

Melanie MEWES

Nährstoffausträge in die Ostsee aus diffusen Quellen Mecklenburg-Vorpommerns und Schleswig-Holsteins

Nutrient emissions from diffuse sources of Mecklenburg-West Pomerania and Schleswig-Holstein to the Baltic Sea

Abstract

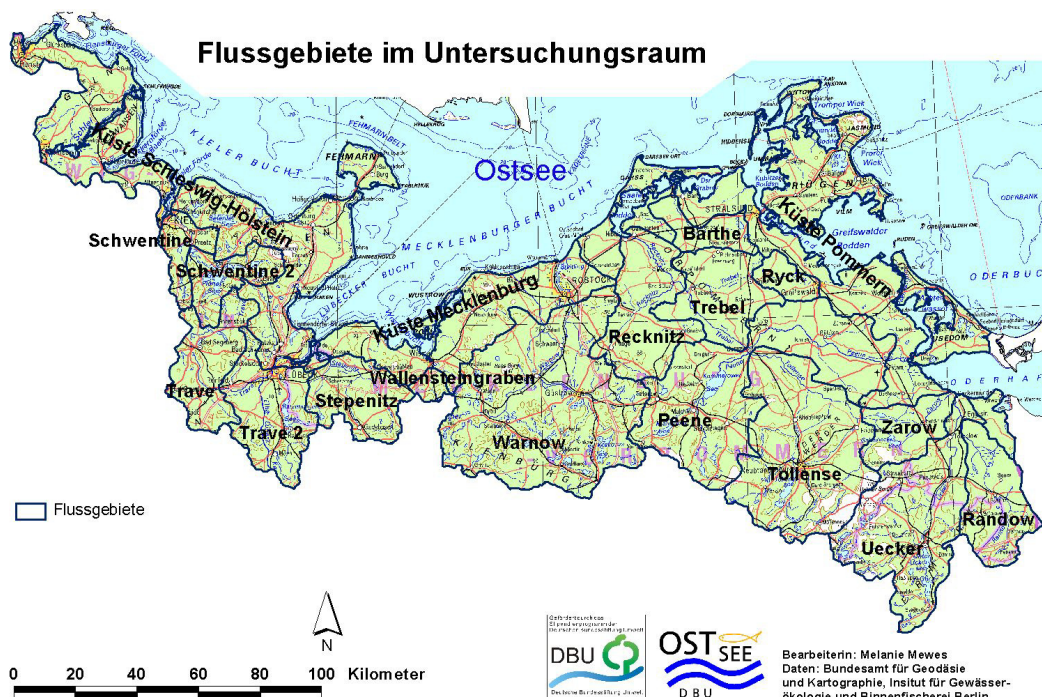
In order to reduce the eutrophication of the Baltic Sea the main research topic is the estimation of nutrient emissions (nitrogen and phosphorus) from diffuse sources of the catchment area of Mecklenburg-West Pomerania and Schleswig-Holstein calculated for 19 river catchments by means of the model MONERIS. This model considers the following pathways of diffuse sources: load by groundwater, load by drainage systems, erosion, surface runoff, atmospheric deposition and load from urban areas. The emission of diffuse sources contributes to the total emission to 90 % for nitrogen and to 66 % for phosphorus, respectively. The dominant pathways of nitrogen emission are the emission of drainage (51 %) and groundwater (39 %). For phosphorus the emission by erosion (38 %) and groundwater (28 %) are the main sources. The main emission sources for nitrogen and phosphorus for the 19 catchments are presented as an example for the different pathways.

Keywords: nitrogen, phosphorus, nutrient emission, diffuse sources, land use, Mecklenburg-West Pomerania, Schleswig-Holstein, Baltic Sea

1 Einleitung

Die Ostsee ist durch hohe Nährstoffeinträge von Stickstoff und Phosphor eutrophiert, was u. a. zu Massenvermehrungen von Algen und damit zu einer Störung des Sauerstoffhaushaltes führt (vgl. LOZÁN et al. 1996). Eine Reduzierung der Einträge ist heute vor allem im Bereich der Landnutzung notwendig, deren Bedeutung durch das Verbot von Phosphor im Waschmittel und den Ausbau von Kläranlagen für Stoffeinträge zugenommen hat (BACHOR 1996). Mögliche Strategien für eine Reduzierung der Einträge von Stickstoff und Phosphor aus diffusen Quellen der Landnutzung stellen eine Umstellung der Landnutzung, Änderungen in der Bodenbearbeitung, der Düngung, Verbote oder eine Mischung aus diesen Maßnahmen dar. Ziel des Forschungsvorhabens insgesamt ist es, eine volkswirtschaftliche Optimierung des Ostseeschutzes hinsichtlich der Landnutzung (Änderung, Umstellung) vorzunehmen (vgl. MEWES 2002).

Um zu ermitteln, welche Änderungen der land- und forstwirtschaftlichen Flächennutzung im deutschen Ostsee-Einzugsgebiet der Länder Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein erforderlich sind, müssen in einer ersten Stufe die Stoffeinträge und ihre Eintragspfade bekannt sein. In dieser Arbeit werden Ergebnisse zum Status-quo der Stoffeinträge im Untersuchungsgebiet, aufgeteilt in 19 Flussgebiete, vorgestellt (vgl. Karte 1). Es erfolgt zunächst ein kurzer Überblick über die betrachteten Nährstoffe und das Bilanzierungsmodell MONERIS des Instituts für Gewässerökologie und Binnenfischerei in Berlin (BEHRENDT et al. 1999b). Erste Ergebnisse und ein Ausblick auf die weiteren Bearbeitungsschritte schließen sich an. Für die Kartendarstellung der Stoffeinträge im Untersuchungsgebiet wird das Geographische Geoinformationssystem ArcView verwendet.



Karte 1 Flussgebiete im Untersuchungsraum

2 Stickstoff und Phosphor

Aufgrund ihrer unterschiedlichen stofflichen Eigenschaften haben Stickstoff und Phosphor verschiedene Haupteintragspfade in die Ostsee. Im Folgenden werden für die beiden Nährstoffe Stickstoff und Phosphor die unterschiedlichen Prozesse im Boden und im Wasser und die jeweiligen Haupteintragswege kurz dargestellt.

2.1 Stickstoff

In atmosphärischer Luft sind ≈ 78 Vol.-% Stickstoff, in der Bodenluft 75 % und weniger enthalten (AMBERGER 1996). Der Gesamtstickstoffvorrat des Bodens schwankt zwischen 0,02 und 0,4 % und ist abhängig von Standort und Vegetation (SCHILLING 2000, AMBERGER 1996). Mehr als 90 % des gesamten Stickstoffs liegen in organisch gebundener Form vor, der nicht mobil und nicht auswaschbar ist (SCHEFFER et al. 1984). Nur ein sehr kleiner Teil (rund 5-10 %) liegt in anorganischer ("mineralischer") Form vor: als Nitrat (NO_3^-), Nitrit (NO_2^-) und Ammonium (NH_4^+) (vgl. SCHEFFER et al. 1984). „ NO_2^- tritt normalerweise nur in Spuren auf, NH_4^+ wird sorbiert und ist somit austauschbar. Das NO_3^- -Ion ist im Boden sehr beweglich und damit in hohem Maße auswaschungsgefährdet“ (AMBERGER 1996 S. 156, vgl. DVWK 1991).

Die Stickstoffverbindungen unterliegen im Boden den chemischen Prozessen der Mineralisierung und Immobilisierung, Nitrifikation und Denitrifikation. Organisch gebundener Stickstoff wird durch die Mineralisierung (Ammonifikation und Nitrifikation) zu mineralischem Stickstoff (Ammonium und Nitrat) und damit pflanzenverfügbar (vgl. SCHEFFER 1994), bei der Denitrifikation wird Nitrat unter anoxischen Bedingungen von denitrifizierenden Bakterien zu elementarem Stickstoff (N_2) und in geringen Mengen zu Distickstoffmonoxid (N_2O) reduziert.

Die Haupteintragspfade für Stickstoff sind Auswaschung von Nitrat in Grundwasser und Dränagen. Vor allem bei im Lockergesteinsbereich liegenden Einzugsgebieten spielt nach MÜLLER & SIMON (2001) die Stickstoffauswaschung mit dem **Grundwasser** oft eine entscheidende Rolle. Solange der Bodenstickstoff in organischer Form vorliegt oder als Ammonium am Sorptionskomplex gebunden ist, tritt kaum eine Auswaschung auf. Stickstoffverbindungen werden dem Grundwasser somit durch den im Boden erfolgenden Abbau organischer Substanzen und durch die Oxidation anorganisch gebundenen Stickstoffs zugeführt (LUNG 2001).

Bei der Stickstoffauswaschung wird Stickstoff aus dem durchwurzelten Bodenbereich in tiefere Bodenschichten verlagert, was stark von der Höhe, der Verteilung und der Häufigkeit der Niederschläge beeinflusst wird (HABER & SALZWEDEL 1992). Die Höhe der Stoffbelastung im Grundwasser hängt somit von dem Verlagerungsrisiko des jeweiligen Standortes (Boden, Klima), von dem Stoff abhängigen Befruchtungsrisiko (Löslichkeit, Sorptions- sowie Transportverhalten, Abbaubarkeit) und von dem Bewirtschaftungsrisiko (Nutzungsform und -intensität) ab (KILIAN 2000).

Wichtig ist die Berücksichtigung der Denitrifikation und der Verluste durch einen verlängerten Bodenaufenthalt, z. B. spiegeln die zur Zeit geförderten Grundwässer in vielen Gebieten nicht die Situation des aktuellen Nitrat-Eintrags, sondern die Belastungssituation länger zurückliegender Perioden wider (vgl. GÄTH & WOHLRAB 1992, BACH 1990).

Durch **Dränagen** wird der Abfluss des Wassers beschleunigt sowie die Aufenthaltszeit des Wassers und damit auch der mögliche Abbau von Nitrat im Boden verringert. Die Folge ist ein Anstieg der Nitrat-Konzentrationen in den Flüssen insbesondere bei hohen Abflüssen, während nach BEHRENDT et al. (1999a) und BEHRENDT (1996) die Konzentrationen bei geringen Abflüssen, d. h. bei Dominanz des Basisabflusses, gar nicht oder nur gering ansteigen.

2.2 Phosphor

Der Gesamtgehalt von Phosphor in ungedüngten Böden liegt etwa zwischen 0,02 und 0,08 %. Im Gegensatz zum reaktionsträgen Stickstoff, N_2 , weist Phosphor eine große Reaktionsfähigkeit auf und tritt nie elementar auf (AMBERGER 1996). Organische P-Verbindungen sind zu ca. 50 % die sehr stabilen Salze der Phytinsäure, ferner alle im pflanzlichen oder tierischen Stoffwechsel vorkommenden P-Verbindungen (AMBERGER 1996). Bei den anorganischen Phosphaten werden die von der Ortho-Phosphorsäure (H_3PO_4) abgeleiteten Salze als Phosphate im engeren Sinne verstanden (BAHADIR et al. 2000). An der Oberfläche von anorganischen Stoffen (Ton, Metalloxide) sind Phosphationen an positiv geladenen Metalloxiden sehr stark gebunden (spezifische Anionensorption) und daher schwerer pflanzenverfügbar. In schwach sauren bis alkalischen Böden sind es vornehmlich Calciumphosphate, mit sinkendem pH-Wert zunehmend an Al- und Fe-Oxiden sorbierte Phosphate als die für die Pflanzenernährung wohl wichtigsten P-Formen (AMBERGER 1996). Die P-Konzentration der Bodenlösung ist mit 0,05 bis 3 mg P/l (SCHILLING 2000), meist $<0,2$ mg/l (AMBERGER 1996), sehr gering, da die in der Natur vorkommenden anorganischen Phosphorverbindungen (Orthophosphate) überwiegend nur eine leichte Wasserlöslichkeit aufweisen. Dies erklärt die relativ geringe natürlich geogene Phosphorbelastung der Gewässer. Vom gesamten Phosphor ist in der Regel nur ein kleiner Teil kurzfristig für Pflanzen verfügbar; auch bei Phosphatdüngern sinkt die Verfügbarkeit des Phosphors im Laufe der Zeit, da Phosphor im Boden langsam in festere Bindungsformen überführt wird (Phosphatfixierung) (BAHADIR et al. 2000).

Haupteintragspfad für Phosphor ist die **Bodenerosion** (vgl. u.a. BEHRENDT 1996, FREDE & DABBERT 1999). Erosion bedeutet den Abtrag von Bodenmaterial entlang der Oberfläche durch fließendes Wasser und Wind. Von der Winderosion sind besonders leichte Partikel mit geringer Dichte betroffen, so dass z. B. entwässerte Niedermoor- oder Anmoorböden aus tonarmem Material besonders erosionsgefährdet sind (BAHADIR et al. 2000). Die Regenerosion wird hauptsächlich durch oberflächlich abfließendes Niederschlagswasser bewirkt. Folgende Faktoren beeinflussen nach FRIELINGHAUS (2002) die Wassererosion: die pro Zeiteinheit fallende Regenmenge, der Feuchtezustand der Bodenoberfläche, die Hangneigung und die Hanglänge, Bodenbedeckung sowie Verdichtungszone im Unterboden, z.B. Pflugsohlen.

Eine P-**Auswaschung** ist aufgrund der geringen Löslichkeit der meisten P-Verbindungen sowie der P-Sorption außerordentlich gering. In flachen, nicht erosionsgefährdeten Gebieten kann die vertikale P-Verlagerung Bedeutung erlangen, wenn durch langjährige intensive P-Zufuhr die Krume stark mit Phosphat angereichert ist und zugleich ein hoher Grundwasserstand oder eine flache Dränung besteht (WERNER 1999, WERNER & PHIL 1998). Auch unter reduzierenden Bedingungen kann Phosphat ausgewaschen werden, da dann die zur Sorption befähigten Eisen(III)-oxide reduziert sind (BAHADIR et al. 2000). Untersuchungsergebnisse zur vertikalen Verteilung von DL-löslichem P (pflanzenverfügbar) in Ackerböden bestätigen nach KERSCHBERGER (1999) eine bereits früher in Ostdeutschland festgestellte vertikale Bewegung von Dünger-P im

Boden. Die wesentliche Ursache für die P-Verlagerung sei die alljährlich zu beobachtende starke Schrumpfrissbildung dieser Böden.

3 Quantifizierung diffuser Stoffeinträge

Für die Quantifizierung diffuser Stoffeinträge sind in der Wissenschaft verschiedenste Modelle und Methoden entwickelt worden oder befinden sich in der Entwicklung. Einen Überblick über einige Verfahren und Studien zur Quantifizierung diffuser Nährstoffeinträge in Oberflächengewässer gibt SCHEER (1999), wobei zwischen Immissions- und Emissionsbetrachtungen unterschieden wird. Zu beachten ist bei dem Vergleich von Methoden und Modellen, dass es in der Literatur keine einheitliche Definition für den Begriff „diffuse Quellen“ gibt und somit unterschiedliche Ansätze zu Grunde gelegt werden (z. B. in Bezug auf den Eintrag über Regenwasser, vgl. DVWK 1998, BACH 1996).

Modelle dienen dazu, den Nährstoffeintrag in Gewässer innerhalb eines Einzugsgebietes zu quantifizieren und zu bilanzieren. Auswirkungen bestimmter Bewirtschaftungsmaßnahmen auf Gewässer lassen sich so simulieren (vgl. MÜLLER & SIMON 2001). Für die Quantifizierung der Nährstoffeinträge werden in dieser Arbeit die Ergebnisse des Bilanzierungsmodells MONERIS zugrunde gelegt (Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Berlin), die für das gesamte Untersuchungsgebiet (Ostsee-einzugsgebiet der Länder Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein) aufgeteilt in 19 Flusseinzugsgebiete vom IGB zur Verfügung gestellt wurden (vgl. Karte 1). Daneben fließen v. a. Ergebnisse der Studien von THIELE & MEHL (1995), Nährstoffquantifizierung Warnow-Einzugsgebiet, und BEHRENDT (1996), Nährstoffquantifizierung gesamt Mecklenburg-Vorpommern, mit ein.

3.1 Vergleich Emissions- und Immissionsbetrachtung

Unter Emission wird der Nährstoffaustrag aus der Fläche in die Flusssysteme verstanden, der so als Ausgangspunkt der Betrachtungen dient. Aus den ermittelten Gesamtemissionen wird unter Einbeziehung gewässerinterner Rückhalte und Verluste die Nährstofffracht (Immission) am Auslass der Einzugsgebiete berechnet (BEHRENDT et al. 1999b).

Unter Immissionen werden somit die in einzelnen Gewässereinzugsgebieten an einem bestimmten Pegel beobachteten Stofffrachten verstanden. Im Gegensatz zu der Emissionsbetrachtung stellen die Immissionen kein Potenzial, sondern die tatsächlich in einem bestimmten Zeitabschnitt realisierten, summarischen Stoffeinträge eines Einzugsgebietes dar. Darüber hinaus geben sie einen Einblick in weitere Prozesse der Stoffumsetzung bzw. der Stoffeliminierung innerhalb der Gewässer des Einzugsgebietes (BEHRENDT 1994). Das Modell MONERIS berechnet Nährstoffemissionen.

3.2 Kurzvorstellung MONERIS

Als Datengrundlage für die Nährstoffeinträge der verschiedenen punktuellen und diffusen Eintragspfade in die Flussgebiete werden Ergebnisse des konzeptionellen Modells **MONERIS** (**MO**delling **N**utrient **E**missions in **R**iver **S**ystems) verwendet, das innerhalb des FuE-Vorhabens "Nährstoffbilanzierung der Flussgebiete Deutschlands" zur Quantifizierung der Nährstoffeinträge in Flussgebieten mit einer Größe von mehr als 500 km² entwickelt wurde (BEHRENDT et al. 1999b, UMWELTBUNDESAMT 2002). „Die Grundlagen für das Modell bilden einerseits Abfluss- und Gütedaten der zu untersuchenden Flussgebiete sowie ein Geographisches Informationssystem (GIS), in das sowohl digitale Karten als auch umfangreiche statistische Informationen integriert wurden.“ (BEHRENDT et al. 1999b). Betrachtet werden in Gewässer eingetragene Jahresfrachten.

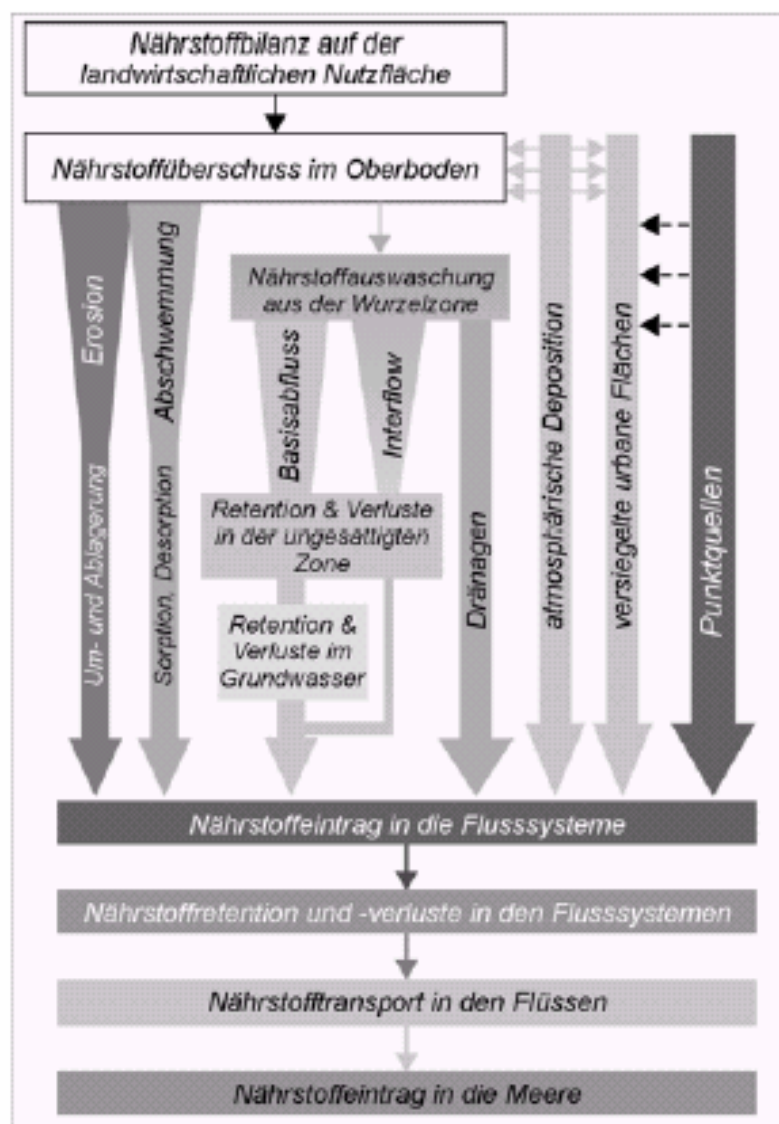


Abb. 1 Eintragspfade und Prozesse im Modellsystem MONERIS (aus: BEHRENDT et al. 1999b)

MONERIS quantifiziert die folgenden sieben Eintragspfade (vgl. Abb. 1): (1) Punktquellen, (2) versiegelte urbane Flächen, (3) atmosphärische Deposition, (4) Erosion, (5) Abschwemmung, (6) Dränagen (7) Grundwasser.

Nach BEHRENDT et al. (1999b) zeigt ein Vergleich der Ergebnisse der mit MONERIS ermittelten Nährstoffausträge mit denen anderer Autoren bzw. mit der Immissionsmethode insgesamt eine gute Übereinstimmung. Die Genauigkeit bzw. die Fehlerquellen der ermittelten Eintragszahlen weisen eine Schwankungsbreite zu $\pm 30\%$ auf. Auf der Grundlage von MONERIS durchgeführte Analysen von Stoffausträgen und deren Veränderung zeigen auch für kleinere Flussgebiete bis in einen Bereich von 50-100 km² gute Ergebnisse. Notwendig ist nach BEHRENDT et al. (2001) jedoch ein Vergleich mit zeitlich und räumlich höher aufgelösten Modellen.

4 Ergebnisse

Als Grundlage für diese Arbeit dienen die MONERIS Ergebnisse zu den Nährstoffausträgen aus den Flächen in 19 Flussgebiete des deutschen Ostsee-einzugsgebietes für 1993-1997. Im Folgenden wird der Austrag aus der Fläche in ein Flussgebiet herein kurz als Eintrag benannt. Vorgestellt wird zuerst der Anteil des diffusen Eintrags am Gesamteintrag. Es folgt ein Überblick über die Anteile der diffusen Eintragspfade. Zum Abschluss wird für Stickstoff der Eintragspfad Drainage, für Phosphor die Erosion an ausgewählten Flussgebieten näher betrachtet.

4.1 Anteil diffuser Quellen am Gesamteintrag

Tabelle 1 gibt einen Überblick sowohl über den diffusen Stoffeintrag als auch den Gesamteintrag in t/a in die Flussgebiete im Zeitraum 1993-1997 im Untersuchungsraum. Für eine umfassende Vorstellung von den Eintragsmengen sind die Gesamteinträge mit aufgeführt. Um eine Vergleichbarkeit der unterschiedlich großen Flusseinzugsgebiete herzustellen, wurden die Angaben t/a zusätzlich in kg/km²a umgerechnet und als spezifische Emission in den Karten 2 (Stickstoff) und 3 (Phosphor) dargestellt.

Insgesamt wurden aus dem 23.285 km² großen Untersuchungsraum 37.458,9 t N/a aus punktuellen und diffusen Quellen von den Flächen in die Flussgebiete eingetragen, wovon der Anteil der diffusen Quellen bei Stickstoff 31.787,2 t N/ha ausmacht. Dies entspricht knapp 85 % des Gesamteintrags und 1.365,1 kg N/km²·a.

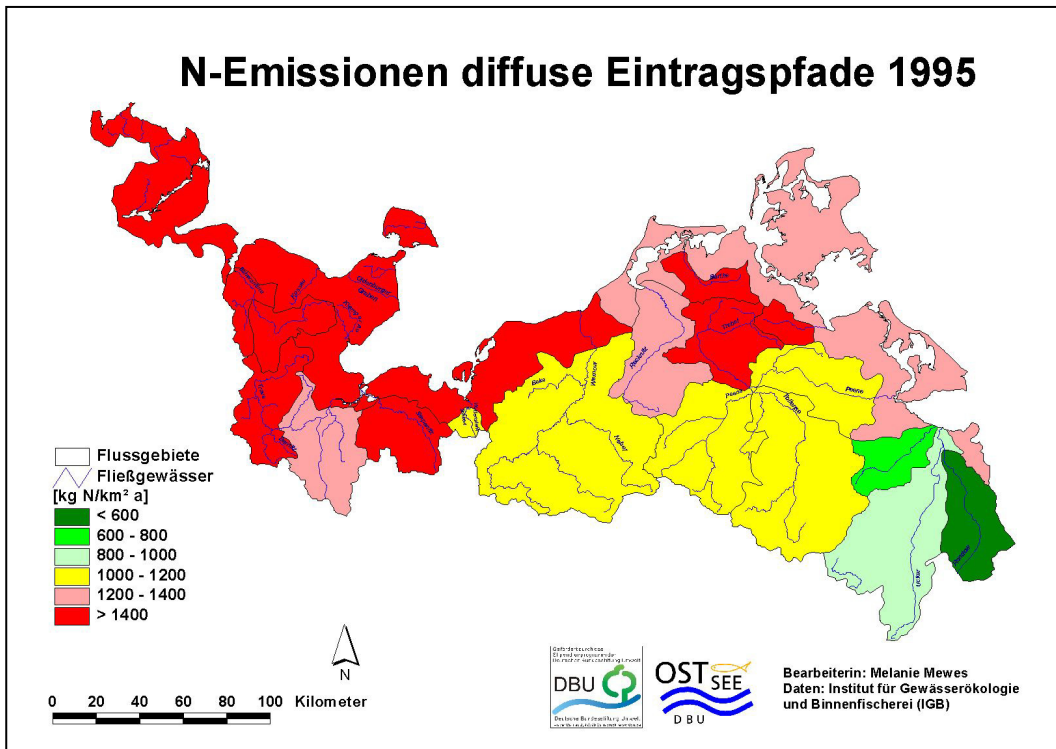
Betrachtet man die absoluten Werte, sind es vor allem die Küsten Schleswig-Holsteins, Mecklenburgs und Vorpommerns, die Warnow und die Peene, in die die größten Austräge stattfinden. Zusammen verursachen sie knapp 57 % des gesamten diffusen Eintrages (18.091 t N/a). Der höchste spezifische Austrag findet sich in den Küstenregionen und Schleswig-Holstein (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1 Überblick über den Stoffeintrag in die Flussgebiete im Zeitraum 1993-1997 im Untersuchungsraum

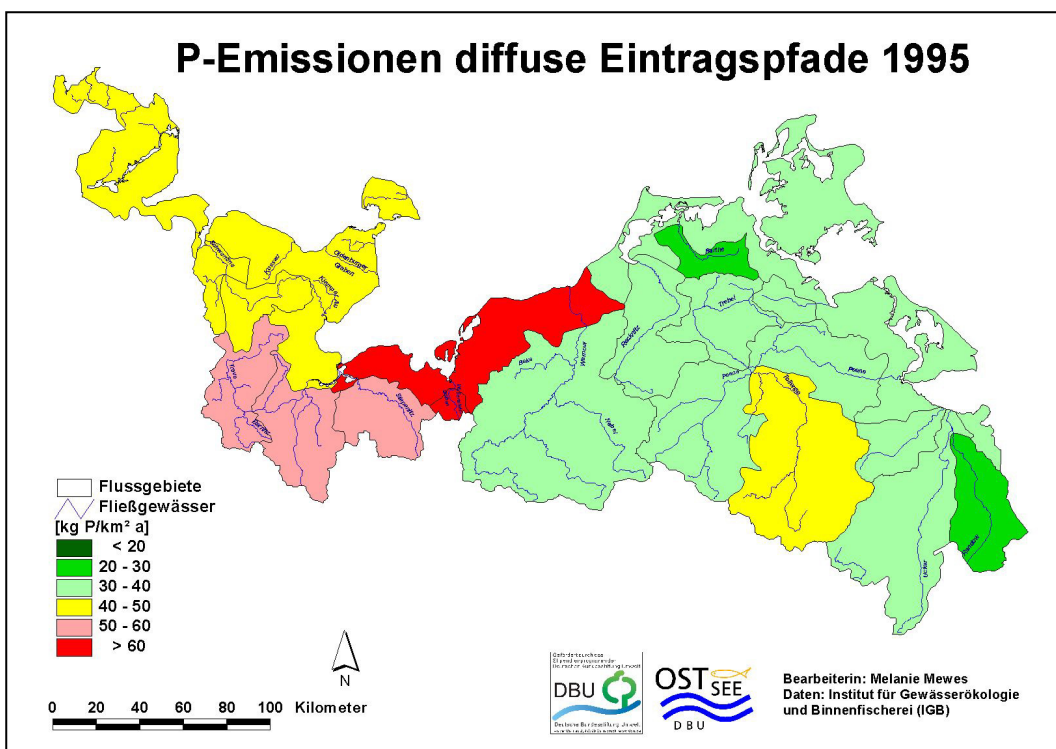
Flussgebiet	Fläche [km ²]	Stickstoff			Phosphor		
		Diffuser Eintrag [tN/a]	Anteil [%]	Gesamteintrag [tN/a]	Diffuser Eintrag [tP/a]	Anteil [%]	Gesamteintrag [tP/a]
Küste Vorpommern	3236,1	4094,5	88,8	4609,4	105,5	74,2	142,2
Küste Schleswig-Holstein	3023,8	5002,3	66,7	7499,5	140,5	64,9	216,4
Warnow	2960,4	3524,9	95,1	3707,7	116,3	86,5	134,4
Peene	2249,7	2523,7	88,7	2844,1	73,2	84,6	86,4
Tollense	1721,3	1989,7	89,1	2232,2	69,7	86,5	80,6
Uecker	1674,5	1506,4	91,5	1646,0	50,3	78,6	63,9
Küste Mecklenburg	1442,7	2946,1	71,7	4110,9	89,7	64,9	138,2
Recknitz	993,5	1206,3	97,7	1234,7	34,4	91,8	37,4
Trave 2	890,0	1188,4	92,6	1283,1	45,8	89,6	51,1
Zarow	790,8	606,3	97,4	622,4	24,5	92,0	26,7
Trebel	779,6	1382,8	95,8	1443,9	27,6	89,0	31,0
Randow	763,9	350,9	95,9	365,8	18,6	91,7	20,2
Trave	731,3	1144,9	88,7	1290,6	42,3	87,1	48,5
Stepenitz	658,3	1967,9	97,9	2009,4	38,1	91,9	41,5
Schwentine 2	453,6	636,7	80,1	794,6	18,2	78,2	23,3
Barthe	322,5	565,3	98,9	571,7	9,1	88,8	10,2
Schwentine	292,3	459,1	92,3	497,4	12,9	94,5	13,6
Ryck	208,0	336,7	100,0	336,7	6,3	99,8	6,3
Wallensteingraben	92,8	354,4	98,8	358,8	6,5	98,6	6,6
Gesamt	23285,1	31787,2	84,9	37458,9	929,3	78,8	1178,6

Die Region im Südosten mit den Flussgebieten Uecker, Randow und Zarow weist dagegen nur geringe spezifische Einträge auf (vgl. Karte 2). Insgesamt treten Werte von 459,3 kg N/km²·a für das Flussgebiet Randow bis 3.819,3 kg N/km²·a für den Wallensteingraben auf. Legt man die absoluten Werte zugrunde, zeigt das Flussgebiet Randow mit 350,9 t N/a den niedrigsten Wert, gefolgt von dem Flussgebiet Wallensteingraben mit 354,4 t N/a. Den Maximalwert stellt mit Abstand die Küste Schleswig-Holsteins mit 5.002,3 t N/a. Diese Zahlen verdeutlichen, wie sich die absoluten Werte von den spezifischen unterscheiden können.

Für Phosphor lag der Gesamtaustrag aus punktuellen und diffusen Quellen in die Flussgebiete des Ostseebeeinzugsgebietes bei 1178,4 t P/a, mit einem Anteil von 929,3 t P/a (knapp 79 % des Gesamtaustrags) aus diffusen Quellen. Dem absoluten durch diffuse Quellen ausgetragenen Wert entspricht ein spezifischer Wert von 39,9 kg P/km²·a, mit Werten von 24,3 kg P/km²·a für das Flussgebiet Randow bis 69,7 kg N/km²·a für den Wallensteingraben (vgl. Karte 3). Maximal- und Minimalwerte werden damit von den gleichen Flussgebieten wie bei Stickstoff gebildet. Bezogen auf die absoluten Zahlen liegt das Flussgebiet Ryck mit 6,3 t P/a am niedrigsten, die Küste Schleswig-Holstein mit 140,5 t P/a am höchsten. Auch bei Phosphor weist die Küstenregion Mecklenburg einen sehr hohen spezifischen Austrag auf, gefolgt von den Gebieten in Schleswig-Holstein und der Tollense.



Karte 2 Spezifische N-Emissionen über diffuse Eintragspfade 1995



Karte 3 Spezifische P-Emissionen über diffuse Eintragspfade 1995

4.1 Anteile der Eintragspfade am diffusen Gesamteintrag

Abbildung 2 zeigt die Verteilung der diffusen Eintragspfade. Für Stickstoff stellen das Grundwasser (39 %) und Dränagen (51 %) die Haupteintragspfade dar, die zusammen 90 % der diffusen Einträge ausmachen. Die weiteren Pfade sind für Stickstoff nur von marginaler Bedeutung.

Für Phosphor spielt neben dem Haupteintragspfad Erosion (38 %) der Eintrag über das Grundwasser eine entscheidende Rolle (28 %). Die beiden Pfade ergeben zusammen 66 % der diffusen Einträge.

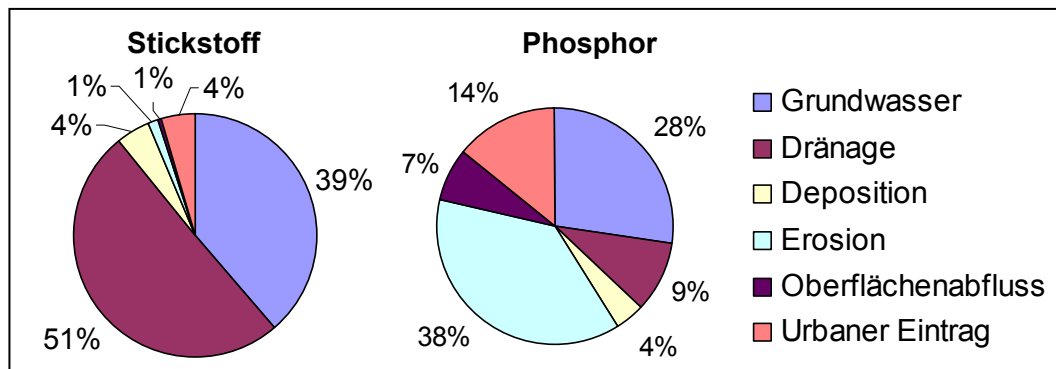


Abb 2 Anteile der Eintragspfade am diffusen Gesamteintrag [%]

4.3 Stickstoffeintrag über Dränage

Der Eintragspfad Dränage wird exemplarisch näher betrachtet, da er den größten Anteil am Stickstoffaustrag aufweist. Tabelle 2 gibt einen Überblick über den Eintragspfad Dränage für Stickstoff in die Flussgebiete.

Bei den in Schleswig-Holstein liegenden Flussgebieten nimmt der Eintrag über Dränagen einen viel geringeren Anteil an dem diffusen Eintrag an, als bei den übrigen Flussgebieten. Dabei liegt die Küste Schleswig-Holstein mit einem Anteil von 37 % gegenüber den restlichen vier Flussgebieten (Schwentine, Schwentine 2 und Trave, Trave 2) mit maximal 15 % schon hoch. Während die absoluten Eintragungswerte für die Trave und Trave 2 mit 1.145 bzw. 1.188 t N/a nahezu gleich sind, liegen die für die Schwentine und Schwentine 2 mit 459 bzw. 637 t N/a niedriger. Umgerechnet auf die Flächengröße verschwindet dieser Unterschied nahezu, die Werte liegen von 1.335 kg N/km²-a (Trave 2) bis 1.571 kg N/km² a (Schwentine).

Der Dränageeintrag dominiert bei den Flussgebieten Randow, Zarow, Recknitz, Uecker, Tollense und Peene. Diese Flussgebiete sind benachbart und umfassen den Südosten Mecklenburg-Vorpommerns. Der Eintrag über Dränagen beträgt zwischen 63,2 bis 70,5 % des diffusen Gesamteintrags. Mit zunehmender Gebietsgröße (von 763,9 km² der Randow bis 2.249,7 km² der Peene) nehmen auch die absoluten diffusen Einträge zu (von 350,9 bis 2.523,7 t N/a) (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2 Überblick über den N-Dränageeintrag im Untersuchungsgebiet 1995

Flussgebiet	Dränage		Anteil an gesamt diffus [%]
	[tN/a]	[kgN/km ² a]	
Schwentine	35,9	122,8	7,8
Schwentine 2	54,7	120,7	8,6
Wallensteingraben	158,6	1709,4	44,8
Trave 2	168,8	189,7	14,2
Trave	173,1	236,7	15,1
Ryck	199,6	959,7	59,3
Randow	237,6	311,0	67,7
Barthe	336,6	1043,9	59,6
Zarow	384,9	486,7	63,5
Recknitz	768,8	773,8	63,7
Trebel	810,3	1039,4	58,6
Uecker	1011,0	603,8	67,1
Stepenitz	1225,0	1860,8	62,2
Tollense	1257,4	730,5	63,2
Küste Mecklenburg	1687,4	1169,6	57,3
Peene	1780,1	791,3	70,5
Küste Schleswig-Holstein	1859,5	615,0	37,2
Warnow	1949,3	658,5	55,3
Küste Vorpommern	1949,9	602,6	47,6
Gesamt	16048,7	689,2	50,5

Dabei weist die Randow mit 459,3 kg N/km²·a den niedrigsten diffusen Eintrag pro Fläche aller 19 Flussgebiete auf, gefolgt von der Zarow mit 766,6 kg N/km²·a und der Uecker mit 899,6 kg N/km²·a. Recknitz, Tollense und Peene liegen mit 1121,8 - 1.214,2 kg N/km² ·a zwar höher, aber im Vergleich zu den übrigen Flussgebieten immer noch niedrig.

4.4 Phosphoreintrag über Erosion

Der Eintragspfad Erosion wird exemplarisch näher betrachtet, da er den größten Anteil des Phosphoraustrages ausmacht. Tabelle 3 gibt einen Überblick über den Eintragspfad Erosion für Phosphor in die Flussgebiete. Für die beiden Flussgebiete Barthe und Ryck liegen keine Werte zu der Erosion vor.

Bei dem Eintragspfad Erosion für Phosphor weisen die Flussgebiete Wallensteingraben, Schwentine, Trebel, Zarow, Küste Vorpommern und die Küste Mecklenburg mit 22,8 bis 32,9 % einen unterdurchschnittlichen Anteil der Erosion am Gesamteintrag auf. Darüber hinaus lassen sich keine weiteren Gemeinsamkeiten für diese Flussgebiete feststellen. Die größten absoluten Austräge finden in die Flussgebiete der Küstenregionen, der Peene, Tollense und Warnow statt, wobei die Küste Schleswig-Holstein mit 62 t P/a eine herausragende Stellung einnimmt. Bei den spezifischen Einträgen liegen die Trebel und die Küste Vorpommern mit 8 kg P/km² a am niedrigsten. Die höchsten spezifischen Werte weisen dagegen die

Flussgebiete Trave (23,4 kg P/km²·a), Stepenitz (22,3 kg P/km² a) und Trave 2 (21,5 kg P/km²·a) auf.

Tabelle 3 Überblick über den P-Erosionseintrag im Untersuchungsgebiet 1995

Flussgebiet	Erosion		Anteil an gesamt diffus [%]
	[tP/a]	[kgP/km ² ·a]	
Barthe	n.n.	n.n.	
Ryck	n.n.	n.n.	
Wallensteingraben	1,9	20,4	29,3
Schwentine	3,8	13,1	29,7
Trebel	6,3	8,1	22,8
Schwentine 2	7,3	16,2	40,2
Zarow	8,1	10,2	32,9
Randow	8,1	10,6	43,7
Stepenitz	14,7	22,3	38,4
Recknitz	14,8	14,9	43,2
Trave	17,1	23,4	40,5
Trave 2	19,1	21,5	41,8
Uecker	21,9	13,1	43,5
Küste Vorpommern	25,7	7,9	24,4
Peene	28,4	12,6	38,8
Küste Mecklenburg	29,4	20,4	32,8
Tollense	32,1	18,7	46,1
Warnow	48,0	16,2	41,3
Küste Schleswig-Holstein	62,1	20,5	44,2
Gesamt	348,9	15,0	37,5

5 Ausblick

Auf der Grundlage dieser Daten werden unter Berücksichtigung bodenkundlicher Daten (Bodenübersichtskarte im Maßstab 1 : 1.000.000, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung im Maßstab 1 : 100.000 für das Ostseeinzugsgebiet von Mecklenburg-Vorpommern, des Landesamtes für Umwelt, Natur und Geologie Mecklenburg-Vorpommern) die Hauptgründe für die jeweiligen Nährstoffbelastungen herausgearbeitet. Damit werden Nutzungstypen aufgestellt, mit denen im weiteren Verlauf der Arbeit Szenarien zur Änderung und Umstellung der Landnutzung bei einem definierten Reduktionsziel gebildet werden (zur genauen Vorgehensweise vgl. MEWES 2002). Nach Abschluss dieses physischen Teils erfolgt eine volkswirtschaftliche Berechnung der Kosten, die die Umstellung der Landnutzung auf eine ostseeschonende Wirtschaftsweise hervorruft. Aus volkswirtschaftlicher Sicht sind diejenigen Maßnahmen vorzuziehen bzw. ist derjenige Maßnahmenmix anzustreben, der die Erreichung eines vorgegebenen Zieles zu den geringsten Kosten gewährleistet. Die Berechnung volkswirtschaftlicher Kosten ist daher ein wichtiges Entscheidungskriterium für eine effiziente Ostseeschutzstrategie.

Danksagung

Dr. H. Behrendt danke ich herzlich für die Bereitstellung der MONERIS-Daten.

Literatur

- AMBERGER, A. (1996): Pflanzenernährung: ökologische und physiologische Grundlagen; Dynamik und Stoffwechsel der Nährelemente. - Stuttgart (Ulmer).
- BACH, M. (1990): Ausmaß und Bilanz der Nitratbelastung durch die Landwirtschaft. – [In:] Rosenkranz, D., Einsele, G. & Harreß, H.-M. (Hrsg.): Handbuch Bodenschutz: 1-29; Berlin (Erich Schmidt Verlag).
- BACH, M. (1996): Diffuse Stoffeinträge in Fließgewässer in Deutschland. – Vom Wasser, 87: 1-13.
- BACHOR, A. (1996): Nährstoffeinträge aus Mecklenburg-Vorpommern in die Ostsee 1990-1995. – Wasser & Boden, 48: 33-36.
- BAHADIR, M.; PARLAR, H. & SPITELLER, M. (2000): Springer-Umweltlexikon. (2. Aufl.) - Berlin Heidelberg (Springer).
- BEHRENDT, H. (1994): Immissionsanalyse und Vergleich zwischen den Ergebnissen von Emissions- und Immissionsbetrachtung. – [In:] Werner, W. & Wodsak, H.-P. (Hrsg.): Stickstoff- und Phosphateintrag in die Fließgewässer Deutschlands unter besonderer Berücksichtigung des Eintragungsgeschehens im Lockergesteinsbereich der ehemaligen DDR: 171-206; (Verlagsunion Agrar).
- BEHRENDT, H. (1996): Quantifizierung der Nährstoffeinträge aus Flußgebieten des Landes Mecklenburg-Vorpommern. – Landesamt für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern, Materialien zur Umwelt in M-V; Schwerin.
- BEHRENDT, H.; GELBRECHT; J., HUBER, P.; LEY, M.; UEBE, R. & FAIT, M. (1999a): Geogen bedingte Grundbelastung der Fließgewässer Spree und Schwarze Elster und ihrer Einzugsgebiete. – Landesumweltamt Brandenburg (LUA), Studien und Tagungsberichte; Potsdam.
- BEHRENDT, H.; HUBER, P.; KORNMILCH, M.; OPITZ, D.; SCHMOLL, O.; SCHOLZ, G. & UEBE, R. (1999b): Nährstoffbilanzierung der Flussgebiete Deutschlands. – Forschungsbericht, 296: 25 515; Berlin (Umweltbundesamt).
- BEHRENDT, H.; OPITZ, D.; PAGENKOPF W.-G. & SCHMOLL, O. (2001): Studie: Stoffeinträge in die Gewässer des Landes Brandenburg – im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburg. - Berlin (Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei).
- DVWK (1991): Stoffumsatz und Wasserhaushalt landwirtschaftlich genutzter Böden. - Schriften, 93. Aufl.; Hamburg, Berlin (Parey).
- DVWK (1998): Einträge aus diffusen Quellen in die Fließgewässer. Nähr- und Feststoffe. - DVWK Materialien, 5; Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.(DVWK).
- FREDE, H.-G. & DABBERT, S. (1999): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft. (2. Aufl.) - Landsberg (ecomед).
- FRIELINGHAUS, M. (2002): Bodenerosion. (2. überarbeitete Auflage) – Beiträge zum Bodenschutz in Mecklenburg-Vorpommern; Schwerin (Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern).
- GÄTH, S. & WOHLRAB, B. (1992): Strategien zur Reduzierung standort- und nutzungsbedingter Belastungen des Grundwassers mit Nitrat. Arbeitsgruppe Bodennutzung in Wasserschutz- und -schongebieten. – Oldenburg (Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft).
- HABER, W. & SALZWEDEL, J. (1992): Umweltprobleme der Landwirtschaft. Sachbuch für Ökologie. – Stuttgart (Rat von Sachverständigen für Umweltfragen, J.B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung).
- KERSCHBERGER, M. (1999): Vertikale Verteilung von DL-löslichem P in Ackerböden. – [In:] Hohe P-Gehalte im Boden – mögliche Folgen für die Umwelt – Konsequenzen für die Ausbringung von phosphorhaltigen Düngemitteln: 95-102; Darmstadt (VDLUFA-Verlag).
- KILIAN, B. (2000): Betriebswirtschaftliche Beurteilung von Maßnahmen für einen flächendeckenden Gewässerschutz in der Landwirtschaft. – Agrarwirtschaft, Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Marktforschung und Agrarpolitik; Bergen/Dumme (Agrimedia).
- KRETZSCHMAR, R., NEUHAUS, H., SCHEFFER, B., SCHMIDT, W.-D. & WALTHER, W. (1985): Bodennutzung und Nitrataustrag. - DVWK Schriften, 73; (Paul Parey).
- LANDESAMT FÜR UMWELT, NATUR UND GEOLOGIE MECKLENBURG-VORPOMMERN (LUNG) (2001): Gewässergütebericht Mecklenburg-Vorpommern 1998/1999: Ergebnisse der Güteüberwachung

- der Fließ-, Stand- und Küstengewässer und des Grundwassers in Mecklenburg-Vorpommern. – Güstrow.
- LOZÁN, J.; LAMPE, R.; MATTHÄUS, W.; RACHOR, E.; RUMOHR, H. & V. WESTERNHAGEN, H. (Hrsg.) (1996): Warnsignale aus der Ostsee. - Berlin (Parey).
- MEWES, M. (2002): Die volkswirtschaftlichen Kosten einer Stoffausträge in die Ostsee minimierenden Landnutzung – Vorstellung des Forschungsvorhabens. Rostock. – Rostocker Meeresbiologische Beiträge, 11: 79-88.
- MÜLLER, F. & SIMON, ST. (2001): Modellierung diffuser Stoffeinträge unter besonderer Berücksichtigung des Pfades Grundwasser. – (ahu-Texte).
- SCHEER, C. (1999): Bewertung verschiedener Verfahren zur Quantifizierung diffuser Nährstoffeinträge in Oberflächengewässer. – Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK). Materialien, 5/1999; Bonn (DVWK).
- SCHEFFER, B. (1994): Stickstoffumsetzungen im Boden. – [In:] Verminderung des Stickstoffaustrags aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in das Grundwasser – Grundlagen und Fallbeispiele, DVWK-Fachausschuss "Bodennutzung und Nährstoffaustrag": 17-32; Bonn (Wirtschafts- und Verl.-Ges. Gas und Wasser).
- SCHEFFER, B.; WALTHER, W.; KRETZSCHMAR, R.; SCHMIDT, W.-D. & HEUHAUS, H. (1984): Zum Einfluß der Bodennutzung auf den Nitrataustrag. – Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung, 25: 227-235; Berlin, Hamburg (Verlag Paul Parey).
- SCHILLING, G. (2000): Pflanzenernährung und Düngung. - Stuttgart (Verlag Eugen Ulmer).
- THIELE, V. & MEHL, D. (1995): Ökologisch begründetes Sanierungskonzept für das Gewässereinzugsgebiet der Warnow (Mecklenburg-Vorpommern). – Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern, 2; Güstrow (Landesamt für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern).
- UMWELTBUNDESAMT (2002): www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/stoffhaushalt/29922285.pdf [Stand 12.2002].
- WERNER, W. (1999): Die Eignung der P-Sättigung des Bodens und der P-Konzentration der Bodenlösung zur Prognose der P-Verlagerung im Profil. – [In:] Hohe P-Gehalte im Boden – mögliche Folgen für die Umwelt – Konsequenzen für die Ausbringung von phosphorhaltigen Düngemitteln: 79-93; Darmstadt (VDLUFA-Verlag).
- WERNER, W. & PHIL, U. (1998): Erhebungsuntersuchungen zu Phosphatgehalten, Phosphat-sorptionskapazität und relativer Phosphatsättigung der Böden in den veredelungsstarken Regionen von NRW als Prognosekriterien des potentiellen P-Austrags in Drain- und Grundwasser. – Forschungsberichte "Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft", Bonn (Agrikulturchemisches Institut der Universität Bonn).

Autorin:

Melanie Mewes
 Botanisches Institut, Lehrstuhl für Landschaftsökonomie
 Universität Greifswald
 Grimmer Str. 88
 17487 Greifswald

Manuskripteingang: 11.04.2003; angenommen: 01.06.2003

