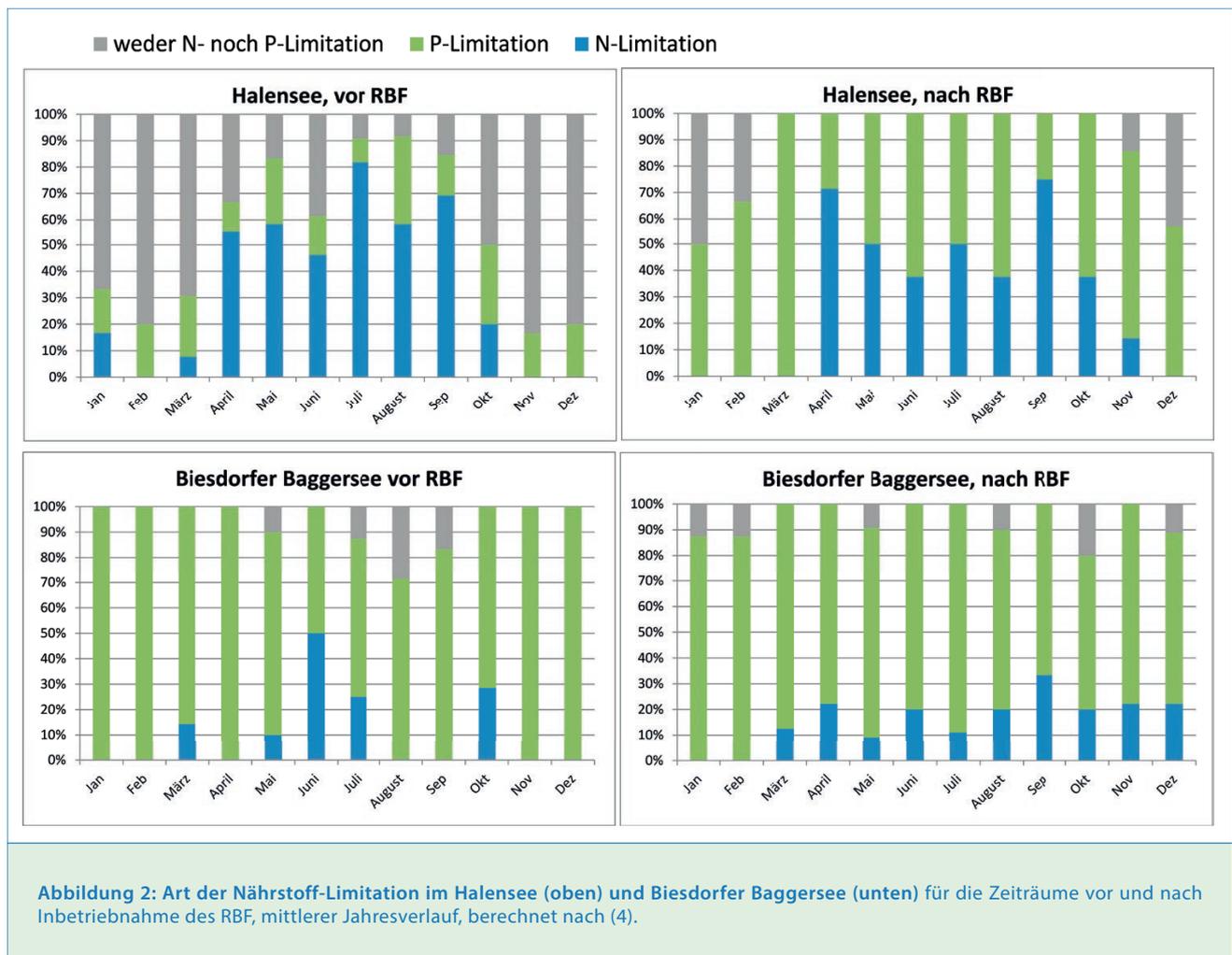
Bedeutend für die Wuhle ist zudem, dass die Konzentrationen von Ammonium, das bei hohen pH-Werten und niedrigen Temperaturen zum fischtoxischen Ammoniak dissoziiert, stark zurückgegangen sind. Laut einer Bewertung nach (3) liegen die Werte seit der Stilllegung nicht mehr im kritischen Bereich für Makrozoobenthos und Fische.

Effekte von Retentionsbodenfiltern am Beispiel des Halensees und des Biesdorfer Baggersees: Die Leistungsfähigkeit der Retentionsbodenfilter (RBF) am Halensee und am Biesdorfer Baggersee liegt mit einem N-Rückhalt von 50% und einem P-Rückhalt von $> 90\%$ deutlich über dem Median bekannter Literaturwerte (30% N- und 70% P-Rückhalt, siehe NITROLIMIT-Diskussionspapier Band 2 (2)).

Die Reduktion der gesamten Nährstoffeinträge in die Seen fällt jedoch in beiden Fällen geringer aus, da auch andere bedeutende Eintragsquellen vorliegen. Im Falle des Halensees wird topographisch bedingt nur ein Teil des Regenwasserabflusses aus dem Einzugsgebiet durch den RBF gereinigt. Daher nehmen die gesamten Stoffeinträge in den Halensee lediglich um 35% für N und 75% für P ab. Beim Biesdorfer Baggersee wird zwar der gesamte zugeleitete Regenwasserabfluss im RBF gereinigt, allerdings wird die Wasserbilanz des Sees durch den Zustrom von Grundwasser dominiert ($> 80\%$). Selbst unter der Annahme einer niedrigen (unbekannten) Nährstoffkonzentration im Grundwasser dominiert diese Quelle auch die Nährstoffeinträge. Dazu kommt, dass die Nährstoffe im Grundwasser in gelöster Form vorliegen und damit in der Regel leichter pflanzenverfügbar sind als im Regenwasserabfluss, in dem ein erheblicher Teil partikulär vorliegt.

Weder im Halensee noch im Biesdorfer Baggersee führt die Nährstoffreduktion zu einer Minderung der Chla-Konzentrationen. Dennoch hat sich im Halensee die Sichttiefe und damit die Lichtverfügbarkeit deutlich erhöht, wodurch die Phosphor-Reduktion möglicherweise kompensiert wird. Vor Einsatz des RBF am Halensee wurde das Phytoplanktonwachstum nur selten durch P oder N begrenzt. Nach dem Einsatz des RBF wurde häufig P-Limitation beobachtet

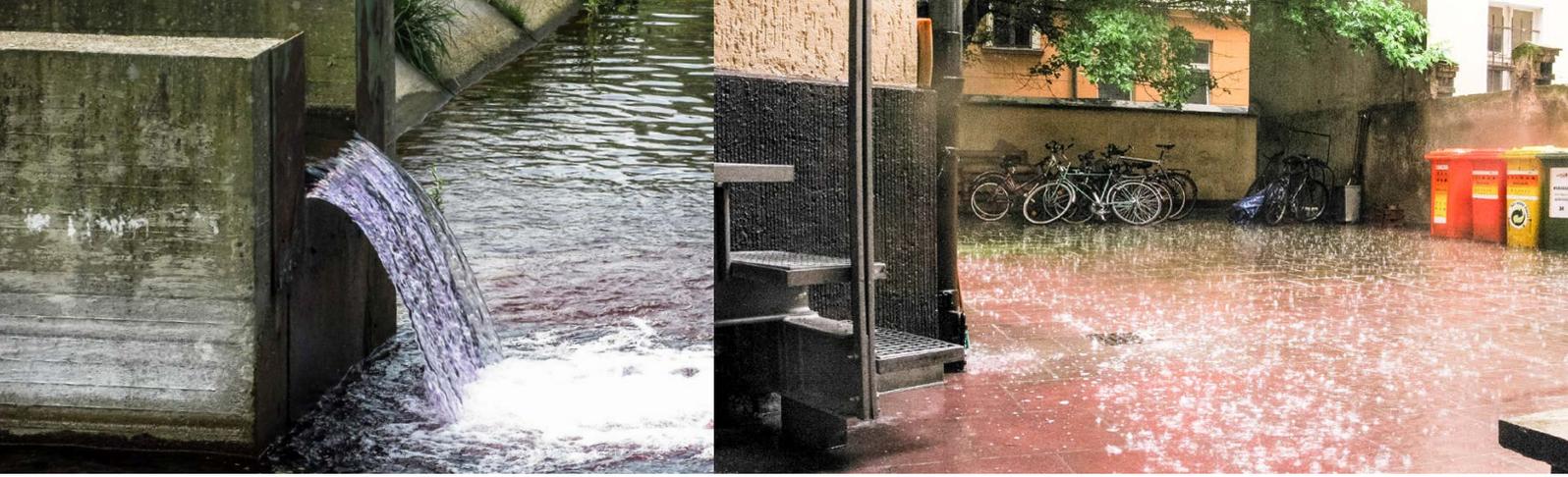
(Abb. 2, oben). Daher ist zu erwarten, dass zusätzliche Maßnahmen der Nährstoffreduktion auch eine Verringerung der Chla-Konzentration bewirken würden. Beim Biesdorfer Baggersee liegt vor und nach dem Bau des RBF überwiegend P-Limitation vor (Abb. 2, unten); da sich die P-Konzentration aufgrund der Grundwasserdominanz aber nicht signifikant verändert hat, ist auch keine Veränderung des ökologischen Zustandes erwartbar.



Zusammenfassend kann man feststellen, dass der Halensee stark von Straßenabflüssen geprägt ist, die durch den RBF gut gereinigt werden und einen positiven Effekt im See zeigen. Der Biesdorfer Baggersee wird vom Zustrom des Grundwassers dominiert, so dass die Reinigung der Straßenabflüsse nur eine untergeordnete Rolle für die Nährstoffkonzentrationen spielt. Dennoch wurde in beiden Seen eine deutliche Reduktion der Keimbelastung beobachtet, so dass nun die Anforderungen der EG Badegewässer-Richtlinie (E.coli < 900 KBE/100ml) in beiden Fällen erfüllt werden.

Schlussfolgerungen

Die Auswertungen zeigen zunächst, dass Maßnahmen, die eine Reduktion der Nährstofffrachten mit sich bringen, auch zu messbaren positiven Effekten in allen betrachteten urbanen Gewässern führen. Allerdings hat sich die Gewässertrophie (bewertet über die Chla-Konzentration) nur in einem Beispiel - der Stadtspre - signifikant verbessert. In den anderen Fällen wurde die erreichte Nährstoffreduktion durch eine Veränderung der hydraulischen Bedingungen oder eine Erhöhung der Lichtverfügbarkeit zumindest teilweise kompensiert. Dennoch zeigen Untersuchungen zur Nährstofflimitation, dass die umgesetzten Maßnahmen auch in diesen Fällen einen wichtigen ersten Schritt darstellen und zusätzliche Maßnahmen auch eine Verringerung der Chla-Konzentration erwarten lassen.



Quellen und Literatur

(1) Fuchs, S., Scherer, U., Wander, R., Behrendt, H., Venohr, M., Opitz, D., Hillenbrand, T., Marscheider-Weidemann, F. & Götz, T. (2010): Berechnung von Stoffeinträgen in die Fließgewässer Deutschlands mit dem Modell MONERIS. Umweltbundesamt 45/2010. 243 S.

(2) Mutz, D., Matzinger, A. & Remy, C. (2013): Maßnahmen zur Reduktion der Nährstoffeinträge urbaner Bereiche. NITROLIMIT Diskussionspapier, Band 2. Bad Saarow. 44 S.

(3) Lammersen, R. (1997): Die Auswirkungen der Stadtentwässerung auf den Stoffhaushalt von Fließgewässern, Schriftenreihe für Stadtentwässerung und Gewässerschutz des Institutes für Wasserwirtschaft der Universität Hannover, Heft 15. 374 S.

(4) Dolman, A. M., Mischke, U. & Wiedner, C. (2016): Lake-type specific seasonal patterns of nutrient limitation in north German lakes and target nitrogen and phosphorus concentrations for a good ecological status. *Freshwater Biology* 61: 444-456.

Bildnachweis: Luftaufnahme Seite 30, oben: Holger Mombrei, www.fotos-aus-der-luft.de.



2.4 Nährstoffreduktionspotenzial, Beispiel Storkower Seenkette

Jacqueline Rücker, Andreas Horbat und Claudia Wiedner

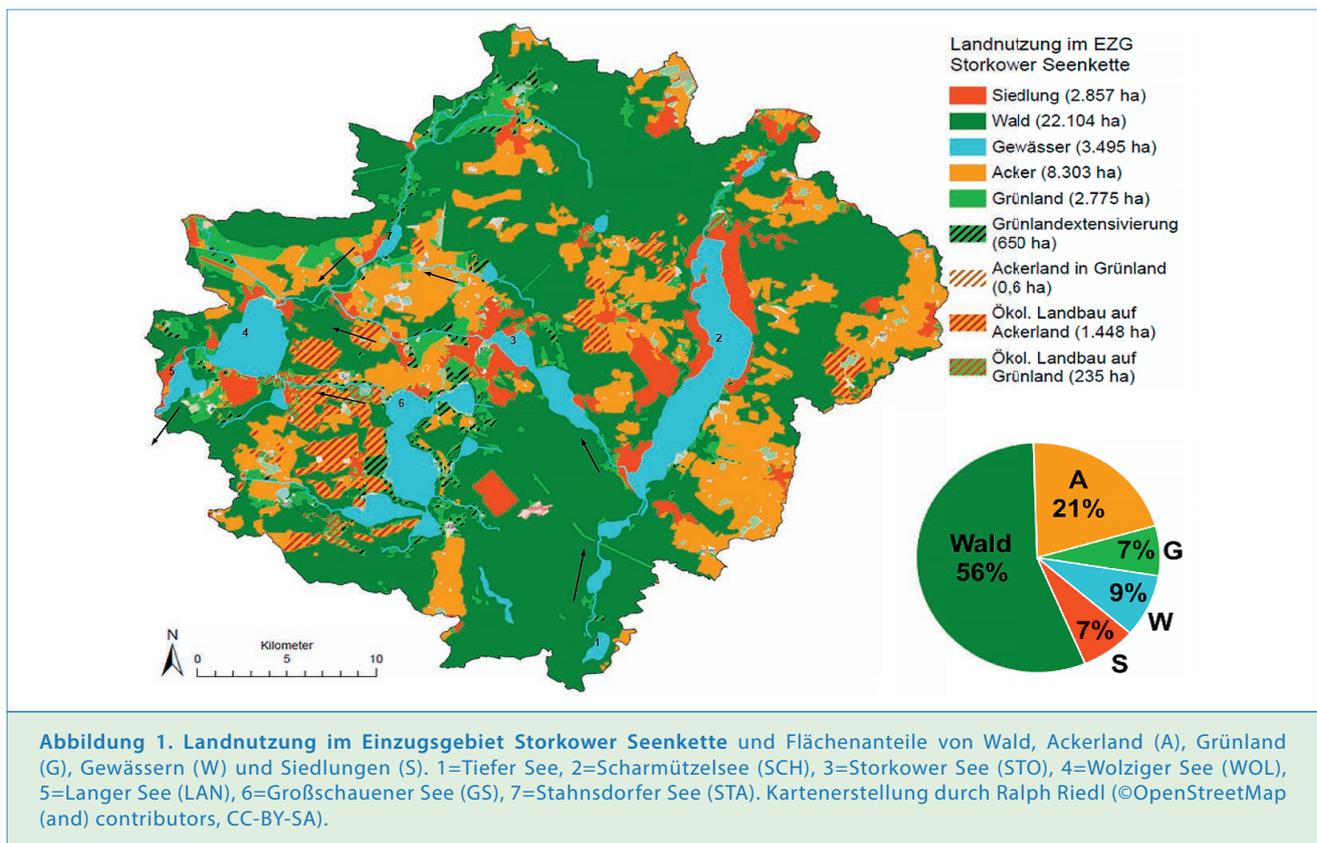
Die Scharmützelseeeregion ist mit ihren über natürliche Fließe und künstliche Kanäle vernetzten Gewässern typisch für die Norddeutsche Tiefebene (Abb. 1). Mitte der 1990er Jahre wurde die Wasserqualität der meisten Seen als hocheutroph bis polytroph eingestuft. Zu dieser Zeit wurden die Nährstoffeinträge, insbesondere durch den Ausbau der kommunalen Abwasserbehandlung, verringert. Dadurch verbesserte sich die Wasserqualität in vielen Seen. Dennoch erreicht gegenwärtig nur ein See, der am Beginn des hydrologischen Einzugsgebietes (EZG) liegt, den von der EU-WRRL geforderten guten ökologischen Zustand, und die Trophie steigt entlang der Fließrichtung im EZG deutlich an (Tab. 1).

Ziel dieses Teilprojektes war es, für ein Teileinzugsgebiet der Scharmützelseeeregion, die Storkower Seenkette, Ursachen der Nährstoffeinträge zu ermitteln und ein Konzept zur Reduktion von Nährstoffen und der Verbesserung der Gewässergüte zu erarbeiten. Dazu wurden:

- Nährstoffemissionen und Nährstofffrachten und deren Ursachen ermittelt
- Eintragsminderungen aus landwirtschaftlichen Nutzflächen durch die Ausweitung von Maßnahmen des Kulturlandschaftsprogramms (KULAP) und die Kosten für ihre Umsetzung abgeschätzt
- Sanierungsmaßnahmen für Nährstoffreduktionen im EZG vorgeschlagen und erörtert.

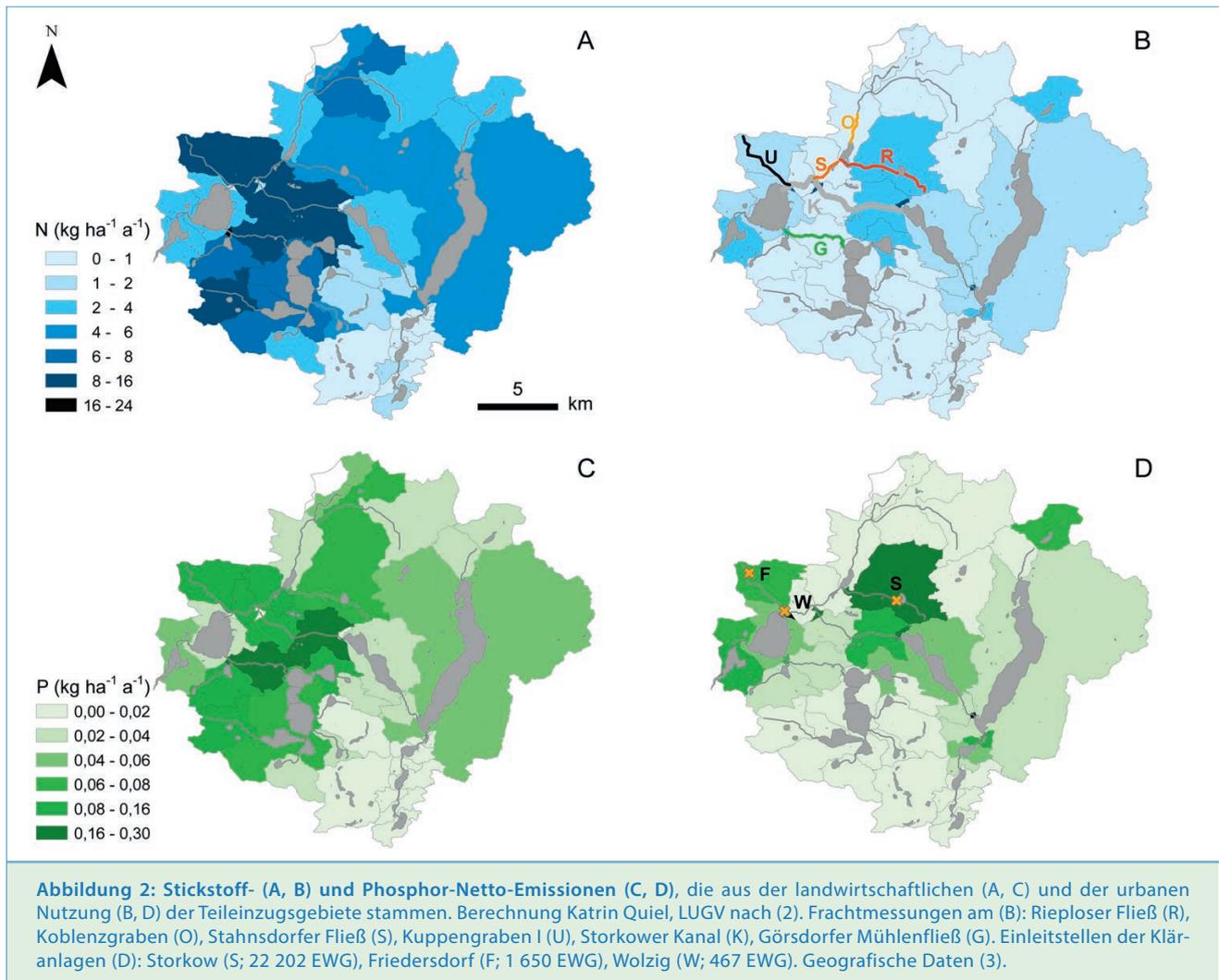
Tabelle 1: Trophischer Zustand und Trophie-Index nach LAWA (2014) der untersuchten Seen (Mittelwert 2011 – 2015). Abkürzungen der Seennamen siehe Abb. 1; m=mesotroph, e=eutroph, p=polytroph.

See		Trophie	
1	TIE	1,58	m 1
2	SCH	2,53	e 1
3	STO	2,67	e 1
4	WOL	3,26	e 2
5	LAN	3,72	p 1
6	GS	3,96	p 1
7	STA	4,59	p 2



Ergebnisse

Durch den größeren Anteil von landwirtschaftlich genutzten Flächen (Abb. 1) wurden für den westlichen Teil des Untersuchungsgebietes auf Basis von Landnutzungsdaten und Bodenarten (2) höhere Stickstoff- und Phosphor-Nettoausträge aus den Teileinzugsgebieten ermittelt (Abb. 2). Bei dieser Berechnung wurden die Nährstoffretention in Wasserkörpern und eine Weitergabe der Nährstofffrachten nicht berücksichtigt. Das Teileinzugsgebiet des Rieploser Fließes, in das die größte Kläranlage der Region entwässert, fällt insbesondere durch hohe Netto-Phosphor-Emissionswerte auf (Abb. 2 D).



Unabhängig von der Lage der Seen im Einzugsgebiet stammen 50 – 70% der N-Einträge aus der Landwirtschaft, bei den P-Einträgen hingegen nur etwa ein Drittel. Anders ist es bei urbanen Quellen. Sie bringen 7 – 40% der P-Einträge, jedoch nur 5 – 17% der N-Einträge. Die besonders große Spanne bei P ergibt sich durch den Einfluss der Kläranlagen.

Für die Planung von Sanierungsmaßnahmen war es notwendig, die hydrologischen Bedingungen und Nährstofffrachten (Produkt aus Durchfluss und Konzentration) in ihrem saisonalen Verlauf zu bestimmen. Dazu wurden Daten des LUGV ausgewertet und eigene Messungen von Durchflüssen und Nährstoffkonzentrationen durchgeführt (Abb. 2B). Wie in Abbildung 3 für verschiedene Teileinzugsgebiete des Wolziger Sees gezeigt wird, sind die Nährstofffrachten im Winterhalbjahr (Nov. – April), vor allem wegen der höheren Durchflüsse, größer als im Sommer.

Aufgrund der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung des Gebietes um die Großschauener Seen (vgl. Abb. 1, 2A) transportiert das Görtdorfer Mühlenfließ etwa 40% der N-Fracht im Sommer und

30% im Winter, obwohl es nur rund 20% der Wassermenge liefert (Abb. 3). Das EZG des Stahnsdorfer Fließes fällt insbesondere dadurch auf, dass es im Sommerhalbjahr die Hälfte der P-Fracht für den Wolziger See liefert bei nur rund ¼ der Wassermenge. Dabei ist nicht nur das Rieploser Fließ Quelle der großen P-Fracht, sondern vor allem der Stahnsdorfer See mit seinem Rest-EZG. Auf Grund der jahrzehntelangen Beeinflussung durch den Klärwerksablauf wird eine hohe Belastung der Sedimente im See und des Grundwassers in den angrenzenden Auen vermutet. Auch der andere Klärwerksableiter (Kuppengraben I) bringt trotz geringer Wasserführung beträchtliche Nährstofffrachten (Abb. 3).

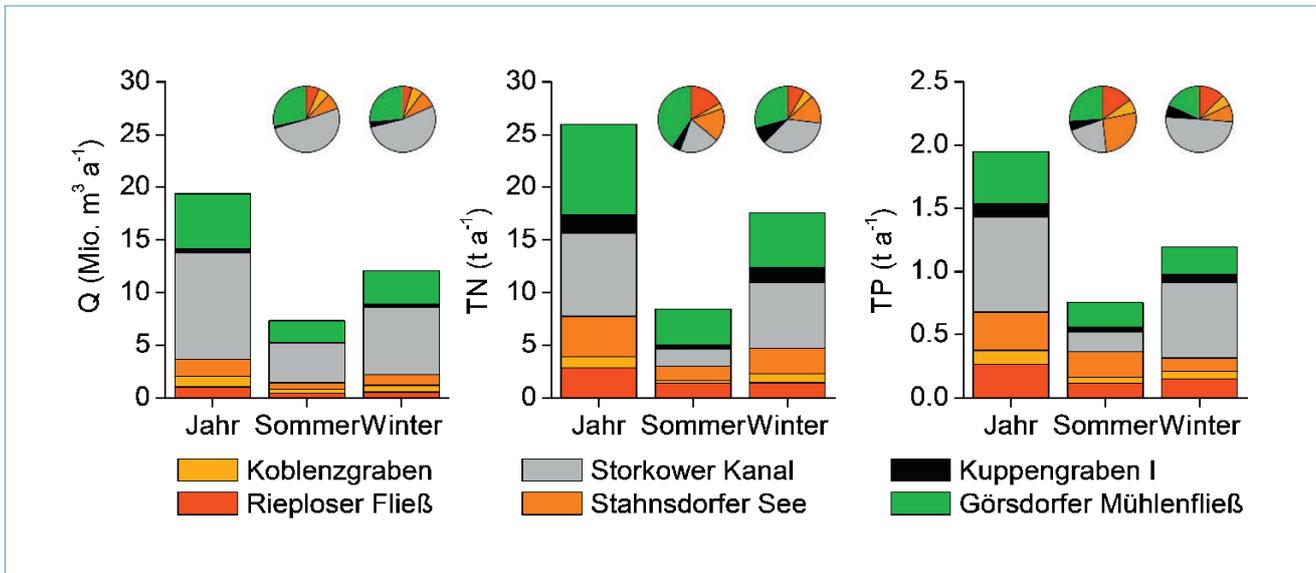


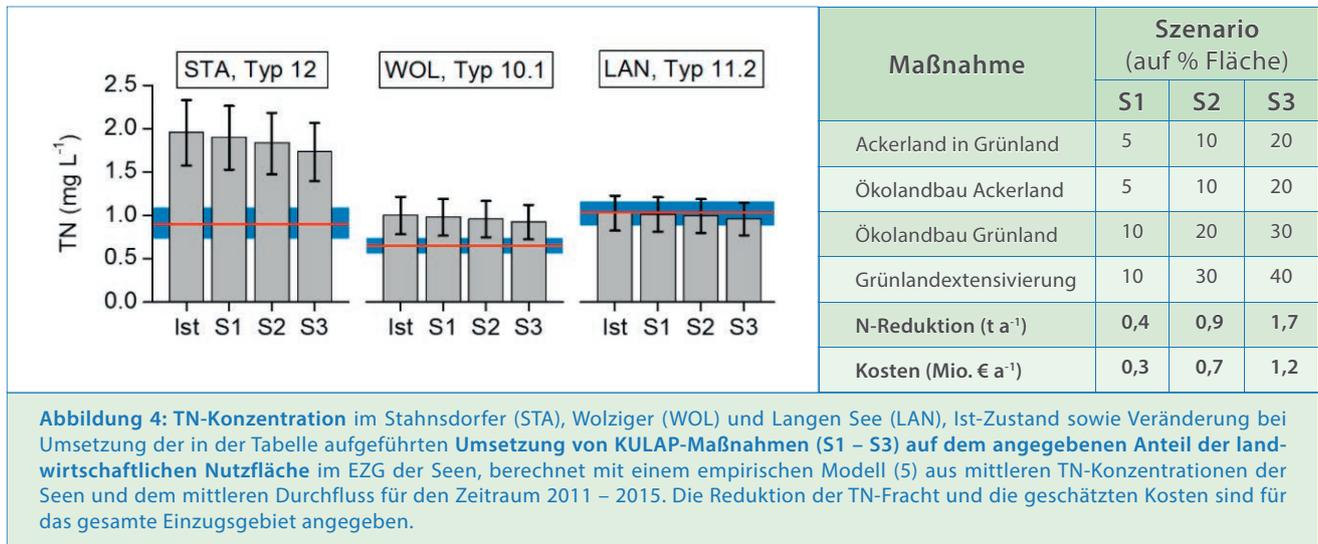
Abbildung 3: Durchflüsse (Q), TN- und TP-Frachten aus den Teileinzugsgebieten des Wolziger Sees 2015/16. Für den Storkower Kanal wurden rechnerisch die Beiträge der Teil-EZG Kuppengraben I und Stahnsdorfer Fließ (rote Farbtöne) ermittelt. Letzteres setzt sich aus dem Koblenzgraben, dem Rieploser Fließ sowie einem errechneten Restanteil aus dem EZG des Stahnsdorfer Sees zusammen.

In NITROLIMIT wurden verschiedene Sanierungsmaßnahmen im EZG des Stahnsdorfer Sees geprüft (4). Als effektivste und kostengünstigste Maßnahme wurde die Umleitung des Rieploser Fließes über einen künstlichen Schilfpolder in das Stahnsdorfer Fließ unterhalb des Sees ermittelt. Sie würde zu einer Reduzierung der TN-Fracht für den Wolziger See um 5,5% bzw. der TP-Fracht um 4,2% führen. Für den Stahnsdorfer See hingegen kann keine sichere Verbesserung der Wasserqualität mit Hilfe von empirischen Modellen (5) vorhergesagt werden, da mit der Umleitung des Rieploser Fließes dem See ca. 1/3 des Durchflusses entzogen wird und sich die theoretische Wasseraufenthaltszeit verlängert.

Für die mögliche Ausweitung von KULAP-Maßnahmen wurden 3 Szenarien der Umsetzung auf unterschiedlichen Anteilen der landwirtschaftlichen Nutzflächen im gesamten Untersuchungsgebiet sowie die daraus resultierende Verminderung der N-Einträge und die damit verbundenen Kosten berechnet (Abb. 4). Mit Hilfe eines empirischen Modells (5) wurde die daraus resultierende Konzentrationsminderung für drei Seen abgeschätzt und dem seetypspezifischen TN-Zielwert für die Erreichung des guten ökologischen Zustands (vgl. Kap. 1.1) gegenübergestellt. Trotz einer leichten Verminderung der TN-Konzentrationen bliebe der Stahnsdorfer See weit entfernt vom Zielwert, der Wolziger See würde den Vertrauensbereich des Zielwertes bereits erreichen. Im Langen See würde die N-Limitation weiter verstärkt werden und könnte zu einer Verringerung der Phytoplanktonbiomasse führen.

Schlussfolgerungen

In der Storkower Seenkette sind hohe Nährstofffrachten aus dem Einzugsgebiet für die Verfehlung der Ziele der EU-WRRRL verantwortlich. Nach der Beseitigung von Punktquellen in den 1990er Jahren dominieren heute diffuse Einträge, die bei Stickstoff vor allem aus der Landwirtschaft stammen.



Klärwerksabläufe beeinträchtigen die Wasserqualität in den unterliegenden Gewässern. Daher ist eine Kombination von Maßnahmen zur Reduktion von Nährstoffausträgen aus der Landwirtschaft und zur Optimierung von Kläranlagen bzw. Sanierungsmaßnahmen an Klärwerksabläufen zu empfehlen. Die für Einzelmaßnahmen prognostizierten Konzentrationsminderungen sind zwar gering, können in nährstofflimitierten Seen (z.B. N-Limitation im Langen See) jedoch zu einer Verringerung der Phytoplanktonbiomasse führen. Ein kumulativer Effekt von verschiedenen Nährstoffreduktionsmaßnahmen ist wahrscheinlich, der durch biologische Reaktionen im Gewässer sowie Nahrungsnetzefekte noch verstärkt werden kann.

Literatur

- (1) Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2014): Trophieklassifikation von Seen. Richtlinie zur Ermittlung des Trophie-Index nach LAWA für natürliche Seen, Baggerseen, Talsperren und Speicherseen. Empfehlungen Oberirdische Gewässer. LAWA – Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.). <http://www.lawa.de/Publikationen.html>.
- (2) Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (2015): Methodik der Nährstoffbilanzierung in Brandenburg als Grundlage für die Ausweisung von Maßnahmen zur Nährstoffreduzierung für den BWPL 2014. Fachbeiträge des LUGV 144. 23 S.
- (3) Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (2014): <http://www.mugv.brandenburg.de/luas/gis/ezg25.zip>; <http://www.mugv.brandenburg.de/luas/gis/gewnet25.zip>; <http://www.mugv.brandenburg.de/luas/gis/seen25.zip>; <http://www.mlul.brandenburg.de/luas/gis/kommka.zip>. aufgerufen am 09.09.2014.
- (4) AKUT Umweltschutz Ingenieure Burkard und Partner (2016): Gutachterliche Stellungnahme: Nährstoffretention mit Hilfe von künstlichen Feuchtgebieten im EZG Storkower Seenkette. 22 S.
- (5) Organization for Economic Cooperation and Development (1982): Eutrophication of Waters – Monitoring, assessment and control. OECD, Paris, 154 S.



2.5 Akzeptanz von Agrarumweltmaßnahmen bei Landwirten

Andreas Horbat

Hintergrund und Ziele

Wie in den vorherigen Kapiteln deutlich wurde, stammt insbesondere im ländlichen Raum ein Großteil der N-Einträge aus der Landwirtschaft. Über die Bundesländer angebotene und mit EU-Mitteln kofinanzierte Agrarumweltmaßnahmen bieten den Landwirten die Möglichkeit, ihre landwirtschaftlichen Flächen ressourcenschonender zu bewirtschaften und somit die Stickstoffeinträge in die Gewässer zu reduzieren (1). Da die Teilnahme an Agrarumweltmaßnahmen für die Landwirte freiwillig ist, müssen diese bereit sein, die Maßnahmen auf ihrer Fläche umzusetzen. Dafür müssen sie sich im Vorfeld überlegen, welche Vor- und Nachteile mit den zur Maßnahme gehörigen Auflagen verbunden sind und ob die Anforderungen zu Lasten ihrer Wettbewerbsfähigkeit gehen. In Brandenburg und Berlin wurden die Fördermöglichkeiten bisher nicht ausgeschöpft. So konnte zum Beispiel die angebotene Maßnahme „Freiwilliger Gewässerschutz“ bis zum Jahr 2013 nur auf etwas mehr als 7.100 ha gefördert werden. Angestrebt waren 30.000 ha (2).

Ziel dieser Studie war es daher, anhand einer Umfrage bei Landwirten in Brandenburg und Berlin zu ermitteln:

- welche Faktoren die Teilnahme an Agrarumweltmaßnahmen beeinflussen und
- welche Gruppen von Landwirten mit ähnlichen Präferenzen sich unterscheiden lassen.

Ergebnisse

Insgesamt wurden mehr als 560 Landwirte in Brandenburg und Berlin unter Verwendung eines Choice Experimentes (CE) befragt, unter welchen Vertragsbedingungen (Vertragslaufzeit, Kündigungsoption, geforderte Mindestfläche, Bearbeitungsaufwand, Kontrollen) sie an den angebotenen Agrarumweltmaßnahmen „Ackerland in Grünland“ (Umstellung ohne Verlust des Status als Ackerland), „Gewässerschutz“ (Einhaltung vorgegebener N-Salden) und „Ökologischer Landbau“ (ökologische Bewirtschaftungsform) teilnehmen würden. Dabei hatte der Landwirt zusätzlich die Möglichkeit, sich gegen alle drei Maßnahmen zu entscheiden. Die Ergebnisse der Auswertung zeigen, dass lediglich etwas mehr als die Hälfte der Entscheidungen für eine der drei angebotenen Maßnahmen war. Bei 45% der von den Landwirten getroffenen Entscheidungen wurde keine Agrarumweltmaßnahme ausgewählt. Längere Vertragslaufzeiten und ein zunehmender Bearbeitungsaufwand führten bei allen Maßnahmen zu erhöhter Wahrscheinlichkeit, eine Maßnahme nicht zu wählen. Dieser negative Einfluss war ebenso bei einem zunehmenden Flächenanteil, die ein Landwirt für die Maßnahme zur Verfügung stellen muss, bei den Maßnahmen „Ackerland in Grünland“ und „Gewässerschutz“ zu beobachten. Die Option, den Vertrag zum Jahresende auch vor der eigentlichen Vertragslaufzeit zu kündigen, erhöhte hingegen die Wahrscheinlichkeit, dass die Maßnahmen „Ackerland in Grünland“ und „Gewässerschutz“ vom Landwirt gewählt wurden.

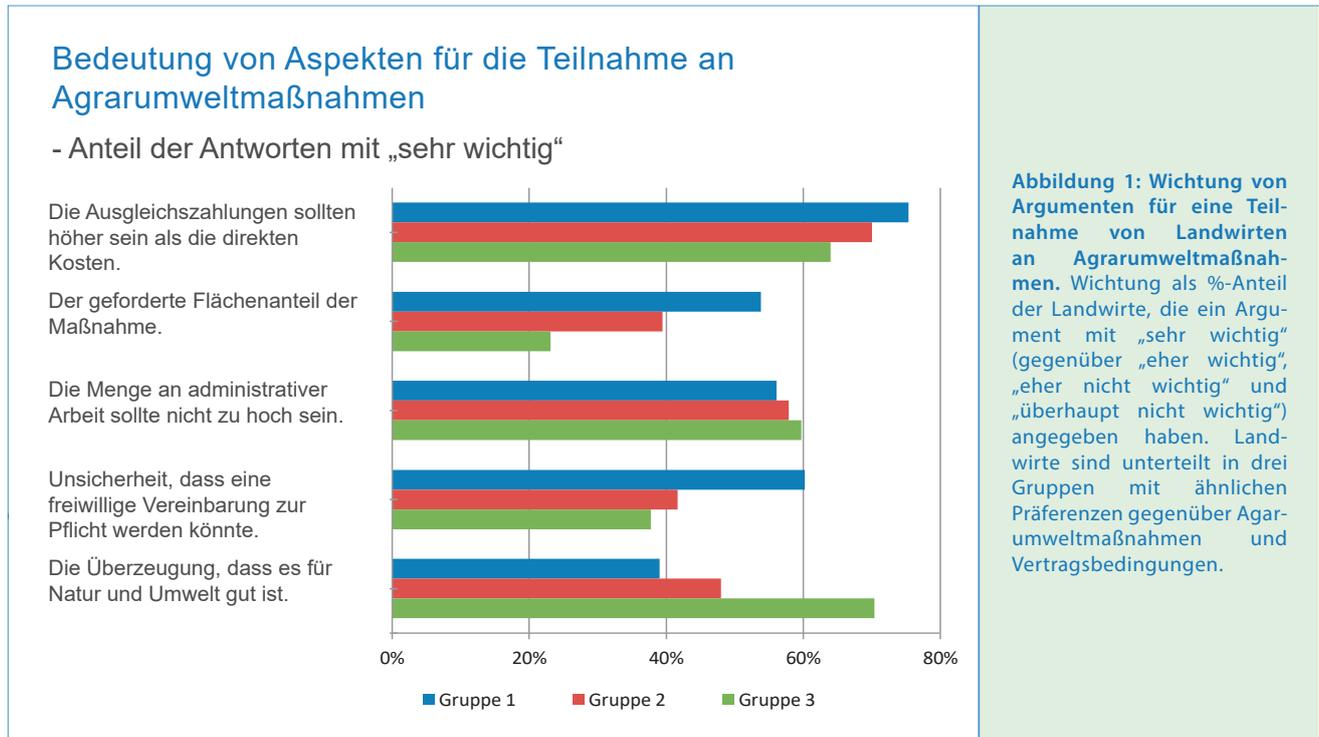
Weiterhin wurde untersucht, welche betriebswirtschaftlichen Faktoren die Auswahl einer Maßnahme beeinflussen. Dabei zeigte sich, dass mit zunehmender landwirtschaftlicher Flächenausstattung eines Betriebes sich die Auswahlwahrscheinlichkeit für die Maßnahme „Ackerland in Grünland“ erhöht, wohingegen sie für den „Ökologischen Landbau“ sinkt. Auch der Anteil von Grünland und Ackerland an der landwirtschaftlichen Fläche eines Betriebes hatte auf die Auswahl bestimmter Maßnahmen einen Einfluss. Bei zunehmendem Ackerlandanteil erhöht sich die Auswahlwahrscheinlichkeit für die Maßnahme „Gewässerschutz“. Bei steigendem Grünlandanteil erhöht sich hingegen die Wahrscheinlichkeit, dass Landwirte die Maßnahme „Ackerland in Grünland“ wählen. Auch die Bodenqualität eines Betriebsstandortes zeigte einen signifikanten Einfluss bei der Auswahl. Je schlechter bei einem Betrieb die Qualität des Bodens ist, auf dem er wirtschaftet, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Landwirt an einer der angebotenen Agrarumweltmaßnahmen teilnimmt.

Des Weiteren konnten bei den befragten Landwirten mit Hilfe einer latenten Klassenanalyse drei Gruppen mit ähnlichen Präferenzen gegenüber den Maßnahmen bzw. den bestimmenden Vertragsbedingungen ermittelt werden (siehe Tab. 1). Die erste Gruppe (n=200) an Landwirten lehnt Agrarumweltmaßnahmen größtenteils ab. Die Betriebe dieser Landwirte werden mehrheitlich im Haupterwerb geführt und besitzen eine überdurchschnittlich große Flächenausstattung mit einem hohen Anteil an Ackerland. Die zweite und größte Gruppe (n=229) bilden Landwirte, welche sich oftmals für Agrarumweltmaßnahmen entscheiden, aber eine deutliche Ablehnung gegenüber der Maßnahme „Ökologischer Landbau“ zeigen. In der dritten und kleinsten Gruppe (n=136) lassen sich hingegen Landwirte vereinen, die eine deutliche Präferenz für die Maßnahme „Ökologischer Landbau“ haben. Deren Betriebe werden oft im Nebenerwerb geführt und besitzen eine kleine Flächenausstattung mit einem hohen Grünlandanteil. Hier sind vor allem Betriebe zu finden, die bereits als ökologischer Landwirtschaftsbetrieb geführt werden (47%).

Tabelle 1: Ergebnisse der Befragung von Landwirten in Brandenburg und Berlin. Dargestellt sind die Wahlhäufigkeiten von Agrarumweltmaßnahmen innerhalb des Choice Experimentes (CE) sowie die deskriptive Statistik der befragten landwirtschaftlichen Betriebe.

		1. Gruppe Ø (n = 200)	2. Gruppe Ø (n = 229)	3. Gruppe Ø (n = 136)	Total Ø (n= 565)
Wahlhäufigkeit im CE	Ackerland in Grünland (%)	5	44	14	22
	Gewässerschutz (%)	5	26	10	14
	Ökologischer Landbau (%)	2	3	54	19
	Keine Teilnahme (%)	88	27	22	45
Deskriptive Statistik	Alter Betriebsleiterin (Jahre)	48	48	49	48
	Haupterwerb in % (vs. Nebenerwerb)	50	49	38	46
	Landwirtschaftliche Fläche pro Betrieb (ha)	557	435	188	428
	Anteil an Ackerland in % (vs. Grünland & Dauerkulturen)	63	51	40	50
	Bodenqualität (LBG I-V)	3.1	3.6	3.6	3.4
	Ökolandbaubetrieb (%)	6	6	47	16
	Bereits an Agrarumweltmaßnahmen teilgenommen (%)	60	65	68	64

Weiterhin wurden die Landwirte gebeten, anzugeben welche Bedeutung bestimmte Aspekte für sie bei der Teilnahme an Agrarumweltmaßnahmen haben. Dabei zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den drei Gruppen (Abb. 1). Demnach ist für die erste Gruppe, die tendenziell die angebotenen Agrarumweltmaßnahmen ablehnt, der geforderte Mindestflächenanteil sehr wichtig sowie der Aspekt der Unsicherheit, dass freiwillige Vereinbarungen möglicherweise zur Pflicht werden könnten. Der dritten Gruppe, welche eine starke Präferenz für die Maßnahme „Ökologischer Landbau“ besitzt, ist eine positive Auswirkung auf Natur und Umwelt sehr wichtig. Alle Gruppen sprechen sich mehrheitlich dafür aus, dass die Ausgleichszahlung höher als die direkten Kosten sowie dass die administrative Arbeit nicht zu hoch sein sollte.



Schlussfolgerungen

Landwirte in Brandenburg und Berlin möchten in Bezug auf die Teilnahme an Agrarumweltmaßnahmen möglichst flexibel sein. Sie möchten sich nicht auf lange Vertragslaufzeiten festlegen und bevorzugen Optionen, wie den Vertrag vor Ablauf der eigentlichen Laufzeit kündigen zu können. Dies ist verständlich, da durch zu starke Begrenzung der Flexibilität ein Landwirt nicht mehr die Möglichkeit hat, auf aktuelle Vorgänge am Markt zu reagieren (beispielsweise ansteigende Preise für Getreide). Weiterhin kann durch eine Vereinfachung der mit den Maßnahmen verbundenen administrativen Bearbeitung und damit einhergehenden Verringerung der Zeitaufwendung, die Akzeptanz bei allen Maßnahmen bei gleichzeitiger Stabilität der Prämien gesteigert werden. Hierfür sollten Landesbehörden vermehrt Informationen bereitstellen sowie Möglichkeiten zur Vereinfachung der Antragstellung bzw. -bearbeitung prüfen. Auch gewisse Standortfaktoren, wie z. B. eine schlechtere Bodenqualität, erhöhen die Wahrscheinlichkeit, dass Agrarumweltmaßnahmen von den Landwirten umgesetzt werden. Diese Informationen könnten bei der Ausweisung von Gebietskulissen für Maßnahmen berücksichtigt werden um definierte Umweltziele zu erreichen.

Es lassen sich verschiedene Gruppen von Landwirten mit unterschiedlichen Präferenzen gegenüber Agrarumweltmaßnahmen identifizieren. Die Gruppe von Landwirten, welche eine starke Ablehnung gegenüber allen angebotenen Maßnahmen zeigen, verfügt über einen Gesamtanteil von 47% der landwirtschaftlichen Fläche. Dies deutet darauf hin, dass die Umsetzung von Agrarumweltmaßnahmen auf einem Großteil der landwirtschaftlichen Fläche nur mit sehr

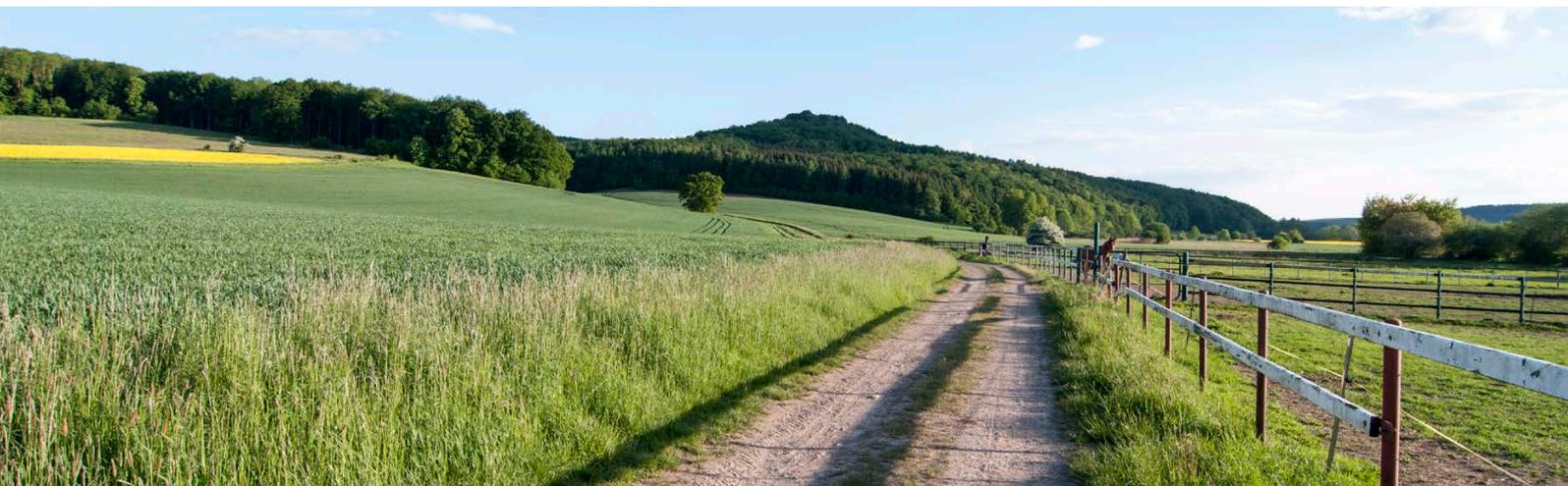
großen Anstrengungen und finanziellem Aufwand erreicht werden kann. Das zeigt, dass das Prinzip der freiwilligen Teilnahme an Agrarumweltmaßnahmen in Bezug auf gesetzte Umweltziele an gewisse Grenzen stößt. Eine Möglichkeit unter bestehenden Vertragsbedingungen die Akzeptanz von Agrarumweltmaßnahmen zu erhöhen sind Beratungsangebote. Damit können vermehrt Informationen über den Nutzen der Maßnahmen für Natur und Umwelt bereitgestellt und auch bestehende Unsicherheiten aufgelöst werden.



Quellen und Literatur

(1) SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen (2015): Stickstoff: Lösungsstrategien für ein drängendes Umweltproblem. Berlin: SRU. Sondergutachten. 564 S.

(2) MIL – Brandenburger Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft (2015): Jährlicher Zwischenbericht 2013 gemäß Art. 82 der VO (EG) Nr. 1698/2005 über die Umsetzung des Entwicklungsplans für den Ländlichen Raum Brandenburgs und Berlins 2007 bis 2013, Hannover. 119 S.





Fazit und Empfehlungen

Wiedner, C., Dolman, A. M., Fischer, H., Grüneberg, B., Horbat, A., Hupfer, M., Jordan, S., Kneis, D., Köhler, J., Matzinger, A., Meyerhoff, J., Nixdorf, B., Petzoldt, T., Remy, C., Riechel, M., Ritz, S., Rouault, P., Rücker, J., Schlieff, J. & Shatwell, T.

NITROLIMIT hat gezeigt, dass nicht nur Phosphor, sondern auch Stickstoff eine relevante Steuergröße des Phytoplanktons und damit des ökologischen Zustandes von Gewässern darstellt. Eine Minderung der Stickstoffkonzentration lässt insbesondere für viele Flachseen und Flusseen eine Verbesserung des ökologischen Zustandes erwarten.

Bedenken, nach denen Maßnahmen zur Minderung der Stickstoffkonzentrationen in Gewässern nicht zielführend sind, weil sie durch Stickstofffixierung von Cyanobakterien ausgeglichen werden oder weil sinkende Nitratkonzentrationen die Freisetzung von Phosphor aus den Gewässersedimenten steigern, konnten für die Untersuchungsgewässer in NITROLIMIT weitestgehend ausgeräumt werden. Stickstofffixierende Cyanobakterien (Nostocales) gelangen nicht oder nur selten zur Dominanz und ihr Beitrag zum jährlichen Eintrag von Stickstoff ist gering. Nur im Hochsommer kann durch N_2 -Fixierung ein relevanter Eintrag von Stickstoff (bis zu einem Viertel des Stickstoffbedarfs des Phytoplanktons) erfolgen. Eine Reduktion der Stickstoffkonzentration können Nostocales kurzfristig zu einem geringen Teil durch N_2 -Fixierung kompensieren. Langfristig führt eine Senkung der Stickstoffkonzentration jedoch zu einer Abnahme ihres Biovolumens. Nitrat beeinflusst die Bindung bzw. Freisetzung von Phosphor aus dem Sediment meist nur in geringem Maße. Hier spielen andere Prozesse (redoxunabhängige P-Bindungsmechanismen), an denen Nitrat nicht beteiligt ist, eine größere Rolle. In der Mehrzahl der Seen ist die Nitratkonzentration im Sommer bereits so gering, dass sie sich nicht mehr regulierend auf die Bindung bzw. Freisetzung von Phosphor auswirkt. Besonders in den Flachseen wird davon ausgegangen, dass eine weitere Senkung der Nitratkonzentrationen nicht zu einem bedeutenden Anstieg der Phosphorrücklösung aus dem Sediment führt.

Auf den ökologischen Zustand von Fließgewässern wie der Elbe hätte eine Stickstoffreduktion zunächst keinen Einfluss, da andere Faktoren die Biomasse des Phytoplanktons begrenzen. Im Fließgewässernetz wird ein Teil der Stickstofffracht zurückgehalten oder eliminiert, große Mengen erreichen jedoch die Ästuare und Küstengewässer. Eine Verminderung der Stickstoffeinträge in Fließgewässer ist daher vor allem anzustreben, um den trophischen Zustand der Küstengewässer zu verbessern.

Zahlreiche Ergebnisse in NITROLIMIT konnten demnach zeigen: Stickstoffreduktion ist ökologisch sinnvoll.

Nach den EU-Beschlüssen zur Umsetzung der WRRL sollten Maßnahmen, die zu einer Verbesserung des ökologischen Zustandes führen, umgesetzt werden. In Deutschland sind aufgrund

der großen Zahl von Seen, die sich nicht in einem guten ökologischen Zustand befinden weiterreichende Anstrengungen notwendig, um die Ziele der EU-WRRL zu erreichen. Nach unseren Ergebnissen sollten dabei auch Maßnahmen zur Reduktion der N-Einträge berücksichtigt werden. Hier schließt sich die Frage an, ob N-Reduktion auch wirtschaftlich vertretbar ist. In drei Fallstudien wurden daher Möglichkeiten, Kosten, Nutzen und Akzeptanz von Stickstoffreduktionsmaßnahmen analysiert.

Am Beispiel der Berliner Unterhavel wurden Kosten für N-Reduktionsmaßnahmen mit dem Nutzen in Form der Zahlungsbereitschaft von Bürgern für den guten ökologischen Zustand gegenübergestellt. Danach ist der Nutzen einer Verbesserung der Gewässergüte größer als die damit verbundenen Kosten. Auch der Wert der Gewässer für Freizeit und Erholung spricht für weitere Bemühungen, den ökologischen Zustand zu verbessern.

Für Gewässer in Berlin wurde belegt, dass urbane Maßnahmen zur Nährstoffreduktion Erfolge zeigen, aber häufig nicht zum Erreichen des guten ökologischen Zustandes ausreichen.

Für ein ländliches Einzugsgebiet wurde gezeigt, dass für die Verbesserung des ökologischen Zustandes vor allem Stickstoffeinträge aus landwirtschaftlichen Flächen reduziert werden müssen. Möglichkeiten hierzu bestehen durch eine Ausweitung der Umsetzung von Agrarumweltmaßnahmen. In Brandenburg und Berlin wurden jedoch entsprechende Fördermöglichkeiten bisher nicht ausgeschöpft. Insbesondere Landwirte mit überdurchschnittlicher Flächenausstattung lehnen Agrarumweltmaßnahmen überwiegend ab.



NITROLIMIT hat insgesamt aufgezeigt, dass durch Minderung der Stickstoffkonzentrationen in vielen Gewässern eine Verbesserung des ökologischen Zustandes erreicht werden kann und dass Möglichkeiten zur Reduktion von Stickstoffeinträgen bestehen, die auch wirtschaftlich vertretbar sind.

Daher empfehlen wir, zur Umsetzung der EU-WRRL zukünftig neben den Strategien zur Reduktion von Phosphoreinträgen zusätzlich Strategien zu Reduktion von Stickstoffeinträgen in die Nährstoffreduktionskonzepte der Länder und Kommunen aufzunehmen und umzusetzen. Zielführend sind dabei die weitere Optimierung bzw. der Ausbau von Klärwerken und insbesondere die Reduzierung der Stickstoffeinträge aus landwirtschaftlichen Flächen z. B. durch Umsetzung von Agrarumweltmaßnahmen. Da Letzteres auf Freiwilligkeit beruht, kann dies nur im Einverständnis mit den Landwirten erfolgen. Hier gilt es daher die Rahmenbedingungen und die Anreize zur Teilnahme zu verbessern.



Publikationen aus NITROLIMIT

Referierte Zeitschriften

Dolman, A. M. (2014): Macrophyte effects on algal turbidity in subtropical versus temperate lakes: a comment on Wang et al. (2014). *Freshwater Biology* 59: 2656-2658.

Dolman, A. M. & Wiedner, C. (2015): Predicting phytoplankton biomass and estimating critical N:P ratios with piecewise models that conform to Liebig's law of the minimum. *Freshwater Biology* 60: 686-697.

Dolman, A. M., Mischke, U. & Wiedner, C. (2016): Lake-type specific seasonal patterns of nutrient limitation in north German lakes and target nitrogen and phosphorus concentrations for a good ecological status. *Freshwater Biology* 61: 444-456.

Dolman, A. M., Rucker, J., Pick, F.R., Fastner, J., Rohrlack, T., Mischke, U. & Wiedner, C. (2012): Cyanobacteria and Cyanotoxins: The Influence of Nitrogen versus Phosphorus. *PLoS ONE* 7(6): e38757.

Fiedler, D., Graeber, D., Badrian, M. & Köhler, J. (2015): Growth response of four freshwater algal species to dissolved organic nitrogen of different concentration and complexity. *Freshwater Biology* 60: 1613-1621.

Grüneberg, B., Dadi, T., Lindim, C. & Fischer, H. (2014): Effects of nitrogen and phosphorus load reduction on benthic phosphorus release in a riverine lake. *Biogeochemistry* 123: 185-202.

Grüneberg, B., Rucker, J., Nixdorf, B. & Behrendt, H. (2011): Dilemma of Non-Steady State in Lakes - Development and Predictability of In-Lake P Concentration in Dimictic Lake Scharmützelsee (Germany) after Abrupt Load Reduction. *International Review of Hydrobiology* 96: 599-621.

Janssen, A. B. G., Arhonditsis, G. B., Beusen, A., Bolding, K., Bruce, L., Bruggeman, J., Couture, R.-M., Downing, A. S., Alex Elliott, J., Frassl, M. A., Gal, G., Gerla, D. J., Hipsey, M. R., Hu, F., Ives, S. C., Janse, J. H., Jeppesen, E., Jöhnk, K. D., Kneis, D., Kong, X., Kuiper, J. J., Lehmann, M. K., Lemmen, C., Özkundakci, D., Petzoldt, T., Rinke, K., Robson, B. J., Sachse, R., Schep, S. A., Schmid, M., Scholten, H., Teurlincx, S., Trolle, D., Troost, T. A., Dam, A. A., Gerven, L. P. A., Weijerman, M., Wells, S. A. & Mooij, W. M. (2015): Exploring, exploiting and evolving diversity of aquatic ecosystem models: a community perspective. *Aquatic Ecology* 49: 513-548.

Kolzau, S., Wiedner, C., Rucker, J., Köhler, J., Köhler, A. & Dolman, A. M. (2014): Seasonal patterns of nitrogen and phosphorus limitation in four German lakes and the predictability of limitation status from ambient nutrient concentrations. *PLoS ONE*. <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0096065>

Kuemmerlen, M., Petzoldt, T. & Domisch, S. (2015): Ecological models in freshwater ecosystems. *Fundamental and Applied Limnology/Archiv für Hydrobiologie* 186. 1-3.

Lindim, C. (2015): Modeling the impact of Zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) on phytoplankton and nutrients in a lowland river. *Ecological Modelling* 301: 17-26.

Lindim, C., Becker, A. & Fischer, H. (2012): Multi-Modelling approach for assessment of water quality in the Lower Havel, Germany. In: Seppelt, R., Voinov, A. A., Lange, S., & Bankamp, D. (Eds.). Managing resources of a limited planet. Proceedings of the 2012 International Congress on Environmental Modelling and Software: 435-442.

Lindim, C., Becker, A., Grüneberg, B. & Fischer, H. (2015): Modelling the effects of nutrient loads reduction and testing the N and P control paradigm in a German shallow lake. *Ecological Engineering* 82: 415-427.

Meyerhoff, J., Boeri, M. & Hartje, V. (2014): The value of water quality improvements in the region Berlin-Brandenburg as a function of distance and state residency. *Water Resources and Economics*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wre.2014.02.001>

Meyerhoff, J. & Glenk, G. (2015): Learning how to choose – effects of instructional choice sets in discrete choice experiments. *Resource and Energy Economics* 41: 122-142.

Meyerhoff, J., Boeri, M. & Hartje, V. (2014): The value of water quality improvements in the region Berlin-Brandenburg as a function of distance and state residency. *Water Resources and Economics* 5: 49-66.

Rathsack, K., Böllmann, J. & Martienssen, M. (2014): Comparative Study of Different Methods for Analyzing Denitrifying Bacteria in Fresh Water Ecosystems. *J. Water Res. Prot.* 6: 609-617.

Rothe, M., Kleeberg, A., Grüneberg, B., Friese, K., Pérez-Mayo, M., & Hupfer, M. (2015): Sedimentary Sulphur:Iron Ratio Indicates Vivianite Occurrence: A Study from Two Contrasting Freshwater Systems. *PLoS ONE* 10(11): e0143737.

Sachse R., Petzoldt T., Blumstock M., Moreira S., Pätzig M., Rücker J., Janse J., Mooij W. & Hilt S. (2014): Extending one-dimensional models for deep lakes to simulate the impact of submerged macrophytes on water quality. *Environmental Modelling and Software*. 61: 410-423.

Andere Zeitschriften

Becker, R., Rücker, J. & Nixdorf, B. (2013): Licht- und Temperaturabhängigkeit der Stickstofffixierung planktischer Nostocales. *Erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung der DGL 2012 in Koblenz*. Eigenverlag der DGL: 118-123.

Böllmann, J., Martienssen, M. & Grüneberg, B. (2014): Vergleich der mikrobiellen Nitratreduktion in Sediment und Pelagial eines eutrophen Flusseees und eines mesotrophen geschichteten Sees. *Erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung der DGL 2013 in Potsdam*. Eigenverlag der DGL: 35-39.

Böllmann, J., Martienssen, M. & Nixdorf, B. (2012): Stickstoffumsätze in unterschiedlichen Gewässertypen Berlin/Brandenburgs - Teil 1: Zellzahlen von Nitrifikanten und Denitrifikanten. *Erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung der DGL 2011 in Weihenstephan*. Eigenverlag der DGL: 234-238.

Fiedler, D., Grossart, H.-P., Zwirnmann, E. & Köhler, J. (2012): DON – die vergessene Stickstoffquelle. *Erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung der DGL 2011 in Weihenstephan*. Eigenverlag der DGL: 28-32.

Fiedler, D., Grossart, H.-P., Zwirnmann, E. & Köhler, J. (2013): DON – Bedeutung für die Algenentwicklung. *Erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung der DGL 2012 in Koblenz*. Eigenverlag der DGL: 326-330.

Fischer, H. (2015): Zur Steuerung der Trophie großer Flüsse. *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 8 (4/15): 225-230.

Kupetz, M. & Casper, P. (2013): Atmosphärische Stickstoffeinträge in Gewässern - Quantifizierung und Bedeutung für die Emission von N₂o als Treibhausgas. *Erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung der DGL 2012 in Koblenz*. Eigenverlag der DGL: 331-335.

- Lindim, C., Becker, A. & Fischer, H. (2013): Impacts of N reduction on the ecological condition of the Lower Havel. Erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung der DGL 2012 in Koblenz. Eigenverlag der DGL: 336-340.
- Meyerhoff, J. & Glenk, K. (2013): Learning how to choose – effects of instructional choice sets in discrete choice experiments. Working Paper on Management in Environmental Planning 34/2013 - Arbeitspapiere zum Management in der Umweltplanung. TU Berlin. 26 S.
- Nixdorf, B., Becker, K., Grüneberg, B., Böllmann, J. & Martienssen, M. (2012): Stickstoffumsätze in unterschiedlichen Gewässertypen Berlin/Brandenburgs - Teil 2: Erste Ergebnisse zu Einträgen und Umsätzen. Erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung der DGL 2011 in Weihenstephan. Eigenverlag der DGL: 239-244.
- Nixdorf, B., Grüneberg, B. & Rücker, J. (2016): Bilanzierung der saisonalen Stickstoffein- und -austräge sowie deren Umsetzungen in einem eutrophen Flachsee. Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 2015 in Essen. Eigenverlag der DGL, Hardeggen: 69-76.
- Nixdorf, B., Recklebe, J. & Lippert, G. (2014): Nitrifikation im dimiktischen Scharmützelsee – Teil 1: Maximale Umsetzungen im Winter als Ökosystemdienstleistung. Erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung der DGL 2013 in Potsdam. Eigenverlag der DGL: 40-44.
- Nixdorf, B., Niebisch, M., Recklebe, J. & Lippert, G. (2014): Nitrifikation im dimiktischen Scharmützelsee – Teil 2: Deep Nitrate Maximum als Ergebnis der sommerlichen hypolimnischen Ammoniumoxidation. Erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung der DGL 2013 in Potsdam. Eigenverlag der DGL: 45-50.
- Nixdorf, B., Rücker, J., Dolman, A. M., Wiedner, C., Hilt, S., Kasprzak, P., Köhler, A., van de Weyer, K., Sandrock, S., Scharf, E.-M. & Willmitzer, H. (2013): Prozessverständnis als Grundlage für die Gewässerbewirtschaftung – Fallbeispiele für Limitation, Konkurrenz, Gewässerstruktur und Nahrungsnetzsteuerung. Korrespondenz Wasserwirtschaft 6: 693-701.
- Nixdorf, B., Rücker, J., & Grüneberg, B. (2016): Importance of internal nitrogen recycling on water quality and cyanobacterial biomass in a shallow polymictic lake (Lake Langer See, Germany). Proceedings 3rd International Conference Water resources and wetlands: 38-46.
- Ritz, S. & Fischer, H. (2013): Stickstoffumsatz in der Elbe - Assimilation oder Denitrifikation? Erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung der DGL 2012 in Koblenz. Eigenverlag der DGL: 341-344.
- Rücker, J., Barsch, A. & Nixdorf, B. (2015): „Besser, aber noch nicht gut“ – Ökologischer Zustand der Seen in Brandenburg 2014. Wasserwirtschaft 12/2015: 41-47.
- Rücker, J., Harrant, C. & Miethling, D. (2014): Abschätzung von Phytoplanktonverlusten durch Muschelfiltration. Erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung der DGL 2013 in Potsdam. Eigenverlag der DGL, Hardeggen: 51-56.
- Rücker, J., Knie, M., Voss, M., Martienssen, M., Grüneberg, B., Kolzau, S. & Nixdorf, B. (2016): Abschätzung des Stickstoffeintrages durch planktische Cyanobakterien (Nostocales). Erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 2015 in Essen. Eigenverlag der DGL, Hardeggen: 170-177.
- Rücker, J., Weyer, K. van de & Nixdorf, B. (2013): Kann Nährstoffkonkurrenz durch submerse Makrophyten die Biomasseentwicklung des Phytoplanktons beeinflussen? Erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung der DGL 2012 in Koblenz. Eigenverlag der DGL: 346-351.
- Shatwell, T., Jordan, S., Ackermann, G., Dokulil, M., Rücker, J., Scharf, W., Wagner, A. & Kasprzak, P. (2013): Langzeitbeobachtungen zum Einfluss von Klimawandel und Eutrophierung auf Seen und Talsperren in Deutschland. Korrespondenz Wasserwirtschaft 6: 629-736.

Thürmann, J., Grüneberg, B. & Nixdorf, B. (2014): Umsätze und saisonale Dynamik relevanter Stickstoffkomponenten in einem eutrophen Flachsee (Langer See, Scharmützelseegebiet) – ein Bilanzansatz. Erweiterte Zusammenfassung der Jahrestagung der DGL 2013 in Potsdam. Eigenverlag der DGL: 57-61.

Sonstige Publikationen

NITROLIMIT Imagebroschüre

NITROLIMIT Diskussionspapier, Band 1, Mai 2013: Einfluss von Stickstoff und Phosphor auf die Gewässergüte von Seen.

NITROLIMIT Diskussionspapier, Band 2, September 2013: Maßnahmen zur Reduktion der Nährstoffeinträge urbaner Bereiche.

NITROLIMIT Diskussionspapier, Band 3, September 2014: Gelöste organische Stickstoffverbindungen in Seen - Vorkommen und Wirkung.

NITROLIMIT Diskussionspapier, Band 4, Juni 2016: Kosten und Nutzen einer verbesserten Gewässergüte am Beispiel der Berliner Unterhavel.

NITROLIMIT (2014): Stickstofflimitation in Binnengewässern - Ist Stickstoffreduktion ökologisch sinnvoll und wirtschaftlich vertretbar? Abschlussbericht NITROLIMIT I. 208 S.

NITROLIMIT (2016): Stickstofflimitation in Binnengewässern - Ist Stickstoffreduktion ökologisch sinnvoll und wirtschaftlich vertretbar? Abschlussbericht NITROLIMIT II.

LAWA (2014) Empfehlung zur Übertragung flussbürtiger, meeresökologischer Reduzierungsziele ins Binnenland. LAWA-Arbeitsprogramm Flussgebietsbewirtschaftung Produktdatenblatt WRRRL-2.4.7. Bearbeitet im Auftrag des LAWA-AO von M. Trepel, H. Fischer, M. Fischer, U. Kuhn, A. Ullrich, G. Ollesch, S. Ritz, M. Venohr. 17 S.





Danksagung

Das Gelingen des Projektes NITROLIMIT war nur durch die Unterstützung zahlreicher Partner möglich, bei denen wir uns an dieser Stelle ganz herzlich bedanken möchten. Es sind jedoch so viele an der Zahl, dass wir uns hier auf die Nennung von Institutionen und Gruppen beschränken.

Die Bundesländer und das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Berlin haben NITROLIMIT durch die Bereitstellung von Daten aus ihren Messprogrammen ermöglicht. Aktiv unterstützt wurde NITROLIMIT durch die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser, die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, das Landesamt für Umwelt des Landes Brandenburg, das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern sowie durch den Naturpark Dahme-Heideseen und die Berliner Wasserbetriebe.

Zur Kartierung der biologischen Besiedlung und zur Analyse unzähliger Gewässerproben haben das Landeslabor Berlin-Brandenburg, das Limnologiebüro Hoehn und das Planungsbüro Lanaplan beigetragen. Eine gutachterliche Stellungnahme zur Nährstoffreduktion wurde vom Ingenieurbüro AKUT erstellt. Die Agentur Quadraflex hat uns bei der Außendarstellung und Kommunikation des Projektes unterstützt.

Enge wissenschaftliche Kooperationen bestanden mit dem Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde zum Thema N_2 -Fixierung und bei der Analyse stabiler Isotope sowie mit dem Helmholtz-Zentrum Geesthacht bei der Analyse des in Wasser gelösten Stickstoffgases.

Zum Gelingen von NITROLIMIT hat auch die Begleitung und Beratung des wissenschaftlichen Beirates in NITROLIMIT I beigetragen.

Unser Dank gilt auch den vielen Kollegen und Studenten aus den Instituten des Projektverbundes NITROLIMIT, die die praktischen Arbeiten tatkräftig unterstützt haben.

Ganz besonders gilt unser Dank dem Projektträger Jülich (PTJ) für die Projektbegleitung und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Projektförderung sowie den Berliner Wasserbetrieben (BWB) für die Ko-Förderung der Arbeiten des Kompetenzzentrum Wasser Berlin (KWB).



Weitere Informationen finden Sie unter:

www.nitrolimit.de

www.fona.de