



## Potential von Maßnahmen zur Reduktion der Nährstoffflüsse im Einzugsgebiet der Oder

Markus Venohr, Jens Hürdler & Dieter Opitz

Leibniz Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei

### Abstract

With its location between the Baltic Sea and the river Oder the Szczecin Lagoon is heavily influenced from both sites. Next to direct atmospheric deposition on the water surface area of the lagoon the river Oder is the most important source for nutrient emissions. For the implementation of the EC Water Framework Directive a considerable reduction of nutrient emissions to the Oder and loads to the Lagoon have to be achieved. This study considers several management options with a great potential for the reduction of emissions, although, especially for nitrogen, it seems unlikely to meet the reduction goals until 2015.

By the implementation of the Waste water Ordinance (AbwV) emissions can be reduced significantly. As in the Oder catchment the nitrogen surplus on agricultural land is in most cases lower than requested from the Fertilizer Ordinance, its implementation will only have very limited effect on the nutrient emissions. The development of nitrogen surplus has shown an increasing trend for the last years, which suggests gaining importance for future emissions from this source. The European Monitoring and Evaluation Programme EMEP (Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe) proposed a reduction of atmospheric deposition until 2015, which would have a positive effect for both direct depositions on the water surface area of the lagoon and the emissions from the Oder catchment. Management options to reduce emissions via urban systems, erosion and tile drainages should be implemented in hot spot areas and can in total contribute to a relevant reduction of the total emissions from the catchment. Hot spot areas have been identified by the impact ratio. For setting up management plans, however, a further consideration of the spatial distribution of monthly nutrient emissions is suggested.

### 1 Einführung

Die EG-Wasserrahmenrichtlinie fordert die Erreichung eines guten ökologischen Zustandes der Oberflächengewässer bis 2015. Dies erfordert die Definition eines Reduktionsziels für einen guten ökologischen Zustand und die Entwicklung von Managementplänen zur Erreichung dieses Ziels. Als guter ökologischer Zustand für die Oder wird die Situation um 1960 diskutiert. Neben der Erreichung bestimmter Konzentrationen in den limnischen Systemen ist aber auch die Reduktion der Frachten in das Haff eine wichtige Zielgröße für die Verbesserung der Belastungssituation im Stettiner Haff.

Die Nährstoffeinträge in Oder, Peene, Zarrow und Uecker und die daraus resultierenden Frachten in das Stettiner Haff stellen neben der direkten atmosphärischen Deposition auf die Wasseroberfläche des Haffs die dominante Nährstoffeintragsquelle dar. Die starke Abhängigkeit des Stettiner Haffs sowie der Küstenökosysteme von den Frachten aus der Oder belegen die enge Kopplung dieser Systeme und die Bedeutung eines gut abgestimmten Einzugsgebiets- und Küstenzonenmanagement.

Eine entscheidende Schnittstelle stellt das Stettiner Haff dar, welches durch seine zwischengeschaltete Position von beiden Seiten massiv beeinflusst wird. Daher lässt sich für das Haff ein enormer Reduktionsbedarf der Frachten aus der Oder ableiten, der vermutlich weit über die Ziele der Wasserrahmenrichtlinie hinausgeht (Schernewski et al. eingereicht).

Neben den Interessen des Gewässerschutzes gilt es jedoch auch die des Tourismus, der Landwirtschaft, der Fischerei sowie anderer gewerblicher Interessen zu berücksichtigen. Eine weitreichende Reduktion der Einträge aus dem Einzugsgebiet ist daher ähnlich problematisch wie die Einschränkung der Nutzung des Haffs um Gewässergüteziele zu erreichen und muss daher auch unter dem Gesichtspunkt der Sozialverträglichkeit und der marktwirtschaftlichen Machbarkeit betrachtet werden.

Innerhalb der IKZM-Oder Projekte I & II wurden die landseitigen Nährstoffeinträge, die Retention in den Oberflächengewässern und die Frachten in das Stettiner Haff untersucht. Um die langzeitige Entwicklung der Belastungssituation nachvollziehen zu können, wurden die Einträge und Frachten von 1950 bis 2005 berechnet. Über die Betrachtung der Vergangenheit und des gegenwärtigen Zustands hinaus bestand die Aufgabe der Implementierung verschiedener Szenarien für die Nährstoffeintragsberechnung. Für diesen Artikel wurden die Potentiale unterschiedlicher Maßnahmen zur Reduktion der Einträge und der Fracht untersucht. Hierzu wurden zum einen unterschiedliche Maßnahmenumfänge betrachtet, um das Gesamtpotential abzuschätzen, zum anderen wurden Gebiete ausgewiesen, die nach den vorliegenden Ergebnissen einen erhöhten Anteil an den Frachten in das Stettiner Haff haben und für diese Gebiete ein erweiterter Maßnahmenumfang angenommen.

## 2 Methode

### Das Einzugsgebiet der Oder

Das Odereinzugsgebiet liegt im Süden der Ostsee und verteilt sich auf die drei Staaten Polen (89 %), Tschechien (6 %) und Deutschland (5 %). Es umfasst mit 115.000 km<sup>2</sup> etwa 6,8 % des gesamten Einzugsgebietes der Ostsee. Die 15,5 Mio. Einwohner des Odereinzugsgebietes stellen 19 % der gesamten Bevölkerung des Ostseeinzugsgebietes dar.

Die Oder stellt neben der atmosphärischen Deposition einen der wichtigsten Emittenten für die Ostsee dar (Mörth et al. 2007), trägt allerdings aufgrund der geringen Niederschläge (~600 mm/a) nur mit 3,7 % zum gesamten Abfluss in die Ostsee bei (Behrendt et al. 2008).

Das Einzugsgebiet wird zu 60 % landwirtschaftlich genutzt, wobei mehr als 50 % auf Ackerflächen entfallen. Im deutschen Teil und dem Teileinzugsgebiet der Warthe findet eine intensive landwirtschaftliche Nutzung statt, die sich in Stickstoffüberschüssen von teilweise mehr als 50 kg/ha/a ausdrücken. Insbesondere für die östlichen Teileinzugsgebiete konnte eine hohe Dränagedichte ermittelt werden, die in weiten Bereichen über 20 % der Ackerfläche betreffen, in einigen Analysegebieten auch deutlich über 30 % liegen.

Innerhalb des Untersuchungszeitraums haben sich erhebliche Veränderungen in den sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen vollzogen. Im Zuge der Wiedervereinigung Deutschlands kam es zu Beginn der 1990er Jahre zu gravierenden Transformationsprozessen in der Landwirtschaft, die zunächst zu einer deutlichen jedoch vorübergehenden Abnahme der Stickstoffüberschüsse führte. In Polen und Tschechien führt der EU-Beitritt 2004 zu zusätzlichen Änderungen in den Nutzungsintensitäten und sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen (Hirschfeld et al. 2009).

### Berechnungsansätze

Zur Ermittlung der Nährstoffeinträge aus dem Einzugsgebiet und der Frachten in das Oderhaff wurde das Nährstoffeintragsmodell MONERIS (Modelling Nutrient Emissions in River Systems) angewendet (Behrendt et al. 2000, Venohr et al. 2009). MONERIS berechnet jährliche und monatliche Stickstoff- und Phosphoreinträge in Flusseinzugsgebieten. Hierzu werden in MONERIS diffuse und punktuelle Eintragspfade über atmosphärische Deposition auf Wasserflächen, Erosion, Abschwemmung, Grundwasser, drainierte Flächen und versiegelte urbane Flächen sowie aus kommunalen Kläranlagen und von industriellen Direkteinleitern unterschieden.

Grundsätzlich berechnet MONERIS auf der Ebene von Analysegebieten (Teileinzugsgebieten) die Konzentrationen und die Wassermengen separat für die einzelnen Eintragspfade zur Ermittlung der Gesamteinträge. Durch die pfadbezogene Unterscheidung der Stoffkonzentrationen können relevante Transformations- und Retentionsprozesse während der Boden- und Grundwasserpassage individuell berücksichtigt werden. Ebenso werden gewässerinterne Retentions- und Verlustprozesse in den Oberflächengewässern modelliert. Über einen integrierten Szenariomanager lässt sich der Effekt von Handlungsoptionen auf die Nährstoffeinträge, die gewässerinterne Retention und die resultierenden Frachten darstellen. Eine vollständige Beschreibung der Methodik und Funktionsweise von MONERIS können im Handbuch (Venohr et al. 2009) nachgelesen werden.

Für die Anwendung von MONERIS werden Informationen zur Landnutzung, deren Intensität, Informationen zu den Einwohnern und deren Anschlusssituation an ein Kanalisationsnetz bzw. Kläranlagen sowie Daten zu Deposition, Niederschlag und den Abflüssen auf Analysegebietsebene benötigt. Eine umfassende Darstellung der verwendeten Eingangsdaten ist in Venohr et al. (2008) beschrieben. Abweichend zu dem dort beschriebenen Kläranlageninventar wurde für diese Berechnungen ein erweitertes Kläranlageninventar verwendet. Das Kläranlageninventar für 2003 wurde von dem Wassermanagement-Verband in Stettin (Regionalny Zarzad Gospodarki Wodnej) bereitgestellt und umfasst Kläranlagen von mehr als 2000 Einwohnergleichwerten.

Der Anteil der dränierten landwirtschaftlichen Fläche wurde zunächst nach Behrendt et al. (2000) auf Basis der Boden-Standorttypen-Verteilung abgeschätzt. Dieser Ansatz wurde ursprünglich für Gebiete in Ostdeutschland entwickelt. Während prinzipiell davon ausgegangen werden kann, dass Staunässe beeinflusste Böden stärker dräniert werden als z. B. sandige Böden, kann der absolute Umfang der umgesetzten Dränierungsmaßnahmen zwischen Ländern, aufgrund von unterschiedlichen sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen, sehr stark variieren. Daher wurden die berechneten dränierten Flächen mit Hilfe von statistischen Angaben zur dränierten Fläche der administrativen Einheiten in Polen (Woiwodschaft) korrigiert (bereitgestellt vom Wassermanagement-Verband in Stettin (Regionalny Zarzad Gospodarki Wodnej). Da die Landnutzungsverteilung zu den administrativen Einheiten nicht vorlagen, wurde der mittlere Anteil der dränierten Flächen an der Gesamtfläche der administrativen Einheiten verwendet und die berechneten dränierten Flächen in den polnischen Analysegebieten angepasst.

Durch gestiegene Anforderungen bezüglich der Modellkompatibilität mit zeitlich und räumlich höher aufgelösten Modellen wurde die Erhöhung der zeitlichen Auflösung des Modells vorangetrieben. Hierfür wurde eine Disaggregation der Nährstoffeinträge und Frachten innerhalb des Modells auf monatliche Ergebnisse durchgeführt. Die Abschätzung der monatlichen Einträge, der Retention und der Frachten basiert auf der Disaggregation der mittleren jährlichen Einträge. Hierzu werden die Eintragspfade in vier Gruppen unterschieden: Punktquellen, Dränagen, Grundwasser und sonstige diffuse Eintragspfade. Die Grundannahme ist, dass die Konzentrationen in den diffusen Pfaden im Jahr konstant bleiben und die Dynamik der Einträge im Wesentlichen über die hydrologische Komponente gesteuert werden. Die Einträge über Punktquellen werden als über das Jahr gleichverteilt angenommen. Eine Beschreibung der Methodik zur Disaggregation zu monatlichen Ergebnissen ist unter [moneris.igb-berlin.de](http://moneris.igb-berlin.de) zu finden.

Berechnung der Szenarien zur Abschätzung des Potentials von Maßnahmen zur Reduktion der Einträge und Frachten wurden für mittlere, trockene und feuchte hydro-klimatische Bedingungen durchgeführt. Die Festlegung der jeweiligen hydro-klimatischen Bedingungen erfolgte auf Basis der monatlichen Abflussspenden. Hierzu wurden für die Monatswerte der Berechnungsjahre von 1983 bis 2005 der Median, das 20 %- und das 80 %-Quantil gebildet. Es zeigte sich, dass das Jahr 2005 sowohl hinsichtlich des Gesamtabflusses als auch der monatlichen Verteilung der Abflüsse in etwa den mittleren Bedingungen im Gesamtzeitraum entspricht. Die 20%- und 80%-Quantile konnten hingegen nicht durch ein einzelnes Jahr abgebildet werden. Hier wurden für die trockenen Bedingungen die Abflüsse und Niederschläge der ersten Jahreshälfte von 1999 und der zweiten Hälfte von 1996

herangezogen. Für die feuchten Bedingungen wurden die erste Hälfte von 1997 und die zweite Hälfte von 2004 verwendet (Abb. 1)

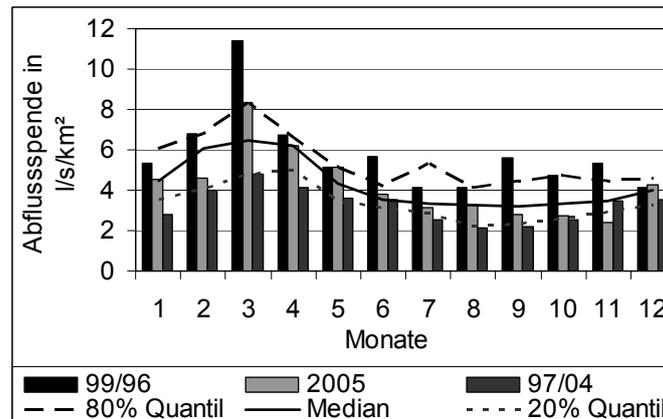


Abb. 1: Median, 20 %- und 80 %-Quantil der monatlichen Abflüsse aus den Jahren 1983–2005 an der Mündung ins Stettiner Haff und die als mittlere-, trockene- und feuchte Bedingungen definierten Jahre

Zusätzlich zu diesen Berechnungen mit MONERIS wurden die Einträge für alle Einzeljahre bei mittleren hydrologischen und klimatischen Verhältnissen berechnet. Hierzu wurden ebenfalls Niederschlag, Abflüsse und Wassertemperaturen des Jahres 2005 verwendet. Somit kann der Einfluss der anthropogen bedingten Rahmenbedingungen von dem Einfluss der Hydrologie getrennt betrachtet werden. Dies geht über die übliche Abflusskorrektur der Frachten hinaus, da pfadspezifisch die Bedingungen berücksichtigt und auch die gewässerinterne Retention für die jeweiligen Bedingungen berechnet werden.

### Maßnahmen zur Reduktion der Einträge und Frachten

Durch das Modell werden nicht einzelne Maßnahmen abgebildet, sondern nur deren Nettoeffekt auf die Nährstoffeinträge. Aufgrund der räumlichen Auflösung von MONERIS sind die Ergebnisse nicht als alleinige Grundlage für die Veranlassung von Maßnahmen gedacht, sondern liefern eine Übersicht über die Potentiale der Maßnahmen für das gesamte Flussgebiet und somit die Grundlage für detaillierte Planungen vor Ort.

Die Maßnahmen zur Reduktion der Einträge können für einzelne Analysegebiete definiert werden und zu Szenarien zusammengefasst werden. Das Gesamtpotential der Maßnahmen lässt sich feststellen, wenn sie in allen Gebieten angewendet werden. Eine effiziente Umsetzung der Maßnahmen lässt sich jedoch nur dann planen, wenn jene Analysegebiete identifiziert werden, die einen hohen Anteil an den Frachten am Gebietsausgang in das Haff haben. Hierzu wurde der Wirkungsfaktor (WF) eingeführt. Dieser beschreibt das Verhältnis  $F\%$  zu  $E\%$  ( $WF = F\%/E\%$ ), wobei  $E\%$  den Anteil der Einträge aus einem Analysegebiet an den Gesamteinträgen und  $F\%$  den Anteil der Frachten aus diesem Analysegebiet an den Gesamtfrachten am Gebietsausgang beschreiben.

Für diese Arbeit wurden nur einige der im Modell angebotenen Maßnahmen ausgewählt, um die Interpretation der Ergebnisse überschaubar zu halten. Hierzu wurden zwei Handlungsrahmen zu Grunde gelegt: A) Eine vollständige Umsetzung der geplanten Maßnahmen in allen Teileinzugsgebieten (VUM), um das Gesamtpotential zur Reduktion der Einträge zu ermitteln. Für diesen Handlungsrahmen sollte realistischerweise nur ein geringerer bzw. mittlerer Maßnahmenumfang angenommen werden. Für den Handlungsrahmen VUM3 wurde ein sehr ambitionierter Maßnahmenumfang angenommen, um eine Abschätzung der maximal möglichen Reduktion der Einträge durchführen zu können. B) Eine teilweise Umsetzung der Maßnahmen in den

Gebieten, die einen überdurchschnittlich hohen Anteil an den Frachten ( $WF > 1,1$ ) in das Haff haben. Durch die gezielte Umsetzung der Maßnahmen in sensitiven Teileinzugsgebieten kann hier ein erhöhter Maßnahmenumfang angesetzt werden. Die berücksichtigten Maßnahmen sind:

### Kläranlagen und urbane Systeme

Hier wurde die vollständige Umsetzung der Abwasserverordnung angenommen. Dies bedeutet, dass die Ablaufkonzentrationen aus den Kläranlagen auf einen größenklassenspezifischen Maximalwert festgelegt wurden (Tab. 1). Die Ablaufkonzentration wird durch das Modell für individuelle Kläranlagen überprüft und bei Überschreitung durch die Maximalkonzentration ersetzt. Für die Maßnahme „Erweitert“ wurden deutlich strengere Ablaufkonzentrationen angenommen. Dies könnte der Situation entsprechen, dass kleinere Kläranlagen entweder zusammengefasst und/oder über eine Erweiterung der Reinigungsstufen geringere Ablaufkonzentrationen erreicht werden.

Tab. 1: Maximale Ablaufkonzentrationen für einzelne Kläranlagengrößenklassen nach Abwasserverordnung (AW) und für ein erweitertes Szenario (GK: Größenklasse, EWG: Einwohnergleichwerte, TN: Gesamtstickstoff, TP: Gesamtphosphor)

GK	EWG	AW-Verordnung		Erweitert	
		TN	TP	TN	TP
		mg/l			
1	<1.000	60	6	15	2
2	1.000–5.000	60	6	15	2
3	5.000–10.000	15	2	10	1
4	10.000–100.000	15	2	10	1
5	>100.000	10	1	7	0,7

### Landwirtschaft

Die Abschätzung der zukünftigen Entwicklung der Landwirtschaft und insbesondere der Stickstoffüberschüsse auf landwirtschaftlichen Flächen ist mit großen Unsicherheiten behaftet und hängt nicht nur von den lokalen Landwirten, sondern auch von der überregionalen bis europaweiten wirtschaftlichen Entwicklung ab (Hirschfeld et al. 2009). Auf Basis der von Hirschfeld et al. (2009) berücksichtigten Szenarien ist sowohl ein Anstieg als auch eine Reduktion der Stickstoffüberschüsse möglich. Nach den Annahmen der EFMA (2005) ist für Polen von einem Anstieg der Düngemittelanwendung um schätzungsweise 23 % auszugehen. Diesen möglichen Trend zu kompensieren und die Überschüsse auf dem derzeitigen Niveau zu fixieren, wäre bereits eine anspruchsvolle Maßnahme. In den Szenarien wird teilweise zusätzlich von einer Reduktion der Überschüsse ausgegangen, um den Einfluss auf den Gesamtstickstoffhaushalt zu betrachten. Die in Tab. 2 angegebenen Grenzwerte für die Überschüsse geben den Anteil der Überschüsse an, der sich nach Abzug der atmosphärischen Deposition ergeben würde. Die in der Düngemittelverordnung festgelegten Werte liegen somit höher. Der in Tab. 2 angegebene Überschuss von 40 kg/ha/a zuzüglich einer mittleren atmosphärischen Stickstoffdeposition von 18 kg/ha/a entspricht in etwa dem nach der Düngeverordnung festgelegten Wert von 60 kg/ha/a.

Die Einträge durch Erosion lassen sich zum einen durch eine Reduktion des Bodenabtrages oder durch Gewässerrandstreifen reduzieren. Zur Reduktion des Bodenabtrages sind eine Reihe von Maßnahmen möglich (hangparalleles Pflügen, Mulchsaat, Direktsaat, usw.). Die Effektivität dieser Maßnahmen kann sehr stark variieren und möglicherweise durch entsprechende Beratung der Landwirte erhöht werden. Eine Anlage von Gewässerrandstreifen ist nur an ausgewählten Abschnitten sinnvoll und möglich. Zusätzlich erreichen Gewässerrandstreifen erst ab einer gewissen Breite eine ausreichende

Effektivität und beanspruchen daher möglicherweise einen erheblichen Anteil der gewässernahen Ackerflächen. Aus diesen Gründen wurden Gewässerrandstreifen nur in mäßigem Umfang als Maßnahme berücksichtigt. Die in Tab. 2 angegebenen Werte entsprechen dem durch Randstreifen zurückgehaltenem erodierten Material in Prozent des gesamten erodierten Materials.

Insbesondere für Stickstoff sind Dränagen ein wichtiger Eintragspfad. Um Einträge aus Dränagen zu reduzieren, müssten sie entfernt werden oder die Abflüsse entweder behandelt oder gesteuert werden. Das Entfernen von Dränagen ist zum einen recht aufwendig und zum anderen passt dies nicht in das Bild einer in Zukunft möglicherweise intensivierten Landwirtschaft. Zur Behandlung von Drainageabflüssen sind Retentionsteiche eine Möglichkeit. Um eine zufriedenstellende Retentionsleistung zu erreichen, muss ein ausreichendes Verhältnis von Teichgröße zur dränierten Fläche geschaffen werden. Die Angaben in Tab. 2 geben die Teichfläche in ha pro km<sup>2</sup> dränierter Ackerfläche wieder.

Tab. 2: Kombination und Umfang der Maßnahmen in den Szenarien zur Reduktion der Einträge, (VUM: vollständige Umsetzung in allen Teileinzugsgebieten; TUM: teilweise Umsetzung der Maßnahmen; BA: Bodenabtrag, RBF: Retentions-Bodenfilter, MKS: Mischkanalisations-Speichervolumen, MG: mittleres Gefälle, GR: Gewässerrandstreifen). (nur wenn Wirkungsfaktor für \* Stickstoff & \*\* Phosphor > 1,1.)

Szenario	Kläranlagen	Urbane Systeme	N-Überschuss	Erosion	Dränage-teiche	Atmosphärische Deposition
		%	kg/ha	%	ha/km <sup>2</sup>	%
VUM1	Umsetzung der Abwasser-verordnung	RBF: + 10 MKS: + 10	Max. 60	BA: -60 MG: >4 GR: 5	10	NO <sub>x</sub> -33 NH <sub>y</sub> ± 0
VUM2		RBF: ± 20 MKS: ± 20	Max. 40	BA: -90 MG: >4 GR: 10	20	
TUM1		RBF: ± 20 ** MKS: ± 20 **	Max. 40 *	BA: -90 ** MG: >2 ** GR: 20 **	20 *	
TUM2		RBF: ± 50 ** MKS: ± 50 **	Max. 20 *	BA: -90 ** MG: >2 ** GR: 50 **	50 *	
VUM3	Erweitert (Tab. 1)	RBF: ± 50 MKS: ± 50	Max. 20	BA: -90 MG: >2 GR: 50	50	NO <sub>x</sub> -50 NH <sub>y</sub> -25

### Atmosphärische Deposition

Die EMEP (2006) hat Projektionen zur möglichen Entwicklung der atmosphärischen Deposition bis 2015 entwickelt. Nach deren Angaben kann von einer mittleren Reduktion der NO<sub>x</sub>-Immissionen um 33 % ausgegangen werden, während keine nennenswerte Reduktion für NH<sub>y</sub>-Immissionen angenommen wird. Aufgrund des atmosphärischen Transportes liegen die Verursacher von Immissionen häufig außerhalb eines untersuchten Flusssystemes. Ähnlich wirken sich Maßnahmen zur Reduktion der Immissionen innerhalb eines Flusssystemes häufig erst auf die Deposition in externen Gebieten aus. Die Berechnungen dieser Arbeit orientieren sich an den Aussagen der EMEP und beziehen sich auf die tatsächliche Reduktion der Deposition. Für das Szenario VUM3 wurde darüber hinaus eine deutlich umfangreichere Reduktion angenommen (Tab. 2).

### 3 Ergebnisse

#### Entwicklung der Nährstoffeinträge von 1955 bis 2005

Betrachtet man die Entwicklung der Stickstoff- und Phosphoreinträge kann man einen stetigen Anstieg von 1955 bis 1980 und eine anschließende Phase der Stagnation auf Höchstniveau bis etwa 1990 feststellen. Von 1989 zu 1990 kam es zu einer deutlichen Reduktion der Stickstoffeinträge aufgrund von reduzierten Stickstoffüberschüssen nach der Wiedervereinigung und dem vorübergehenden Zusammenbruch der Landwirtschaft in Polen und Tschechien. Da sich Phosphor deutlich stärker im Boden anreichert, wirken sich der politische Wandel und die dadurch beeinflusste Landwirtschaft nicht vergleichbar stark in reduzierten Einträgen aus. Nach dem starken Rückgang der Überschüsse 1990 ist eine allmähliche Zunahme der Einträge aus der Düngieranwendung (Abb. 2) festzustellen, welche auf die gesteigerten Stickstoffüberschüsse zurückzuführen ist. Dieser Trend scheint sich auch in den Jahren 2006–2008 fortzusetzen, da in diesen Jahren die abflusskorrigierten TN-Frachten weiterhin steigen (nicht dargestellt).

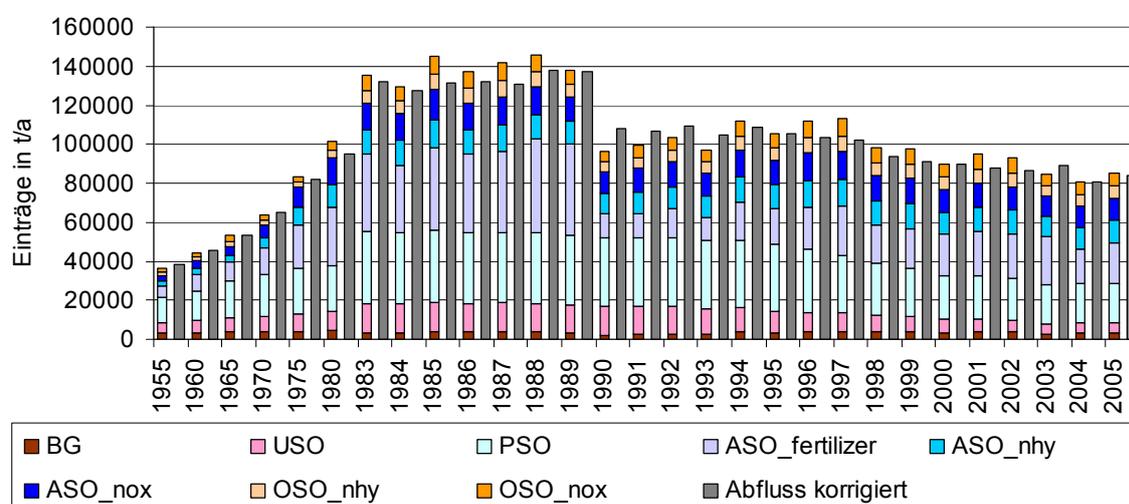


Abb. 2: Stickstoffeinträge von 1955 bis 2005 unterschieden nach den Herkunftsquellen der Einträge. (BG: natürliche Hintergrundbelastung, USO: Urbane Quellen, PSO: Punktquellen, ASO\_fertilizer: Einträge aus der Düngieranwendung, ASO\_NHy: Einträge durch NHy-Deposition auf landwirtschaftlichen Flächen, ASO\_NOx: Einträge durch NOx-Deposition auf landwirtschaftlichen Flächen, OSO\_NHy: Einträge durch NHy-Deposition auf sonstigen Flächen, OSO\_NOx: Einträge durch NOx-Deposition auf sonstigen Flächen)

Für Phosphor ist die stärkste Änderung bei Einträgen aus urbanen Systemen festzustellen (Abb. 3). Hier sind die Änderungen im Wesentlichen durch die zunehmende Verwendung von Phosphaten in Reinigungsmitteln (zunächst Waschmittel später Geschirrspülmittel) und den späteren Einsatz von phosphatfreien Reinigungsmitteln zu erklären.

Vergleicht man die Einträge der Einzeljahre mit den jeweils auf Basis des mittleren Abflusses berechneten Einträgen, stellt man unter anderem eine leichte Abwärtskorrektur der Einträge in den relativ feuchten Jahren von Mitte der 1970er Jahre bis Mitte der 1980er Jahre fest. Insgesamt ergibt sich jedoch keine signifikante Änderung der Höhe und des Trends der Einträge im Berechnungszeitraum.

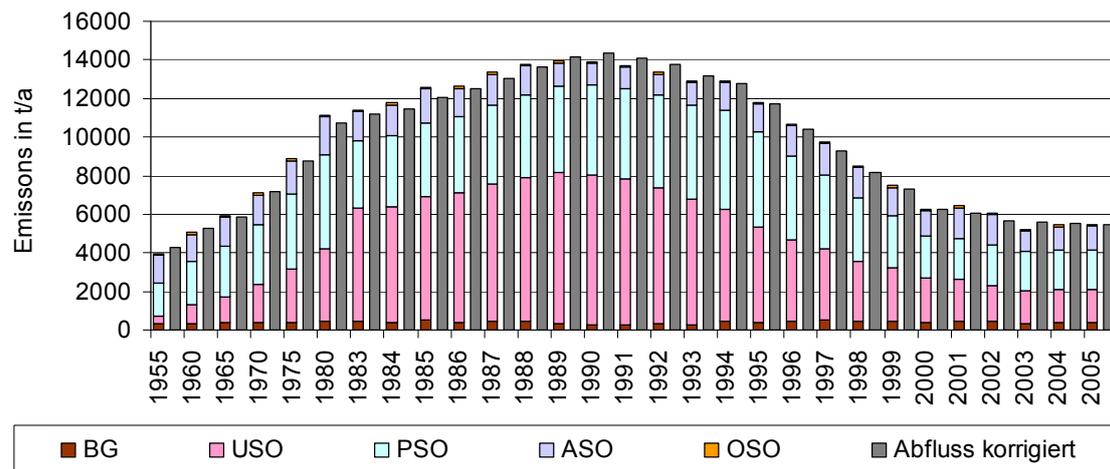


Abb. 3: Phosphoreinträge von 1955 bis 2005 unterschieden nach den Herkunftsquellen der Einträge. (BG: natürliche Hintergrundbelastung, USO: Urbane Quellen, PSO: Punktquellen, ASO: landwirtschaftliche Quellen, OSO: andere Quellen)

### Bewertung der Modellergebnisse anhand beobachteter Frachten

Der Vergleich der beobachteten und berechneten Frachten stellt das wichtigste Gütemaß zur Bewertung der Modellergebnisse dar. Die in Tab. 3 dargestellten Gütemaße wurden als 5-Jahresmittelwerte für alle verfügbare Stationen und Beprobungsjahre ausgewertet. Die Abweichung von 25–30 % entspricht in etwa den Unsicherheiten der beobachteten Frachten. Das hohe Bestimmtheitsmaß und die hohe Modelleffizienz belegen, dass das Modell über die Jahre hinweg und für die verschiedenen Teilräume im Einzugsgebiet die beobachteten Frachten modellieren kann. Die mittlere Abweichung an der Station Krajnik Dolny für den gesamten Berechnungszeitraum beträgt 15,5 % für TN (1990–2005), 21,5 % für DIN (1990–2005) und 20,1 % für TP (1983-2005).

Tab. 3: Vergleich der beobachteten und berechneten Jahresfrachten aller Stationen in den Jahren 1983 bis 2005. Modelleffizienz nach Nash & Sutcliff (1970)

Stoff	Mittlere absolute Abweichung in %	Bestimmtheitsmaß ( $r^2$ )	Modelleffizienz	Anzahl der Stationen	Beprobte Jahre
TN	25,2	0,96	0,95	32	460
DIN	26,4	0,94	0,92	36	657
TP	30,0	0,88	0,85	30	469

Die Disaggregation der jährlichen Einträge auf Monatswerte und die subsequence Berechnung der gewässerinternen Nährstoffretention und Frachten lieferte ebenfalls eine guten Übereinstimmung der beobachteten und gemessenen Frachten. Am Beispiel der Station Krajnik Dolny kann gezeigt werden, dass MONERIS sowohl die allgemeine Entwicklung der Frachten innerhalb des Berechnungszeitraums als auch die saisonale Dynamik innerhalb einzelner Jahre wiedergibt (Abb. 4). Die teilweise hohen Abweichungen zwischen beobachteten und berechneten Frachten für einzelne Monate lassen sich zum Teil durch die relativ einfache Methode zur Disaggregation der Einträge erklären. Monatsfrachten sind zusätzlich deutlich stärker von einzelnen Eintragsereignissen abhängig, die gegebenenfalls nicht von der Messung erfasst worden sind und auch nicht für den jeweiligen Monat repräsentativ sind.

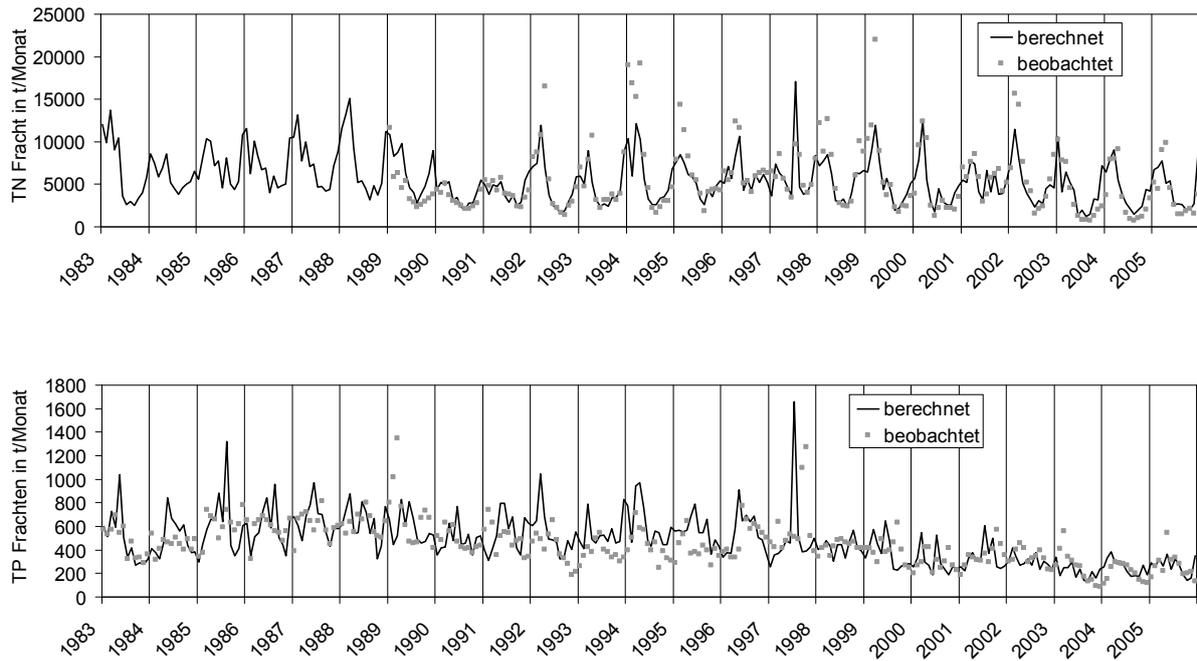


Abb. 4: Vergleich der beobachteten und modellierten monatlichen Frachten für TN (Gesamtstickstoff, oben) und TP (Gesamtphosphor, unten) im Zeitraum von 1983 bis 2005 an der Station Krajnik Dolny

### Anteil der Eintragspfade und Herkunftsquellen

Die für mittlere hydro-klimatische Bedingungen berechneten Gesamteinträge (hier mit dem Jahr 2005 gleichbedeutend) belaufen sich auf 83.000 t/a (TN) und 5.200 t/a (TP). Die dominanten Eintragspfade sind Drainage, Grundwasser und Kläranlagen für Stickstoff sowie Kläranlagen und urbane Systeme für Phosphor (Abb. 5). Unter feuchten Bedingungen nehmen die Einträge um 12 % zu, während sie unter trockenen Bedingungen um 9% (TN) bzw. 5 % (TP) abnehmen. Die stärksten Änderungen ergeben sich hier für die Pfade Abschwemmung (TN: +27 %/-25 %; TP: +44 %/-27 %) und Grundwasser (TN: +36 %/-25 %; TP: +47 %/-26 %).

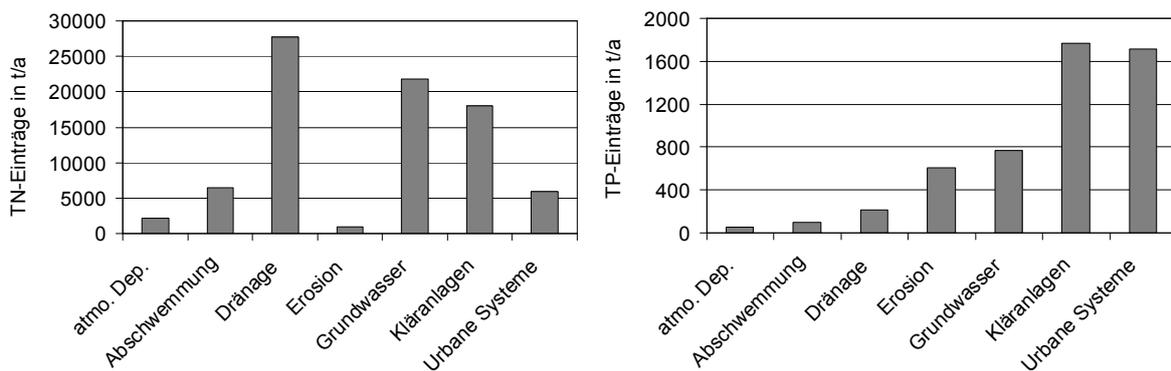


Abb. 5: Eintragspfade der Stickstoff- (links) und Phosphoreinträge (rechts) für das Jahr 2005

Trotz der im Vergleich mit anderen mitteleuropäischen Flusssystemen geringen Stickstoffüberschüsse beträgt der durch Düngemittelverwendung verursachte Anteil der Stickstoffeinträge 25 % an den Gesamteinträgen. Mit 22 % stellen Punktquellen die zweitwichtigste Eintragsquelle dar, während Einträge aus urbanen Systemen für Stickstoff relativ unbedeutend sind. Die bedeutsamste Quelle für

Stickstoffeinträge ist jedoch die atmosphärische Deposition. Insgesamt stammen 33 % der gesamten Stickstoffeinträge aus dieser Quelle (Abb. 6). Für Phosphor sind Punktquellen und urbane Systeme gleichermaßen bedeutsam und liefern zusammen 68 % der Gesamteinträge. Die Landwirtschaft hingegen liefert nur einen Anteil von 24 % der Gesamteinträge.

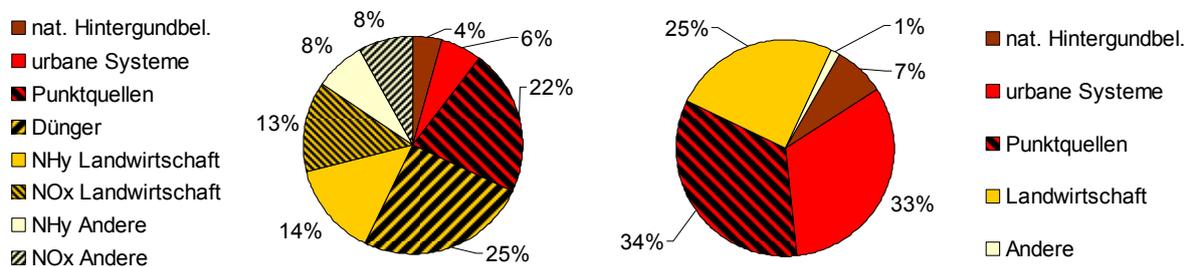


Abb. 6: Verteilung der Herkunftsquellen an den Gesamteinträgen für Stickstoff (links) und Phosphor (rechts) für das Jahr 2005

Die zuvor angesprochene Dynamik der Nährstoffeinträge zwischen trockenen und feuchten Jahren zeigt sich noch stärker zwischen trockenen und feuchten Monaten (Abb. 7). Die hier dargestellte innerjährliche Dynamik beschreibt das Jahr 2005. In anderen Jahren verschieben sich demnach die Verhältnisse und der Umfang der Einträge in den Monaten.

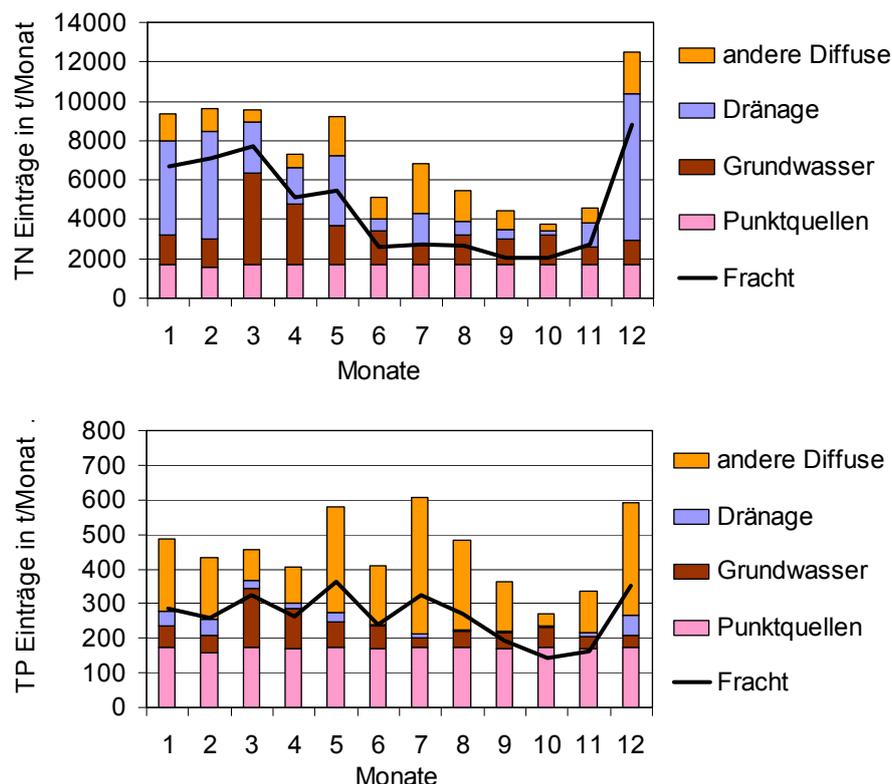


Abb. 7: Monatliche Stickstoffeinträge (oben) und Phosphoreinträge (unten) im Odereinzugsgebiet 2005

Die stärkste Dynamik der Stickstoffeinträge wurde für Dränagen berechnet. Diese variieren zwischen 220 t im Oktober und 7400 t im Dezember. Phosphor betreffend ergibt sich für Dränagen ebenfalls die stärkste innerjährliche Änderung (Oktober: 2 t; Dezember 57 t), jedoch ist der Anteil an den

Gesamteinträgen sehr gering. Für Phosphor ist die Änderung der Einträge über Erosion, Oberflächenabfluss und urbane Systeme („andere diffuse Pfade“) bedeutsam. Hier schwanken die Einträge zwischen 35 t (Oktober) und 390 t (Juli) mit einem Faktor von 11,2. Die Stickstoffeinträge über Grundwasser/Interflow und andere diffuse Pfade schwanken mit einem Faktor von 5,2 (Grundwasser) und 8,3 (andere diffuse). Die Änderung der Gesamteinträge fällt hingegen etwas geringer aus und schwankt nur um einen Faktor 3,3 (TN) und 2,2 (TP). Aufgrund der sich zusätzlich ändernden gewässerinternen Retention ändern sich die Frachten stärker als die Einträge in die Gewässer. Demnach ergibt sich ein Faktor zwischen den Monaten von 4 für Stickstoff und 2,6 für Phosphor.

### **Räumliche Verteilung der Nährstoffeinträge**

Die mittleren Einträge im Jahr 2005 betragen 7,3 kg/ha/a (TN) und 48 kg/(km<sup>2</sup>/a) (TP). Auf jährlicher Basis lassen sich einige Analysegebiete mit erhöhten Einträgen im südlichen gebirgigen Teil und in den zentralen landwirtschaftlich intensiv genutzten Bereichen des Einzugsgebietes ausweisen (Abb. 8). Bei monatlicher Betrachtung ergibt sich ein differenzierteres Bild (Abb. 9). Während sich bei Stickstoff im Winter stärker lokale *Hotspots* bilden, steigt der Eintrag über Erosion gleichmäßiger und flächenhaft.

Die Gebiete mit einem Wirkungsfaktor >1,1 umfassen 35 % (TN) und 48 % (TP) des gesamten Einzugsgebietes der Oder und tragen 38 % (TN) bzw. 58 % (TP) der gesamten Einträge bei. Aufgrund der relativ geringen gewässerinternen Retention steuern diese Gebiete jedoch 44 % (TN) und 70% (TP) der gesamten Fracht in das Haff bei. Insbesondere hinsichtlich einer Reduzierung der Frachten in das Haff sind Maßnahmen in diesen Teileinzugsgebieten überdurchschnittlich wirksam. Entgegen der naheliegenden Vermutung liegen die Gebiete mit einem hohen Wirkungsfaktor nicht in Mündungsnähe, sondern im zentralen und westlichen Teil des Einzugsgebietes (Abb. 10).

### **Potentiale von Maßnahmen zur Reduktion der Nährstoffeinträge**

Für den Zeitraum 1958–1962 wurden unter Berücksichtigung der langjährigen mittleren Niederschläge und Abflüsse Einträge von 46.000 t/a (TN) und 5.000 t/a (TP), Frachten von 31.000 t/a (TN) und 2.400 t/a (TP) sowie Konzentrationen von 2,0 mg/l und 0,17 mg/l berechnet (Behrendt & Dannowski 2005). Behrendt & Dannowski (2005) ermittelten auf Basis dieser Daten über den Vergleich der Zeiträume 1958–1962 zu 1998–2002 einen Reduktionsbedarf der Frachten von 40 % für Phosphor und 60 % für Stickstoff. Da sowohl die beobachteten Frachten als auch die berechneten Einträge nach 2002 stark zurückgegangen sind ergibt sich für die Jahre 2003–2005 im Vergleich zu 1998–2002 ein deutlich geringer Reduktionsbedarf. Zum Großteil lässt sich dieser Rückgang über die abnehmenden Niederschläge und Abflüsse von 2002 zu 2003 um 35 % erklären. Bezieht man sich auf die mittleren Verhältnisse in den Jahren 2001–2005, ergibt sich ein Reduktionsbedarf von 20–25 % für Phosphor und 40–50 % für Stickstoff.

MONERIS hat für das Odereinzugsgebiet eine mittlere Grundwasseraufenthaltszeit von 30–35 Jahren berechnet, wobei diese Werte zwischen 5 und 150 Jahren schwanken. Die Stickstoffüberschüsse aus der Landwirtschaft werden aufgrund der Grundwasseraufenthaltszeit auch Jahre nach Aufbringung für die Einträge über das Grundwasser wirksam. Bis 2015 sind die hohen Stickstoffüberschüsse der 1980er Jahre immer noch wirksam und daher reduzieren sich die Stickstoffeinträge nur um etwa 0,6 % und die Frachten um etwa 0,5 %.

In den Berechnungen zu den Szenarien ergeben sich die höchsten Reduktionspotentiale für die Einträge über Erosion, Dränagen und Kläranlagen (Tab. 4). Die Reduktion der Gesamteinträge für das Szenario VUM1 beläuft sich auf 12 % (TN) und 12,6 % (TP). Auf Grund des anspruchsvolleren Szenarios ergibt sich für VUM2 eine entsprechend höhere Reduktion der Einträge und Frachten. Während das Reduktionsziel für Phosphor durch diese Maßnahmen bereits annähernd erreicht wird, liegt die für Stickstoff berechnete Reduktion deutlich unter den Zielvorgaben.

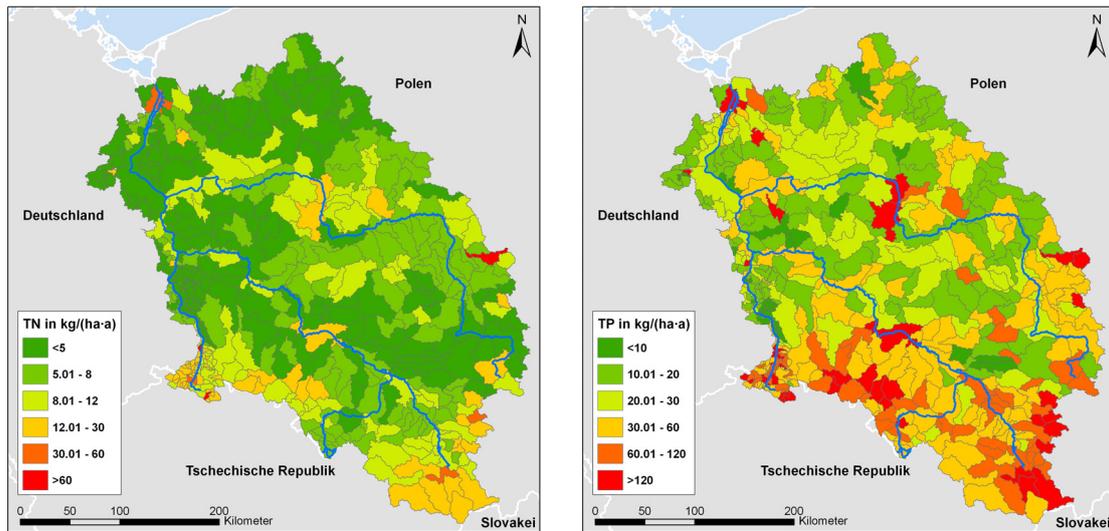


Abb. 8: Räumliche Verteilung der Gesamtstickstoff- (links) und Gesamtphosphoreinträge (rechts) 2005

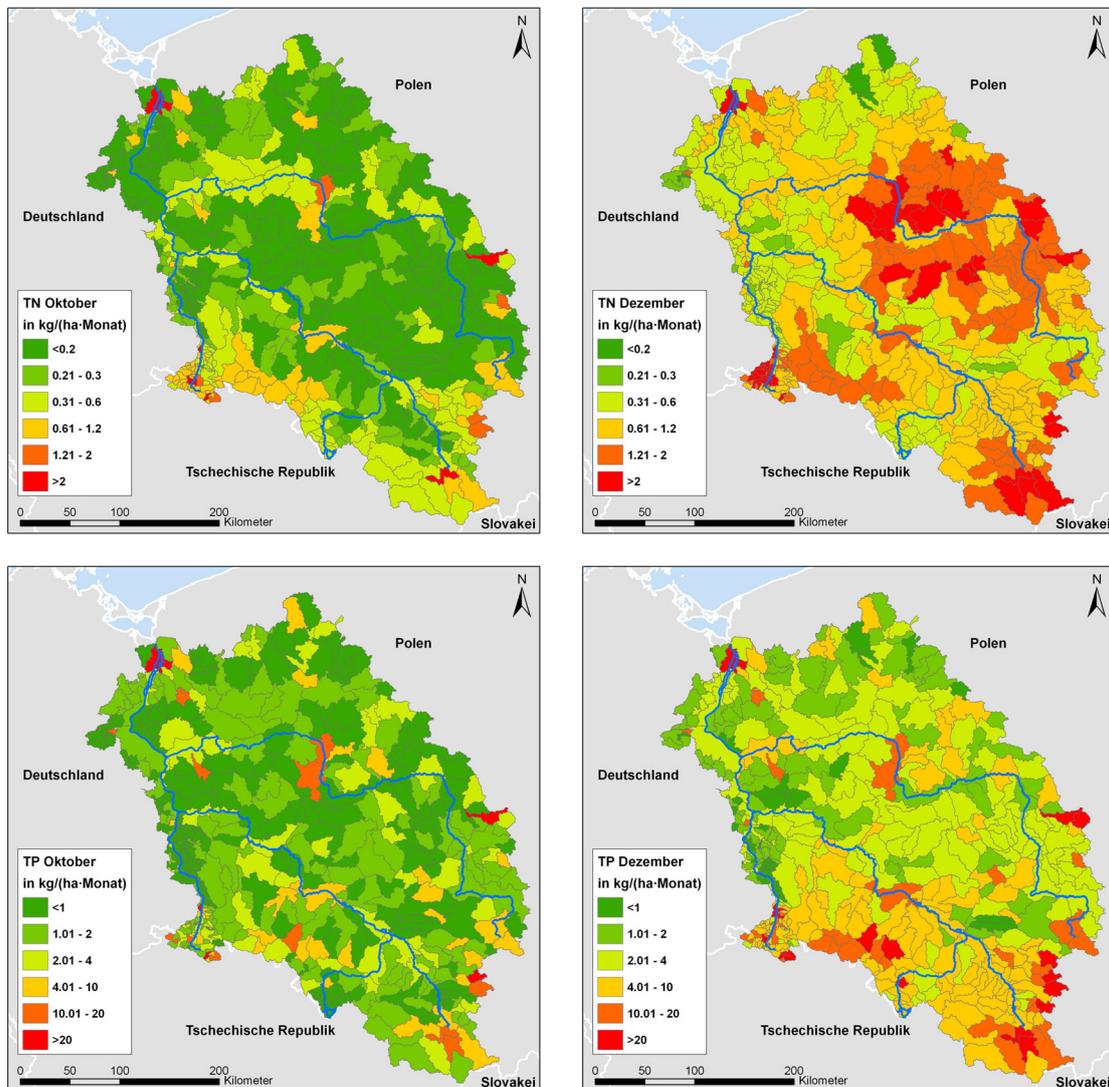


Abb. 9: Räumliche Verteilung der Gesamtstickstoff- (oben) und Gesamtphosphoreinträge (unten) in den Monaten Oktober (links) und Dezember (rechts) im Jahr 2005

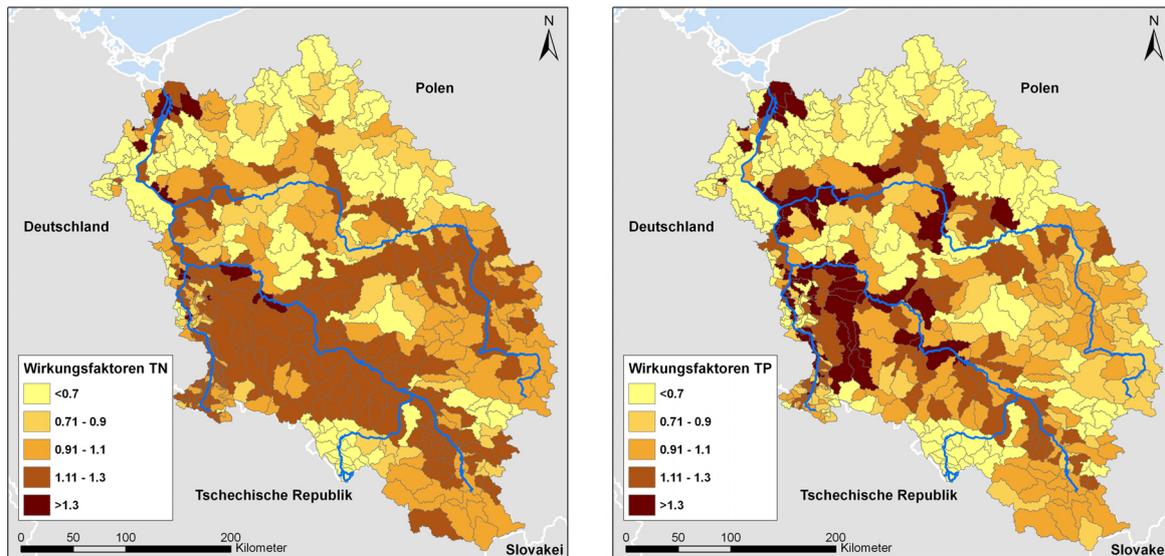


Abb. 10: Identifikation von Gebieten mit einem überdurchschnittlich hohen Anteil an den resultierenden Frachten in der Oder, berechnet für das Jahr 2005

Einige Maßnahmen für Stickstoff heben sich in ihrer Wirksamkeit gegenseitig auf, so dass die Summe der Einzelmaßnahmen höher ist als die Gesamtreduktion durch die Kombination aller Maßnahmen (z. B. Reduktion der atmosphärischen Deposition führt dazu, dass der Stickstoffüberschuss nicht zusätzlich reduziert werden muss oder reduziert die Wirksamkeit der Retention der Dränteiche).

Für Phosphor ist der Effekt entgegengesetzt, hier verstärken sich die Effekte der Einzelmaßnahmen bei der gemeinsamen Anwendung (durch die höhere Gesamtreduktion von Stickstoff kommt es häufiger zu günstigeren Redoxbedingungen, die wiederum geringere Phosphorkonzentrationen im Grundwasser bewirken).

Tab. 4: In den Szenarien durch die Maßnahmen für das Jahr 2015 erzielte Reduktion der Einträge von Gesamtstickstoff (N) und Gesamtphosphor (P) in Prozent zu den Einträgen im Jahr 2005

Szenario	Klär- anlagen	Urbane Systeme	Stickstoff- Überschuss	Erosion	Dränage- Teiche	Atmosphär. Deposition	Gesamt	Fracht
VUM1		N: -0,1 P: -0,3	N: -0,0 P: -0,0	N: -0,1 P: -1,5	N: -1,9 P: -0,6		N: -12,0 P: -12,6	N: -13,9 P: -18,6
VUM2	N: -4,4 P: -9,5	N: -0,2 P: -0,8	N: -0,9 P: -0,0	N: -0,4 P: -4,7	N: -3,6 P: -1,0	N: -5,6 P: -0,8	N: -14,2 P: -16,7	N: -15,9 P: -21,6
TUM1		N: -0,1 P: -0,4	N: 0,0 P: 0,0	N: -0,3 P: -3,6	N: -1,6 P: -0,5		N: -11,4 P: -14,4	N: -13,7 P: -21,0
TUM2		N: -0,1 P: -0,6	N: -2,2 P: 0,1	N: -0,4 P: -4,0	N: -2,3 P: -0,6		N: -13,6 P: -16,1	N: -16,0 P: -22,8
VUM3	N: -8,0 P: -16,3	N: -0,3 P: -1,2	N: -4,9 P: -0,1	N: -0,8 P: -9,0	N: -7,6 P: -1,8	N: -13,1 P: -1,1	N: -32,8 P: -30,1	N: -33,9 P: -37,1

Das Szenario TUM1 entspricht in seinem Maßnahmenumfang dem Szenario VUM2, wobei die Maßnahmen nur auf ausgewählte Gebiete angewendet wurden. Es zeigt sich, dass, obwohl die Reduktion der Einträge entsprechend geringer ausfällt, insbesondere die TP-Frachten kaum höher liegen als bei dem VUM2 Szenario. Nach dem TUM2 Szenario lassen sich über lokal ambitionierte

Maßnahmen in etwa die gleichen Reduktionsziele erreichen wie bei der flächendeckenden Umsetzung von weniger umfangreichen Maßnahmen.

Das unrealistische Szenario VUM3 würde eine Reduktion der TP-Einträge bewirken, die deutlich über die Reduktionsziele hinausgehen. Für TN hingegen ist das Reduktionsziel auch unter diesen Annahmen nicht zu erreichen.

#### **4 Diskussion**

Für die Oder wurde eine starke Abnahme der Nährstoffeinträge und -frachten von Mitte der 1980er Jahre bis zum Jahr 2005 festgestellt. Trotzdem liegen die Einträge noch höher als in den 1960er Jahren, die als Zielzustand für die Oder angenommen wurden. Die angenommenen Maßnahmen führen zwar zu einem signifikanten Rückgang der Nährstoffeinträge und -frachten, reichen aber für Stickstoff nicht aus, das Reduktionsziel zu erreichen. Für Phosphor hingegen können die Ziele durch Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen erreicht werden. Während einige Maßnahmen flächendeckend umgesetzt werden müssen (Düngeverordnung, Abwasserverordnung), ergibt sich für Phosphor ein Handlungsspielraum zwischen der flächenhaften Umsetzung von Maßnahmen und der gezielten Umsetzung von ambitionierten Maßnahmen in Schwerpunktgebieten. Der Wirkungsfaktor ist hier ein hilfreiches Werkzeug für die Identifizierung von Schwerpunktgebieten, ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn es maßgeblich um die Reduktion der Frachten in das Haff geht.

Nach Daten der FAO (2007) ergibt sich für Polen ein Stickstoffüberschuss von 45 kg/ha/a. Anhand der detaillierten Stickstoffüberschüsse im Jahr 2003 lässt sich ein flächengewichteter Mittelwert von 38 kg/ha/a ableiten. Nur auf weniger als 2 % der landwirtschaftlichen Fläche im Odereinzugsgebiet wurden Stickstoffüberschüsse von über 60 kg/ha/a berechnet. Dementsprechend gering ist das Potential zur Minderung der Stickstoffeinträge auf Basis einer Reduzierung des Stickstoffüberschusses.

Problematisch für die Reduktion der Stickstoffeinträge ist, dass die höchsten Stickstoffüberschüsse in den Gebieten mit der längsten mittleren Grundwasseraufenthaltszeit auftreten. Dadurch bleiben die Überschüsse länger im System und eine weitere Reduktion der Einträge ist erst möglich, wenn die hohen Überschüsse der 1980er und 1990er Jahre nicht mehr wirksam sind. Ein großes Reduktionspotential kann von einer Minderung der atmosphärischen Deposition angenommen werden. Hier ist eine einzugsgebietsübergreifende Politik zur Minderung der Stickstoffimmissionen in die Atmosphäre nötig. Maßnahmen zur Reduktion der Einträge aus urbanen Systemen bewirken nur eine geringe Minderung der Einträge und sind in der Oder allenfalls lokal als effektive Maßnahme zu bewerten.

Eine Reduktion der Einträge über Erosion kann für Phosphor zu einer wesentlich Minderung der Gesamteinträge beitragen. Hier erscheint die Etablierung von Gewässerrandstreifen in Schwerpunktgebieten sinnvoll (Szenario TUM1 und TUM2), da eine flächendeckende Umsetzung nur schwer durchführbar ist. Neben der Umsetzung der Abwasserverordnung und der flächendeckenden Reduktion der atmosphärischen Deposition sind Dränageteiche die Einzelmaßnahme mit dem höchsten Reduktionspotential für Stickstoffeinträge. Problematisch ist hier, dass ein ausreichendes Verhältnis von Teichfläche zu angeschlossener dräniertes Fläche gegeben sein muss. Nach den vorliegenden Ergebnissen sind Dräneteiche ab einer Größe von 20 ha pro km<sup>2</sup> dräniertes Fläche ausreichend effektive Retentionskörper. Darüber hinaus ist die Retentionsleistung von Dräneteichen im Sommer bei den geringsten Dränabläufen am höchsten.

#### **5 Zusammenfassung**

Mit seiner Lage zwischen Odereinzugsgebiet und der Ostsee ist das Stettiner Haff in besonderer Weise durch beide Seiten beeinflusst. Neben der atmosphärischen Deposition stellt die Oder den wichtigsten Emittenten von Nährstoffen dar. Zur Erreichung der Gewässergüteziele nach der EG-

Wasserrahmenrichtlinie ist eine erhebliche Reduktion der Einträge in die Oder und damit der Frachten in das Haff nötig. Es zeigte sich, dass über eine Auswahl von Maßnahmen bereits ein großes Potential zur Minderung der Einträge vorhanden ist, jedoch insbesondere für Stickstoff die Reduktionsziele nicht erreicht werden können.

Durch die Umsetzung und Einhaltung der Abwasserverordnung können die Einträge bereits signifikant reduziert werden. Die Umsetzung der Düngeverordnung führt jedoch zu keiner relevanten Reduktion der Einträge, da die Stickstoffüberschüsse nur in wenigen Gebieten die Vorgaben der Düngeverordnung überschreiten. Die Entwicklung der Stickstoffüberschüsse zeigt jedoch für die letzten Jahre einen ansteigenden Trend, so dass aus dieser Quelle in Zukunft ansteigende Einträge möglich sind. Die von der EMEP (2006) für 2015 berechnete Reduktion der atmosphärischen Deposition hätte sowohl für die Einträge in die Oder und die direkte Deposition auf die Wasseroberfläche des Stettiner Haffs eine deutliche Minderung der Einträge zur Folge. Die Maßnahmen zur Reduktion der Einträge über urbane Systeme, Erosion und Dränagen sollten in Schwerpunktgebieten umgesetzt werden und können in der Summe eine relevante Minderung bewirken. Die Auswahl der Schwerpunktgebiete erfolgte über den Wirkungsfaktor und kann für die Maßnahmenplanung noch mit der Analyse der räumlichen Verteilung der monatlichen Einträge erweitert werden.

## Literatur

- Behrendt, H. & Opitz, D. (2000): Retention of nutrients in river systems: dependence on specific runoff and hydraulic load. *Hydrobiologia* 410: 111–122.
- Behrendt, H., P. Huber, M. Kornmilch, D. Opitz, O. Schmoll, G. Scholz & Uebe R. (2000): Nutrient emissions into river basins of Germany. UBA-Texte 23/00. 266 S.
- Behrendt, H. & R. Dannowski (2005): Nutrients and heavy metals in the Odra River system. Weißensee Verlag, Berlin, 353 S.
- Behrendt, H., D. Opitz, A. Kolanek, R. Korol & M. Stronska (2008): Changes of nutrient loads in the Odra River during the last century – their causes and consequences. *Journal of Water and Land Development* 12: 127–144
- EFMA – European Fertilizer Manufacturers Association (2009): <http://efma.org>
- EMEP (Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe) (2006): [www.emep.int](http://www.emep.int)
- FAO (2007): Soil map of the World (DSMW, FAO 1997 based on the FAO/UNESCO Soil Map of the World). <http://apps.fao.org/>
- Hirschfeld, J., H. Behrendt, J. Edler, H. Janßen, R. Knippschild & S. Czarnecka-Zawada (2009): Transformationsprozesse im Einzugsgebiet der Oder – Szenarien 2020. *IKZM-Oder Berichte* 56, 51 S.
- Mörth, C.-M., C. Humborg, E. Eriksson, A. Danielsson, R. Medina, S. Löfgren, D.P. Swaney & L. Rahm (2007): Modeling riverine nutrient transport of the Baltic Sea – A large scale approach, *Ambio* 36: 124–133.
- Nash, J.E. & J.V. Sutcliffe (1970): River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10: 282–290.
- Schernewski, G., T. Neumann, D. Opitz & M. Venohr (eingereicht): Long-term eutrophication history and functional changes in a large Baltic river basin – estuarine system.
- Venohr, M., H. Behrendt, U. Hirt, J. Hofmann, D. Opitz, U. Scherer, S. Fuchs & R. Wander (2008): Modellierung von Einträgen, Retention und Frachten in Flusssystemen mit MONERIS; Teil II: Datengrundlage und Methodik. In: Fuchs, S., S. Fach & H. Hahn (Hrsg.): Stoffströme in Flussgebieten – Von der Bilanzierung zur Bewirtschaftung. Verlag Siedlungswasserwirtschaft Karlsruhe, Karlsruhe, S. 35–64.
- Venohr, M., U. Hirt, J. Hofmann, D. Opitz, A. Gericke, A. Wetzig, K. Ortelbach, S. Natho, F. Neumann & J. Hürdler (2009): *Handbuch MONERIS*, Berlin, 122 S. <http://moneris.igb-berlin.de>

**Danksagung**

Die Arbeit erfolgte im Rahmen der Projekte IKZM-Oder (03F0475) und AMBER (03F0485C).

**Adresse**

Dr. Markus Venohr  
Leibniz-Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries  
Müggelseedamm 310  
12587 Berlin, Germany

[m.venohr@igb-berlin.de](mailto:m.venohr@igb-berlin.de)