

Inga Krämer, Monika Nausch und Dietmar Mehl et al.

# Phosphor – von der Quelle bis ins Meer

Eutrophierung zählt auch in der Ostsee immer noch zu den größten Problemen für den Gewässerschutz. Obwohl Phosphor an Land oft knapp ist, ist er in Gewässern häufig im Überschuss vorhanden. Im BMBF-Verbundprojekt „PhosWaM“ werden anhand von Prozess- und Modellstudien die Quellen, Transportwege, Umsatzprozesse sowie Rückhaltmaßnahmen von Phosphorverbindungen im Einzugsgebiet der Warnow und den angrenzenden Küstengewässern untersucht.

Phosphor (P) ist in den letzten Jahren insbesondere als Rohstoff unter dem Verfügbarkeitsaspekt immer wieder in den Fokus gerückt. So wurde Phosphatgestein 2014 von der Europäischen Kommission als kritischer Rohstoff eingestuft. Auch wenn die bekannten Reserven noch einige hundert Jahre reichen können, sind geopolitische Verteilungsprobleme absehbar.

Phosphor (bzw. Phosphat) ist neben Stickstoff einer der wichtigsten Pflanzennährstoffe in aquatischen und terrestrischen Ökosystemen. Während in vielen Gewässern Phosphor (hier und im Folgenden ist mit Phosphor Gesamtphosphor – TP – gemeint) im Überschuss vorhanden ist, liegt auf landwirtschaftlich genutzten Flächen im Hinblick auf Ertragsoptimierung oft ein Mangel vor. Landwirte bringen deshalb Phosphat-Dünger aus, um das Pflanzenwachstum zu unterstützen. Vor allem an hydrologische Prozesse gekoppelt gelangt Phosphor aus der Fläche in die Gewässer, aber auch Industrie- und Haushaltsabwässer spielen eine bedeutende Rolle. In den Oberflächengewässern führt ein übermäßiges Wachstum von Phytoplankton zur Erhöhung der Wasserrübung sowie zu teilweise giftigen Algenblüten, zu Sauerstoffmangel durch Zersetzung von großen Mengen pflanzlicher Biomasse und dadurch zur Freisetzung von im Sediment gebundenem Phosphor. Auf lange Sicht führt Eutrophierung zu einem Verlust der Artenvielfalt.

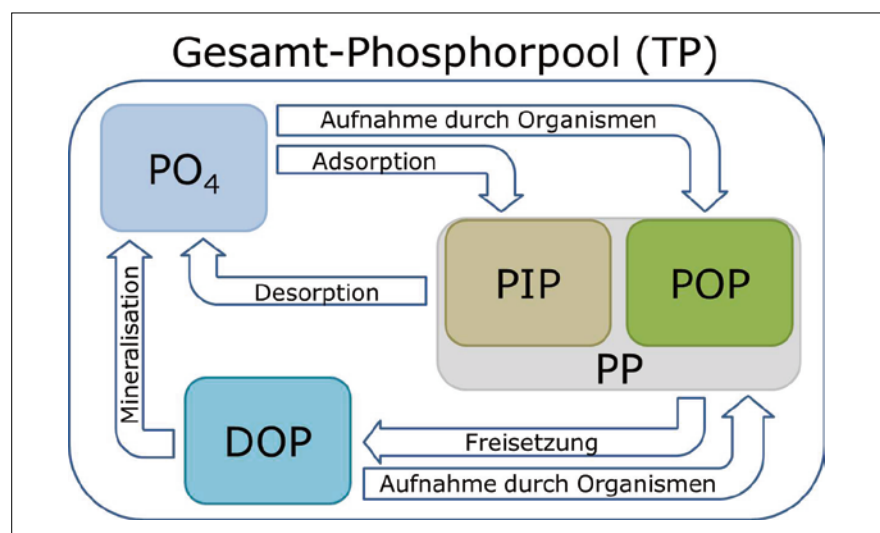
Eine Reduzierung der Eutrophierung und der ursächlichen Nährstoffeinträge wird durch die EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, 2000/60/EC), die EG-Meeressstrategierahmenrichtlinie (MSRL, 2008/56/EC) und den Baltic Sea Action Plan (BSAP) der HELCOM angestrebt. So fordert der BSAP eine Reduzierung der

jährlichen Phosphorausträge aus den deutschen Einzugsgebieten in die Ostsee um 170 t bis 2021.

Eine Optimierung der Kläranlagen hat seit den frühen 1990er-Jahren bereits zu einem starken Rückgang der Phosphoremissionen in die Gewässer geführt. So hat sich der Phosphoreintrag aus den acht wichtigsten Kläranlagen an der deutschen Ostseeküste zwischen 1990 und 2008 um 98 % verringert [1]. Daher richtet sich der Fokus nun auch auf die anderen Quellen, die an relativer Bedeutung gewonnen haben. Zu den Punktquellen zählen nicht nur die großen, sondern auch kleine Kläranlagen (<10.000 Einwohnerwerte), die nach der Abwasserverordnung über keine Phosphoreliminierung verfügen müssen und daher regional für Phosphoremissionen bedeutend sein können. Die gegenwärtig größte Phosphorquelle sind jedoch die diffusen

Austräge aus dem landwirtschaftlich genutzten Bereich [2, 3, 4]. Obwohl ein großer Teil der landwirtschaftlichen Flächen in Mecklenburg-Vorpommern phosphorunterversorgt ist, sind diffuse Phosphorausträge von zahlreichen Flächen festzustellen, wobei Phosphor insbesondere über Erosion, Dränagen und Grundwasser in die Gewässer gelangt. Aber auch die Gewässerunterhaltung sorgt für Phosphorfreisetzung.

Da eine landwirtschaftliche Nutzung vieler Flächen inklusive Düngung und künstlicher Entwässerung weiter bestehen wird und Maßnahmen in der Landwirtschaft [2, 5] eher langfristig wirken, werden die Reduktionsziele in den gegebenen Fristen kaum erreicht werden. Daraus resultiert ein zusätzlicher Bedarf an Maßnahmen zur Steigerung der Phosphorretention in Gewässern bzw. zur Phosphorentnahme [6], gerade auch vor



**Bild 1:** Fraktionen des Gesamt-P-Pools und Transformationswege in einem Gewässer (Quelle: Günther Nausch, IOW)

dem Hintergrund der vielen verrohrten Fließgewässer [7, 8]. Nur wenige dieser sogenannten wasserseitigen Maßnahmen sind bisher hinreichend erprobt. Zusätzlich werden Prozesse und Verfahren immer relevanter, die den Nährstoff Phosphor im Rahmen eines nachhaltigen Phosphormanagements zurückgewinnen und wieder für die Landwirtschaft verfügbar machen, was zum Schließen des Kreislaufs führt.

Im regulären Gewässermonitoring werden gegenwärtig Gesamtphosphor (TP) und Phosphat ( $\text{PO}_4$ ) bestimmt. Andere Fraktionen, wie partikulärer anorganischer Phosphor (PIP) und partikulärer organischer Phosphor (POP) sowie gelöster organischer Phosphor (DOP), werden nur als Summe erfasst. In der Ostsee machen diese jedoch einen Anteil von 50–60 % an TP aus [9]. DOP gilt in der produktiven Jahreszeit, wenn das Oberflächenwasser  $\text{PO}_4$ -verarmt ist, als bedeutendste Phosphorquelle für Algen- und Bakterienwachstum und trägt zur Massenentwicklung von Cyanobakterien („Blaualgenblüten“) bei [9, 10]. Das Eutrophierungspotential dieser Komponenten in den Einzugsgebieten wurde bisher nicht berücksichtigt und der Ursprung dieser Fraktionen ist weitgehend unbekannt. Es ist zu erwarten, dass es während des Transportes von der Quelle bis in die Ostsee in der Wassersäule und im Sediment zu Transformationen zwischen den einzelnen Phosphor-Fraktionen kommt (Bild 1).

Das Phosphormanagement in der Landschaft ist eng mit dem Wasserressourcenmanagement verknüpft. Von den Emissionsquellen über die Fließ- und Standgewässer gelangt Phosphor in die Küstengewässer und die Ostsee. Daher werden integrierte Ansätze benötigt. Das Verbundprojekt „Phosphor von der Quelle bis ins Meer – Integriertes Phosphor- und Wasserressourcenmanagement für nachhaltigen Gewässerschutz“ (PhosWaM) widmet sich diesem Thema und hat zum Ziel, die verschiedenen Systeme zusammenzubringen und damit das Phosphormanagement zu verbessern.

## Das Verbundprojekt PhosWaM („Phosphor von der Quelle bis ins Meer“)

### Projektziel

Übergeordnetes Ziel des Projektes ist es, durch Prozess- und Modellstudien die

Wissensgrundlage zu den Quellen, Transportwegen und Umsatzprozessen der unterschiedlichen Phosphor-Fraktionen zu verbessern. Anhand der Ergebnisse, die durch Untersuchungen zur Effizienz verschiedener beispielhafter Maßnahmen zur Phosphorentlastung ergänzt werden, sollen Vorschläge zur Optimierung der Monitoring-Konzepte und Bewirtschaftungspläne (inkl. Maßnahmenprogramme) im Sinne der europäischen Gewässerschutzrichtlinien mit den Fachplanungsbehörden erarbeitet werden. Somit kann zur Erreichung der Gewässerqualitätsziele im Einzugsgebiet und zur Frachtreduzierung in die Küstengewässer und die Ostsee und damit zur Erfüllung der ambitionierten nationalen und internationalen Vorgaben beigetragen werden.

### Teilziele und Umsetzung

Das Projekt gliedert sich inhaltlich in drei Teile, die eng miteinander verbunden sind, ein vierter Teil hat die Implementierung der Projektergebnisse zum Ziel (Bild 2).

Großskalige Ansätze wie die gekoppelte Einzugsgebiets- und Küstengewässermodellierung und die Weiterentwicklung und Anwendung eines Phosphor-Indexes darauf ab, die zeitliche und räumliche Entwicklung der Phosphoremissionen, des Phosphortransports und der Phosphorbilanzierung sowie das Risiko von landwirtschaftlichen Phosphoraussträgen unter dem Einfluss verschiedener Landnutzungssysteme und künstlicher Bewässerung abzuschätzen. Damit können Belastungsschwerpunkte der Phosphoremissionen im Untersuchungsgebiet identifiziert werden. Im Gegensatz zu komplexen Einzugsgebietsmodellen kann mit dem Phosphor-Index auch vom Praktiker vor Ort das Potenzial für diffuse Phosphoraussträge und die Wirksamkeit von spezifischen Bewirtschaftungsmaßnahmen abgeschätzt werden.

Prozessstudien zur Retention bzw. Freisetzung von Phosphor werden entlang der Fließstrecke durchgeführt, um die Grundlagen der Modellansätze sicherzustellen und zu verbessern. Dabei werden Seen als mögliche Puffersysteme und die Eintragspfade Grund- und Dränwasser berücksichtigt. Zudem wird die Bedeutung verschiedener Phosphorfraktionen in Fließ- und Standgewässern untersucht. Die Arbeiten liefern Aussagen, inwieweit bestehende Monitoringansätze, die nur Gesamtphosphor und Phosphat beachten,

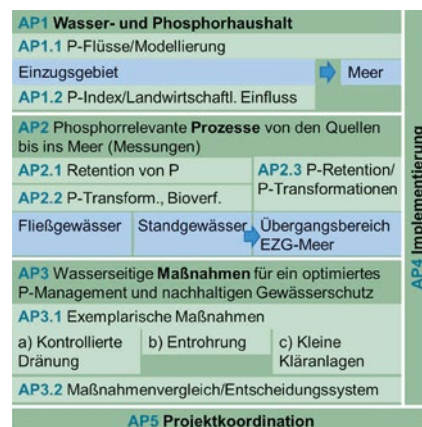


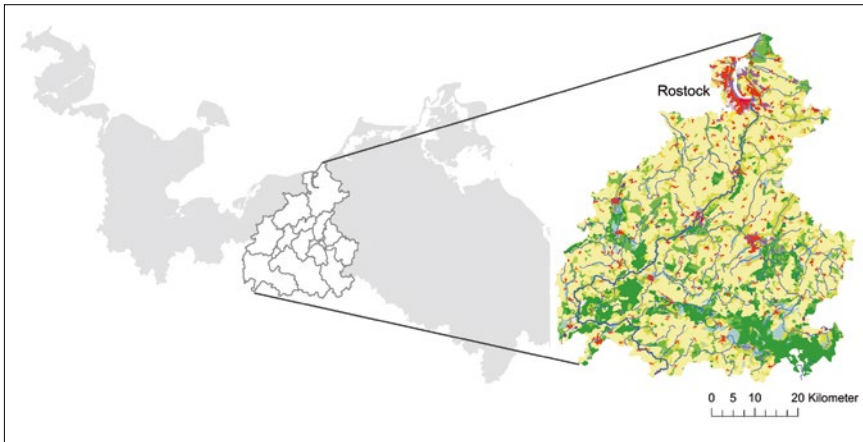
Bild 2: Projektstruktur des Verbundprojektes PhosWaM (Quelle: Inga Krämer, IOW)

ausreichen und welches Eutrophierungspotenzial in den bisher nicht exakt erfassten Fraktionen des Phosphorpool liegt. Neben Fließgewässern und Seen wird hier auch auf die Unterwarnow als wichtiges Übergangsbereich zu den Küstengewässern eingegangen. Sie kann als Sammel- und Transformationsbecken am Ende der Fließstrecke angesehen werden, das letztlich die Einträge in die Ostsee bestimmt.

Das Projekt liefert weiterhin Aussagen über Ansatzmöglichkeiten zur wasserseitigen Reduzierung von Phosphor, um landwirtschaftliche Maßnahmen zur Erreichung der politisch gesetzten Ziele zu unterstützen und um ggf. Phosphor zurückzugewinnen. Dabei wird der gesamte Gradient von den Quellen bis in die Ostsee betrachtet, da Managemententscheidungen in den Flusseinzugsgebieten Auswirkungen auf die Phosphoreinträge bis in die Küstengewässer haben und die Qualitätsziele in allen Gewässerbereichen erreicht werden müssen. Hinderungs-, Belastungs- und Erfolgsfaktoren für ein optimales Phosphormanagement werden identifiziert, ökologische, sozio-ökonomische, rechtliche und institutionelle Randbedingungen berücksichtigt.

### Untersuchungsgebiet und Übertragbarkeit auf andere Gebiete

Die Untersuchungen sind auf das Einzugsgebiet der Warnow und die direkt angrenzende Ostsee fokussiert (Bild 3). Die Warnow hat mit 3.324 km<sup>2</sup> das zweitgrößte deutsche Einzugsgebiet, das in die Ostsee entwässert. Es ist landwirtschaftlich geprägt und weist einen stark anthropogen veränderten Wasserhaushalt auf. Darüber hinaus sollen Erfahrungen aus anderen landwirtschaftlich geprägten Einzugsge-



**Bild 3:** Das Warnoweinzugsgebiet, eines der größten Einzugsgebiete im deutschen Ostseeraum (Quelle: EEA, LUNG MV)

bieten des südlichen Ostseeraums (z. B. Dänemark und Schweden) genutzt werden, da dort bereits zahlreiche innovative Nährstoffreduktionsmaßnahmen, z. B. an Dränauslässen, getestet werden. Zum Zweck des Erfahrungsaustausches und der Ergebnisvermittlung werden im Projektverlauf zwei thematische Workshops durchgeführt werden.

Da die Ergebnisse zu den Phosphorflüssen, insbesondere zur Phosphorretention und zum Phosphorfreisetzungsvermögen sowie zum Phosphormanagement nicht nur für das gesamte Norddeutsche Tiefland relevant sind, lassen sich die methodischen Ansätze auch auf andere Regionen Deutschlands übertragen. Die Übertragbarkeit wird innerhalb des Projekts mit Entscheidungsträgern, Wissenschaftlern und umsetzenden Behörden iterativ evaluiert.

### Projektpartner

Projektpartner sind das Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW; Projektleitung), die Agrarwissenschaftliche Fakultät der Universität Rostock, das biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH und das Staatliche Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg (StALU MM). Zur Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis ist neben der Zusammenarbeit der vier Hauptprojektpartner eine enge Kooperation mit assoziierten Partnern wie den Landesumweltämtern in Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein vorgesehen. Auch Erfahrungen aus anderen Ostseeanrainerstaaten fließen über Kooperation mit dänischen und schwedischen Kollegen in das Projekt ein.

### Methodische Ansätze (Auswahl)

Für die Fließgewässer und Seen soll anhand verschiedener Ansätze die Phosphor-Retention bzw. -Freisetzung der Sedimente bestimmt werden. Hierfür werden mehrmals pro Jahr ungestörte Sedimentproben genommen, die im Labor unter kontrollierten Bedingungen inkubiert werden, um die direkte Aufnahme oder Abgabe von Phosphor aus dem Sediment ins überstehende Wasser zu messen. Zusätzlich wird die potenzielle Phosphorretention bzw. -freisetzung über Diffusionsberechnungen, die Konzentrationsbestimmung labiler Phosphor-Komponenten im Sediment, und die Bestimmung des Gesamtphosphorgehaltes (TP) in den Sedimentschichten ermittelt. In weiteren Inkubationsexperimenten wird außerdem die „Gleichgewichts-Phosphat-Konzentration“ (EPC0-Wert) der Sedimente bestimmt. Diese Ansätze sollen dazu dienen, eine verlässliche Methodik zu entwickeln, die Sedimente der Seen und Fließgewässer hinsichtlich ihrer Phosphordynamik zu charakterisieren und zu typisieren, und ebenfalls die Umweltbedingungen zu identifizieren, durch die Sedimente zu Senken oder Quellen von Phosphor werden.

Um eine möglichst hohe Datenqualität und Vergleichbarkeit der Analyseergebnisse sicherzustellen, wird im Projekt PhosWaM ein zentraler Ansatz gewählt. Einem technischen Mitarbeiter obliegt es, Proben in Bezug auf die Phosphorspezies aus allen Teilprojekten zu analysieren (besondere Analysen liegen bei den einzelnen Partnern). Dies geschieht im Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde, wo, basierend auf jahrzehntelanger

Tätigkeit im Umweltmonitoring der Ostsee, eine langjährige Expertise in der Bestimmung der unterschiedlichen Phosphorspezies existiert. Zudem sind die dafür benötigten Geräte wie Labormikrowellen, Nährstoffanalysatoren, Photometer und Rasterelektronenmikroskop in ausreichender Menge und auf dem neuesten technischen Stand vorhanden. Außerdem erfolgte zu Projektbeginn eine intensive Abstimmung der Probenahmestationen mit den Stationen des Staatlichen Amtes für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg, so dass auch auf Langzeitserien für einige Parameter zugegriffen werden kann. Dies ist für die spätere Umsetzung in die Praxis von großer Bedeutung. Zudem wird auch eine Vergleichbarkeit mit vorhergehenden Studien ermöglicht [z. B. 11]. Parallel fand zudem zu Beginn eine gemeinsame Schulung der Probenehmer statt, um eine Einheitlichkeit und Einhaltung relevanter DIN-Normen schon ab den wichtigen ersten Schritten zu sichern.

### Beispiele für Vorarbeiten und erste Ergebnisse

Erste Voruntersuchungen zu den regionalen und saisonalen Veränderungen der Phosphorspezies im Einzugsgebiet der Warnow fanden im Winterhalbjahr 2013/2014 statt. Untersuchungsgebiet war das Einzugsgebiet des Baches Zarnow, der in die Warnow entwässert. In wöchentlichem Abstand wurden Proben aus dem Dränauslass, dem nachfolgenden Graben sowie an verschiedenen Stationen der Zarnow bis zur Warnow genommen. Die Untersuchungsperiode war durch geringen Niederschlag und fehlenden Schneefall gekennzeichnet. Unter diesen Bedingungen waren die Gesamtphosphorkonzentrationen an allen untersuchten Messpunkten gering. Die Phosphorkonzentrationen, ihre Zusammensetzung sowie auch die Art der phosphorhaltigen Minerale änderten sich entlang der Fließstrecke wie auch saisonal. Tonminerale und Eisenhydroxide waren die wichtigsten Träger des partikelgebundenen Phosphors. Die während dieser Studie in einem kleinskaligen Einzugsgebiet gewonnenen Erkenntnisse stellen, sowohl was die Logistik wie auch die analytische Herangehensweise betrifft, eine wichtige Vorarbeit für die Untersuchungen im Projekt PhosWaM dar. Die Untersuchungen werden in PhosWaM auf

das gesamte Einzugsgebiet der Warnow ausgedehnt (**Bild 4**).

Hinsichtlich der Phosphor-Einträge in die Binnengewässer und das Grundwasser des Ostseeraumes kann auf zahlreiche Vorarbeiten, entsprechende Bewertungen und vor allem auch auf Datenbestände zurückgegriffen werden. Hier sind beispielsweise zu nennen:

- eine auf Messdaten basierende Regionalisierung der Nährstoffbelastung in Oberflächengewässern in Mecklenburg-Vorpommern mit Ausweisung von Hot-Spot-Einzugsgebieten [12],
- langjährige hydrologische und Nährstofffrachtdaten aus einem landwirtschaftlichen und gedrähten Versuchsgebiet an einem Warnowzufluss der Universität Rostock [13] oder von Sondermessprogrammen [14],
- Stickstoff- und Phosphorbilanzen landwirtschaftlicher Nutzflächen in Mecklenburg-Vorpommern auf der Ebene von Feldblöcken [15],
- eine flächendeckende, räumlich hoch aufgelöste, nach Eintragungspfadendifferenziertere und modellgestützte Quantifizierung der Phosphoreinträge in das Grundwasser, die Binnen- und die Küstengewässer in Mecklenburg-Vorpommern [16],
- eine länderübergreifende Konzeptstudie zur Phosphorbelastung und zu effizienten Minderungsmaßnahmen für den 24 km<sup>2</sup> großen Schaalsee und sein Einzugsgebiet [17, 18],
- regionale und eigene Erfahrungen mit Planung, Bau und Monitoring von Dränteichen (z. B. am Neuklostersee im Warnowgebiet, vgl. 19) und Phosphorretentionslösungen (z. B. derzeit Planung/Bau eines Phosphorretentionsbeckens am Wittensee in Schleswig-Holstein).

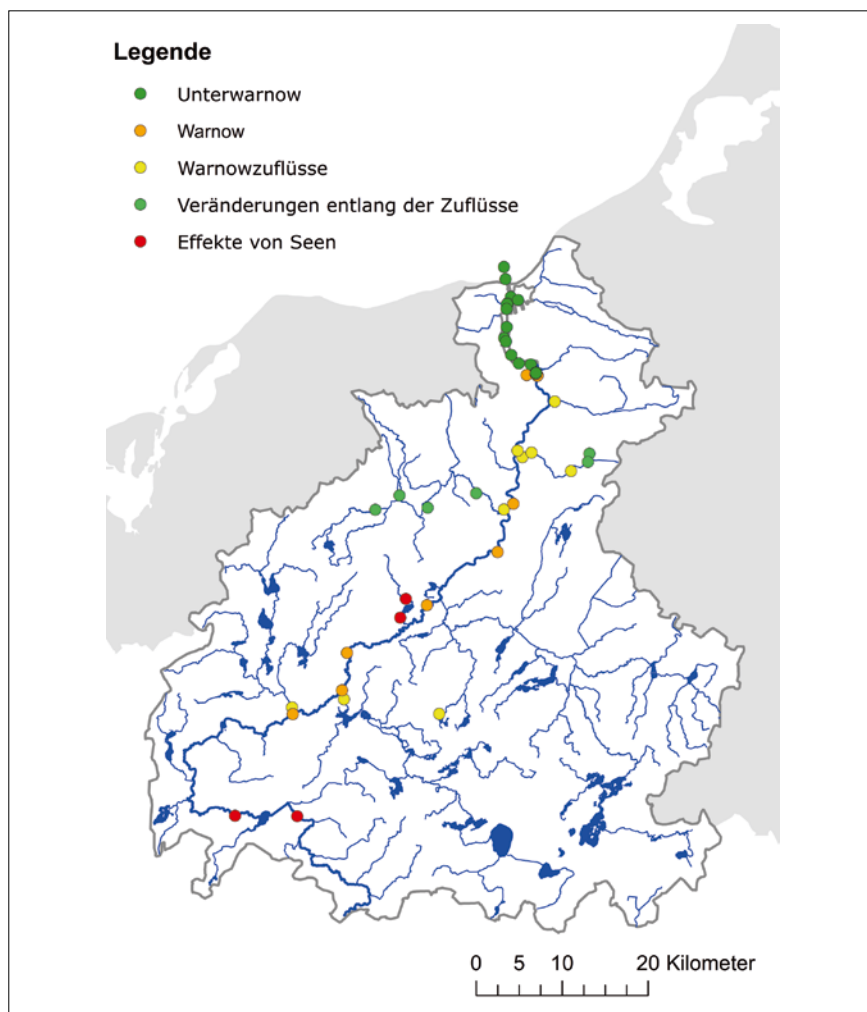
### Leibniz-WissenschaftsCampus Phosphorforschung Rostock

Wissenschaftliche Grundlagen für ein nachhaltigeres Phosphor-Management zu erarbeiten ist das übergeordnete Ziel der interdisziplinären Zusammenarbeit und thematisch ausgerichteten Vernetzung im Leibniz-WissenschaftsCampus Phosphorforschung Rostock ([www.wissenschaftscampus-rostock.de](http://www.wissenschaftscampus-rostock.de)). Aufgrund der zentralen Bedeutung von Phosphor in einer Vielzahl von Produktions- und Umweltsystemen ist ein interdisziplinärer For-

schungsansatz notwendig. Deshalb haben sich hier fünf Leibniz-Institute und die Universität Rostock in einem Netzwerk zusammengeschlossen, um die Zusammenarbeit und Forschung rund um dieses essentielle Element und sein nachhaltiges Management zu intensivieren. In dem WissenschaftsCampus werden die bestehenden Expertisen in verschiedensten Aspekten der Erforschung des essentiellen Elementes P, seiner vielfältigen chemischen Verbindungen und spezifischen Wirkungsweisen in Agrar- und Umweltsystemen wie auch in technischen und industriellen Prozessen zusammengeführt. Darüber hinaus liegt ein Fokus auf den Phosphorkreisläufen und -flüssen in der Umwelt und den Umweltproblemen, insbesondere in aquatischen Systemen, die durch ineffiziente Phosphornutzung bzw. nicht vorhandenes Phosphorrecycling entstehen. Forschungsschwerpunkte im WissenschaftsCampus Rostock sind „P-

Kreisläufe und -Flüsse in der Umwelt“, „Suffizienz und Effizienz der P-Nutzung, P-Rückgewinnung“ und „P als Element in und aus katalytischen Verfahren“. Zusätzlich wurde die Entwicklung moderner Analysemethoden in der Phosphorforschung als Querschnittsaufgabe definiert, um die Forschungsschwerpunkte zu unterstützen und zu stimulieren. Neben zahlreichen aktuell bearbeiteten disziplinären und interdisziplinären Projekten werden kontinuierlich neue Forschungsprojekte entwickelt.

Das Verbundprojekt PhosWaM ist thematisch an den Leibniz-WissenschaftsCampus Phosphorforschung Rostock angegliedert und profitiert damit u. a. von den Forschungsverbundstrukturen sowie thematischen Veranstaltungen unterschiedlichster Formate und der Graduiertenförderung. So organisiert der WissenschaftsCampus den 8. International Phosphorus Workshop (12. – 16. September



**Bild 4:** Ausgewählte Messpunkte im Messnetz des Projektes PhosWaM (Quelle: Inga Krämer (Datenbasis: LUNG MV, Projektdaten))

2016 in Rostock; [www.sciencecampus-rostock.de/ipw8.html](http://www.sciencecampus-rostock.de/ipw8.html)) und stellt damit auch die Phosphorausträge und -kreisläufe in der Umwelt in den Mittelpunkt der Diskussionen.

## Danksagung

Das Projekt PhosWaM wird mit Mitteln des BMBF gefördert und ist Teil der BMBF-Fördermaßnahme „Regionales Wasser-Ressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland (ReWaM)“ im Förderschwerpunkt „Nachhaltiges Wassermanagement (NaWaM)“. Der Leibniz-WissenschaftsCampus Phosphorforschung Rostock wird durch die Leibniz-Gemeinschaft und das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern unterstützt.

Wir danken allen anderen Projektmitarbeitern, die hier nicht als Autoren aufgeführt werden konnten.

## Literatur

- [1] Nausch G., Bachor A., Petenati T., Voß J. & Weber M. v. (2011) Nährstoffe in den deutschen Küstengewässern der Ostsee und angrenzenden Gebieten. Meeresumwelt Aktuell Nord- und Ostsee 2011/1 ([www.blmp-online.de/PDF/Indikatorberichte/2011\\_01\\_s.pdf](http://www.blmp-online.de/PDF/Indikatorberichte/2011_01_s.pdf)).
- [2] LU-MV (2012) Konzept zur Minderung der diffusen Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft in die Oberflächengewässer und in das Grundwasser in Mecklenburg-Vorpommern. Herausgeber: Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern (LU-MV). 2. Aufl.
- [3] LUNG (2013) Zur Entwicklung und zum Stand der Nährstoffbelastung der Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns. Berichte zur Gewässergüte. Hrsg.: Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG), Güstrow.
- [4] LU-MV (2016) Konzept zur Minderung der diffusen Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft in die Oberflächengewässer und in das Grundwasser in Mecklenburg-Vorpommern – Fortschreibung für den zweiten Bewirtschaftungszeitraum 2016 bis 2021. Herausgeber: Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern (LU-MV).
- [5] Holsten, B., Pfannerstil, M. & M. Trepel (2016) Phosphor in der Landschaft – Management eines begrenzt verfügbaren Nährstoffes. CAU Kiel, 52. S.
- [6] Fier, A., Hirt, U., Holsten, B., Kahle, P., Kaletka, T., Koch, F., Krämer, I., Lennartz, B., Litz, N., Mahnkopf, J., Matzinger, A., Rupp, H., Steidl, J., Trepel, M., Perillon, C. & Schmidt, S. – DWA-AG "Abfluss- und Nährstoffmanagement entwässerter Gebiete" (2012) Reduktion der Stoffeinträge durch Maßnahmen im Drän- und Gewässersystem sowie durch Feuchtgebiete. DWA-Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.), DWA Themen T2/2012.
- [7] Mehl D., Marquardt A., Kollatsch R.-A. & Neumann B. (2003) Bestandsaufnahme nach Wasserrahmenrichtlinie in Mecklenburg-Vorpommern: Zum Ausmaß der Fließgewässerverrohrung. Wasserwirtschaft 09/2003, S. 42-46.
- [8] Krämer, I. (2006) Verrohrte Fließgewässer bei der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie – mögliche Lösungen und deren ökonomische Auswirkungen. Hrsg. Edmund Siemers-Stiftung, Books on Demand, Hamburg.
- [9] Nausch M. & Nausch G. (2011) Dissolved organic phosphorus in the Baltic Sea – Occurrence and relevance, Journal Marine Systems 87: 37-46.
- [10] Nausch M. & Nausch G. (2006) Bioavailability of dissolved organic phosphorus in the Baltic Sea, Marine Ecology Progress Series 321: 9-17.
- [11] Thiele, V. & D. Mehl + Autorenkollektiv (1995) Ökologisch begründetes Sanierungskonzept für das Gewässereinzugsgebiet der Warnow (Mecklenburg-Vorpommern). Endbericht zum BMBF-Forschungsvorhaben 0339517A. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.) 2/1995.
- [12] Mehl, D., Steinhäuser, A., Koch, F. & Küchler, A. (2009) Regionalisierung der Nährstoffbelastung in Oberflächengewässern in Mecklenburg-Vorpommern. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 53 (5): 336-341.
- [13] Kahle, P., Tiemeyer, D., Eichler-Löbermann, B. & Lennartz, B. (2008) Phosphoraustrag aus einem landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebiet des norddeutschen Tieflandes. Wasserwirtschaft 5: 2-7.
- [14] Kahle, P. & Mehl, D. (2014) Nitrat austräge über Dränung landwirtschaftlich genutzter Böden in Mecklenburg-Vorpommern – Fallstudien. KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 7 (4): 198-205.
- [15] Mehl, D. (2013) Berechnung regionalisierter Stickstoff- und Phosphorbilanzen landwirtschaftlicher Nutzflächen in Mecklenburg-Vorpommern. Vortragskurzfassung, 18. Gewässersymposium „Landwirtschaft und Gewässerschutz“ des LUNG M-V, 20.11.2013 in Güstrow, 4 S.
- [16] Kunkel, R., Kape, H.-E., Keller, L., Koch, F., Tetzlaff, B. & Wendland, F. (2016) Szenarien für die Reduzierung von Stickstoffeinträgen zum Erreichen der Grundwasser- und Meeres-schutzziele in Mecklenburg-Vorpommern. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 60 (2): 119-134.
- [17] Mehl, D., Hoffmann, T. G., Schneider, M., Knüppel, M., Baumgarten, W. & Giese, H. (2016a) Konzeptstudie für den Schaalsee (Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern). I. Phosphoraustrag (Einzugsgebiet) und Phosphoreintrag (See). Hydrologie und Wasserbewirtschaftung. Im Druck.
- [18] Mehl, D., Hoffmann, T. G., Schneider, M., Knüppel, M., Baumgarten, W. & Giese, H. (2016b) Konzeptstudie für den Schaalsee (Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern). II. Phosphorretention, Gesamtbilanz, Reduktionsziele, Maßnahmen. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung. Im Druck.
- [19] Mehl, D. & Kästner, U. (2012) Anlage eines Feuchtgebietes zum Nährstoffrückhalt als Kombinationslösung Dränwasser/gereinigtes Abwasser am Neuklostersee (Mecklenburg-Vorpommern). – KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 5 (12): 660-666.

## Autoren

**Dr. Inga Krämer**  
**Dr. Monika Nausch**  
**Dr. Günther Nausch**

Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde  
 und Leibniz-WissenschaftsCampus Phosphor-  
 forschung Rostock  
 Seestraße 15, 18119 Rostock  
 E-Mail: [inga.kraemer@io-warnemuende.de](mailto:inga.kraemer@io-warnemuende.de)  
 E-Mail: [monika.nausch@io-warnemuende.de](mailto:monika.nausch@io-warnemuende.de)  
 E-Mail: [guenther.nausch@io-warnemuende.de](mailto:guenther.nausch@io-warnemuende.de)

**Dr. Dr. Dietmar Mehl**  
**Dr. Barbara Deutsch**  
 biota – Institut für ökologische Forschung und  
 Planung GmbH  
 Nebelring 15, 18246 Bützow  
 E-Mail: [dietmar.mehl@institut-biota.de](mailto:dietmar.mehl@institut-biota.de)  
 E-Mail: [barbara.deutsch@institut-biota.de](mailto:barbara.deutsch@institut-biota.de)



Weitere Empfehlungen aus [www.springerprofessional.de](http://www.springerprofessional.de):

### Eutrophierung

Pfannerstill, M.; Trepel, M.: Effektiver Gewässerschutz durch einen nachhaltigen Umgang mit der Ressource Phosphor. In: Wasser und Abfall, Ausgabe 07-08/2016. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2016.  
[www.springerprofessional.de/link/10554756](http://www.springerprofessional.de/link/10554756)

Pohling, R.: Phosphor/Phosphat. In: Chemische Reaktionen in der Wasseranalyse. 1. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer, 2015.  
[www.springerprofessional.de/link/4058866](http://www.springerprofessional.de/link/4058866)