

**Nährstoffe im Oderästuar :
zur Funktion des Gewässers als Transformator**

- Teilprojekte 2, 2a, 2c und 3 -
S. Dahlke, R. Lampe, H. Meyer, S. Musielak, H. Westphal,

Inhaltsverzeichnis

1. Datengrundlage	2
2. Jahresgänge	2
2.1. <i>Meteorologische Situation und Oderabflüsse</i>	2
2.2. Nährstoffinventare	4
2.2.1 Anorganisch gelöster Stickstoff, Silikat.....	5
2.2.2 Phosphat und Gesamt-Phosphor	6
2.2.3 Achterwasser	7
2.2.4 Transformierte Nährstoffe N-org und P-org	7
3. Synoptische Aufnahmen Juli 94, April und September 95.....	10
4. Abschätzung der Rückhaltekapazität im Oderästuar	11
4.1 Einträge	11
4.2 überschlägige Ermittlungen der Langzeitdeposition	11
5. Zusammenfassung.....	13
6. Literatur	15

1. Datengrundlage

In dieser Untersuchung wurden für die Nährstoffsituation die Daten der Arbeitsgruppen des Inst. f. Geographie der EMAU Greifswald (IfG), des Inst. f. Ökologie der EMAU Greifswald (IfÖ) und des Vertragspartners im GOAP Energiewerke Nord (EWN), sowie des Landesamtes für Natur und Umwelt (LAUN) Stralsund in einem Pool verwendet.

Eine Bilanzierung in diesem durch zeitlich starke Variation der Austauschverhältnisse ausgezeichneten System „Oderästuar“ wird durch Kopplung des gemeinsamen Datenpools Wasserinhaltsstoffe an das 2D-Strömungsmodell von Karsten Buckmann in unserer Arbeitsgruppe versucht, erste Ergebnisse sind noch zu unvollständig, um sie hier diskutieren zu können.

Ein Abgleich der in den Arbeitsgruppen zum Teil mit unterschiedlichen Analyseverfahren gewonnenen Daten fand jeweils anlässlich der drei synoptischen Meßkampagnen statt und führte zu verbesserten Übereinstimmungen, trotzdem blieben Probleme insbesondere hinsichtlich der apparativ-methodisch bedingten Nachweisgrenzen bestehen.

Die Nutzung des gemeinsamen Datenpools half auch Ausfälle von Probenahmefahrten aus witterungs- oder betriebsbedingten (Werftaufenthalt zur Verlängerung FS „Bornhöft“) Gründen z.T. auszugleichen.

Sehr hilfreich war die von der GKSS Geesthacht großzügig gewährte Nutzungsmöglichkeit des FS „Ludwig Prandtl“ von Februar bis April 1995.

Daten aus dem Gr. Haff wurden nur durch die Mitarbeit der polnischen Arbeitsgruppe der Uni Szczecin um Prof. Musielak zu den synoptischen Meßkampagnen gewonnen und gaben wenigstens punktuelle Einblicke in den wichtigsten Teil des Oderästuars.

2. Jahresgänge

2.1 Meteorologische Situation und Oderabflüsse

Die hydrologischen Jahre 93/94 und 94/95 waren beide gegenüber dem langjährigen Gebietsmittel für Vorpommern um ca. 1 K zu warm (Abb. 1.). Die Monate Januar 94 (+4K), März/April 94 (+2K) und Juli 94 (+5K) wiesen 93/94 die größten positiven Abweichungen auf, der November 93 war durch einen Kälteeinbruch vom 20.11. bis 1.12. um 4 K zu kalt. In den zu warmen Wintermonaten Dezember 93/Januar 94 fiel gleichzeitig 50-75% überdurchschnittlicher Niederschlag, im März 94 sogar 100% zu viel, was zu Hochwasserabflüssen in Peene und Oder ¹ im Januar/Februar und März /April Anlaß gab (Abb.2). Dazwischen war der Februar 94 1 K zu kalt und es fielen nur 20 % des durchschnittlichen Niederschlags. Der Temperatursturz am 13.Febr. führte im gesamten Oderästuar zu einer geschlossenen Eisdecke bis 11. März 94.

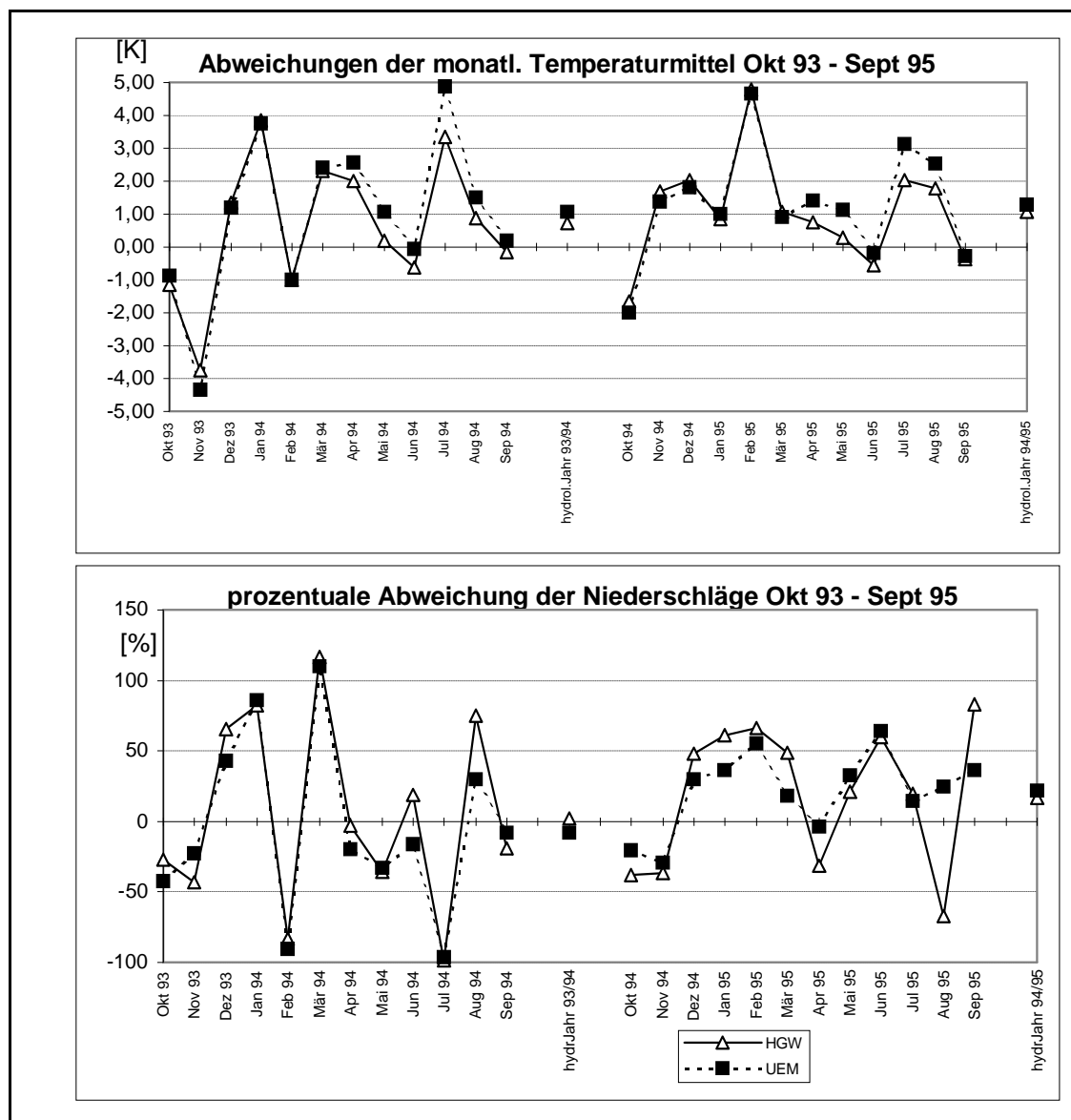


Abb. 1: Temperaturen und Niederschläge der DWD-Stationen Greifswald und Ueckermünde relativ zu den langjährigen Mittelwerten für Vorpommern.

Der Winter 94/95 war zu warm (Februar 95 +5 K) und in Vorpommern von Dezember 94 bis März 95 zu feucht. Die relativ gleichmäßige Niederschlagsverteilung brachte keine starken Hochwasserabflüsse, in der Oder offenbar aufgrund geringerer Niederschläge im Einzugsgebiet von November 94 bis Januar 95 sogar Abflußdefizite von über 100 m³/s, nur im Februar 95 war der Oderabfluß 10% über Normal³.

Der Sommer 1994 war im Juli wesentlich zu warm (+ 4K) und zu trocken (max. 1mm Niederschlag), 1995 wurden im Mittel Juli/August „nur +2K“ über Normal erreicht, mit einer Trockenzeit im August. Der Oderabfluß³ war im Mai und Juli normal, im Juni + 20% (100 m³/s) übernormal, dagegen war im August ein kräftiges Abflußdefizit von -160 m³/s (-40%) zu verzeichnen.

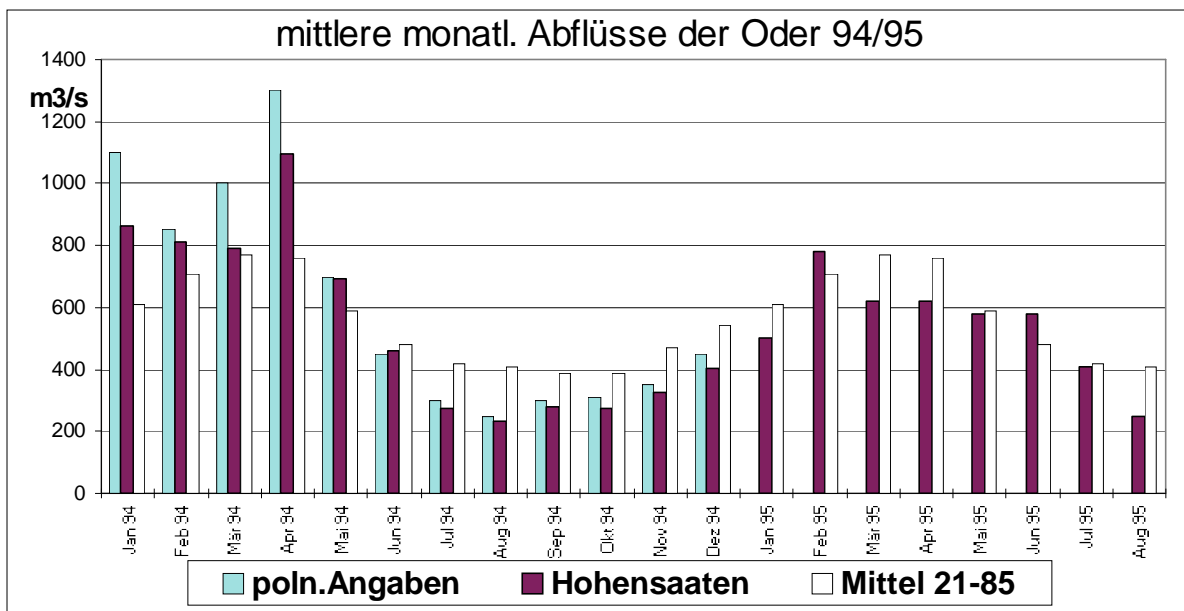


Abb. 2: Oderabflüsse 94/95, nach ^{2, 3}

2.2 Nährstoffinventare

In Vorbereitung auf die Ankopplung der Nährstoffdaten an das 2D-Strömungsmodell von Buckmann werden in diesem Bericht soweit wie möglich die Inventare der Nährstoffe in den im 2D-Modell verwendeten Kompartimenten ausgewiesen. Die morphometrischen Daten sind in Tab. 1 im Vergleich zu den geographisch abgegrenzten Teilen des Oderästuars dargestellt.

Tab. 1: Morphometrische Daten der geographisch begrenzten Teile des Oderästuars, nach ⁴ und der Kompartimente des 2D-Strömungsmodells.

Gewässer	Fläche	Volumen	Kompartiment	Fläche	Volumen
	km ²	Mio m ³		km ²	Mio m ³
Gr.Haff	409,7	1556,9			
Kl.Haff	277,3	1025,6	22	238,61	851,9
Peenestrom	83,1	186,9	23 bis 27	104,82	231,6
Achterwasser	80,8	242,4	28	75,14	199,724
Grw.Bodden	510,2	2960	3 bis 6	487,3	2749,4

Die Jahregänge weisen in den beiden großen Becken im Oderästuar (Kl. Haff und Greifswalder Bodden) die folgenden monatlichen Inventare aus (Abb. Anhang 1):

2.2.1 Anorganisch gelöster Stickstoff , Silikat

Die Hochwasser der Zuflüsse führten 1994 zu deutlich höheren winterlichen/frühjährlichen N-Inventaren in Grw. Bodden und Kl. Haff als 1995, im Grw. Bodden gegenüber dem Kl. Haff um

Wochen verzögert. Generell war wie üblich zu beobachten, daß von Juni/Juli bis September der Bestand an gelösten anorganischen Stickstoff-Nährsalzen im Ästuar durch die hohe biologische Aktivität teilweise bis an die Bestimmungsgrenze fiel. Dagegen waren beim gelösten Phosphat die maximalen Inventare im August, die minimalen April (95 Grw. Bodden)/Mai bis Juni in Verbindung mit Algenblüten zu finden.

Tab. 2: Maxima und Minima der Nährstoff-Inventare Nov 93 - Sept 95 in Grw. Bodden und Kl. Haff.

Inventar in t		Grw. Bodden				Kleines Haff			
		Min	Monat	Max	Monat	Min	Monat	Max	Monat
DIN	94	< 1	Juli	1.700	April	1	Juli	3.000	Febr/Mrz
	95	< 1	Juli	800	Febr	1	Juli	2.000	Febr
N-ges	94	1.100	Okt	3.500	März-Mai	700	Okt	3.900	Febr/Mrz
	95	1.200	Juni	2.400	Febr	700	Aug/Sept	2.600	Febr-Apr
DIP	94	10	Mai	170	Aug	< 1	Mai	100	Jan,Nov/Dez
	95	10	Apr-Juni	110	Sept	3	Mai/Juni	100	März
P-ges	94	130	Mai	370	Aug	75	Mai/Juni	240	Aug
	95	50	Juni	240	Aug	100	Mai	210	Febr
SiO ₄	94	1.100	April	3.500	Dez93, Mrz94	500	Mai	3.800	Febr/Mrz
	95	200	April	2.000	Febr,Sept	150	Juni,Aug	2.300	Apr

Den Zusammenhang mit Diatomeenblüten zeigt der deutliche Abfall des gelösten SiO₄-Inventars zur gleichen Zeit.

Demnach traten Diatomeen-Massenvermehrungen **1994** im Greifswalder Bodden im April (SiO₄ von 3500 t im März auf 1000 t im April) und deutlich schwächer im Juni (1400 t SiO₄) und September (1400 t), in allen anderen Gewässerteilen im Mai (Kl. Haff von 3300 t SiO₄ im April auf 500 t im Mai) und mit Ausnahme des Achterwassers (nur Mai von 1000 t Januar auf 20 t Mai) nur etwas schwächer im September auf (Kl. Haff von 3000 t im Juli auf 700 t im September).

Die sommerliche Remineralisierung von Silikat brachte im Kl. Haff einen Zuwachs von +2500 t SiO₄ von Mai bis Juli, im Grw. Bodden nur +1000 t, im Achterwasser 500 t.

Es scheint im Grw. Bodden ein „Normalinventar“ von ca. 2000 t SiO₄ zu geben (Mai, Juli, Nov 94, Febr, Aug, Sept 95).

1995 liegt das frühjährliche Silikat-Inventar generell niedriger als 1994 (Grw. Bodden und Kl. Haff bei 2000 t (geringere Flußeinträge)) und nur der Grw. Bodden und das

Achterwasser zeigen die Diatomeenblüten im April mit ziemlich vollständiger Aufzehrung des gelösten Silikates (SiO_4 -Konzentrationen an der Bestimmungsgrenze!, Inventare im Grw. Bodden von 2000 t im Februar auf 200 t im April, Achterwasser von 400 t März auf 15 t April), dagegen zeigt sich im Kl. Haff und im südlichen Peenestrom eine gänzlich andere Situation: das Silikat-Inventar des Kl. Haffs erreicht im April mit 2300 t das Jahresmaximum 95, erst im Juni das Minimum (150 t) und bleibt (Juli- Meßwerte fehlen) bis September (250 t) auf diesem niedrigen Niveau!

Daraus ist zu schließen, daß im Kl. Haff 1995 eine über den ganzen Sommer anhaltende starke Diatomeen-Vermehrung zu beobachten war (bestätigt durch LAUN HST, pers. Mitt. Schöppe).

2.2.2 Phosphat und Gesamt-Phosphor

Ähnlich dem Silikat unterliegt das Phosphat sommerlichen Remineralisierungsvorgängen, die aber stärker vom Auftreten reduzierender anoxischer Bedingungen im Gewässer und an der Sedimentoberfläche beeinflußt werden.

Im extrem warmen und häufig von relativ windstillen Wetterlagen geprägten Sommer 1994 traten wahrscheinlich mehrfach so extreme Sauerstoff-Gradienten auf, wie sie zur SYNOPTA Juni/Juli 94 in GOAP gemessen wurden (¹(>160% SSI an der Wasseroberfläche, <5% SSI über Grund).

Infolgedessen erhöhte sich das Phosphor-Inventar um 240 t P im Grw. Bodden und 150 t P im Kl. Haff zwischen Mai /Juni und August 94, erfaßt im P-gesamt-Inventar Anlage 1 Abb.2, davon waren ca. 160 t im Grw. Bodden und ca. 110 t im Kl. Haff organisch gebunden, Anlage 1 Abb.3.

Unter der Annahme, daß der P-Eintrag allein aus einer Freisetzung aus dem Sediment kommt, läßt sich abschätzen, daß im Greifswalder Bodden damit ca. 2%, im Kl. Haff ca. 12 % des Phosphor-Inventars der obersten 5 cm-Sedimentschicht remobilisiert wären, s. Tab. 6 (Ergebnisse der Sedimentkartierungen im Greifswalder Bodden und Kl. Haff im Rahmen des GOAP bzw. des Vorläuferprojektes).

Das entspricht Freisetzungsraten von $0,8 \text{ g P/m}^2$ im Kl. Haff und $0,5 \text{ gP/m}^2$ im gesamten Greifswalder Bodden bzw. $1,5 \text{ g P/m}^2$ nur aus den Schlickgebieten des Grw. Boddens stammend. Im Kl. Haff liegen diese Freisetzungsraten damit nur wenig unter den in der inneren Schlei (1 g/m^2)² beobachten.

Die Wahl der 5 cm-Schicht sagt hier nichts über die tatsächliche Eindringtiefe von Remobilisierungsvorgängen, sie ist nur bedingt durch die Verfügbarkeit der Vergleichsdaten. Tatsächlich wurde in Sedimenten des Kl. Haffs eine drastische Abnahme der Phosphor-Konzentrationen mit der Tiefe in den obersten 10 cm gefunden⁸.

In welchem Umfang insbesondere im Greifswalder Bodden Einträge aus dem Peenestrom (und damit letztlich aus dem Haff) beteiligt sind, läßt sich nur anhand der Oderabflüsse und der daraus resultierenden Austauschraten in den Gewässerteilen schätzen, eine Klärung wird von den Ergebnissen des Strömungsmodells erwartet.

Mit den in Abschnitt 3 dieses Berichtes dargestellten Verweilzeiten des Wasserkörpers im Kl. Haff von ca. 2 Monaten im Jahresdurchschnitt 1994, d.h. ungefähr doppelt

solange wie im Gr.Haff, und den in Anlage 2 enthaltenen monatlich aufgeschlüsselten Verweilzeiten im Gr.Haff von ca. 2 Monaten in den Sommermonaten (mehr als das zweifache des Jahresdurchschnitts), ergibt sich eine Austauschrate von ca. 25% pro Sommermonat für das Kl. Haff.

Demnach können maximal 30-40 t Phosphor pro Monat aus dem Kl. Haff ausgetragen und in den Greifswalder Bodden gelangt sein. Zusammen mit der Fracht der Peene von maximal 20 t im August 94, sind höchstens 50 t Phosphor pro Monat aus dem Peenestrom in den Greifswalder Bodden eingetragen worden, d.h. mehr als 75 % des P-Inventar-Zuwachses im Grw. Bodden muß aus ihm selber stammen.

2.2.3 Achterwasser

Entsprechend seiner relativen Abkopplung vom Peenestrom zeigt das Achterwasser geringere austauschbedingte Unregelmäßigkeiten im Jahresgang der Nährstoff - gesamt-Parameter, nur in der extremen Flußhochwasser-Situation Frühjahr 94 findet ein stärkerer Eintrag von Stickstoff (allerdings überwiegend schon im Peenestrom transformiert) statt:

Nges im März 94 mit 720 t um 200 t höher als im Januar, NO₃ mit ca. 400 t leicht niedriger als im Januar (440 t).

Die anorganisch gelösten N- ,P- Nährstoffe folgen klar den jahreszeitlich bedingten Prozessen:

NO₃: Abnahme im Sommer auf 1,5 t bis minimal <100 kg (Juli/Aug 94 u. Sept95), an der Bestimmungsgrenze von 70 kg liegend.

DIP: Abnahme von 6 t im Januar auf 200 - 500 kg im April/Mai (Bestimmungsgrenze: 200 kg), im Sommer wieder 5 t remineralisiert, im Herbstminimum Aug/Sept wieder auf ca 2,5 t reduziert,

N-gesamt: von Juni bis November 300 bis 400 t,

P-gesamt: von 20 t im Januar auf 49 t im August steigend (mit schwachem Minimum 25 t im Mai 94).

2.2.4 Transformierte Nährstoffe N-org und P-org

Die transformierten Nährstoffe, bestimmt als Differenz (N-,P-)gesamt - (DIN, DIP), werden im allgemeinen als organisch gebunden angesehen. Sie lassen auch eine Korrelation zur biologischen Aktivität zu:

- nur zu biologischen Ruhezeiten werden überall Minimalwerte erreicht:

Dez/Januar und Klarwasser-Stadien im Okt 94 (+Nov Kl. Haff),

N-org Inventare:

im Grw. Bodden : von Mai 94 bis Aug 94 2000t bis 2500 t (Mai), (April : 1300 t Ende der Diatomeen- Blüte), allerdings bereits im Sept 94 Abfall bis Okt auf 1100 t, Minima Dezember 93 800 t, Dezember 94 1000 t

im Kl. Haff: von März. bis Sept 94 900 bis 1000 t (April: 700 t), Januar und Dezember 94 Jahresminimum 400 t.

P-org Inventare:

weniger ausgeglichen als N-org., Maxima Grw. Bodden 270 t im August, sonst um 170 t, Max. Kl. Haff um 160 t im Aug/Sept 94, sonst um 80-90 t.

Verhältnisse N-org/P-org und Redfield-Verhältnis N/P:

Bei reiner Bindung in Organismen müßte N-org/P-org dem theoretischen Redfield-Verhältnis $N/P=16$ entsprechen.

Diese Verhältniszahlen werden aber regelmäßig im gesamten Oderästuar nur in Zeiten höchster sommerlicher biologischer Aktivität erreicht, August 94/95, annähernd Juli 94 und Sept. 94/95, Anlage 1 Abb. 3.

Das entspricht den Zeitpunkten minimalen Angebots an gelöstem anorganischem Stickstoff, während ausreichend gelöste Phosphate zur Verfügung stehen, wobei auch die gelösten Stickstoffvorräte organischer Bindung (P-freie Exsudate) bakteriell praktisch vollständig verwertet werden bzw. die Exsudation aus den Algen minimal ist, damit liegt eine Stickstofflimitierung der Phytoplankton-Entwicklung nahe (daß auch die Entwicklung heterotropher Mikroorganismen betroffen sei könnte, kann hier nur vermutet werden).

Die Limitierung läßt die N-org-Inventare in den jeweiligen Becken nicht über 2000 t im Grw. Bodden, 1000 t im Kl. Haff und 300 t im Achterwasser anwachsen, trotz steigenden Angebots an gelöstem Phosphat in diesen Zeiten.

Außerhalb dieser Zeiten bewegen sich die N-org/P-org-Verhältnisse zwischen 20 und 40 (mit einzelnen Extremwerten über 100), d.h. es liegt ein beträchtlicher Pool an phosphorfreien Exsudaten (Glykolsäure, Aminosäuren etc.)⁴ vor.

In scharfem Kontrast dazu stehen die Verhältnisse in der Peene 1994 (Abb. 3).

Tab.3: Nährstoffe und Abflüsse 1994 in der Peene bei Anklam (N,P-Daten: LAUN HST)

Peene Frachten	m3/s Abfluß geschätzt	m3 pro Monat	t DIN	t Norg	t Nges	t PO4	t Porg	t Pges	t Norg/Porg
Nov 93	18	45,6E+6	125	30	155	5	5	11	12,32
Dez 93	36	96,4E+6	678	38	629	7	15	24	5,52
Jan 94	40	107,1E+6	1137	84	1221	7	13	20	13,86
Feb 94	24	58,1E+6	590	59	649	3	7	10	17,94
Mär 94	48	128,6E+6	905	103	1008	7	16	23	14,12
Apr 94	28	72,6E+6	401	74	475	2	3	6	47,41
Mai 94	18	47,1E+6	131	55	186	2	2	3	65,44
Jun 94	24	62,2E+6	148	74	221	4	5	9	34,81
Jul 94	8	21,4E+6	21	24	45	3	1	4	52,39
Aug 94	36	96,4E+6	36	130	166	14	7	20	43,46
Sep 94	24	62,2E+6	47	66	114	3	3	6	45,50
Okt 94	16	42,9E+6	49	36	85	2	2	4	35,91
Nov 94	12	31,1E+6	50	20	71	2	2	4	21,89
Dez 94	32	82,9E+6	508	38	546	5	5	11	15,60
Mittel 94	26	69,1E+6							
Summe 94		881,7E+6	4023	763	4786	52	67	119	25,07

Nährstoff- Daten LAUN HST, Abflüsse geschätzt nach Niederschlägen,(langjähriges Mittel 24 m3/s)

Im Jahresmittel 1994 liegen die N-org/P-org-Verhältnisse bei 25 in der Peene bzw. 20 in der Oder. Während in der Oder (Anlage 2) nur im abflußreichen Frühjahr die N-org/P-org-Verhältnisse größer als 20 werden und im August mit 10 das Jahresminimum liegt, sind in den Sommermonaten 94 die N-org/P-org-Verhältnisse mit über 40 -50 in der Peene sehr hoch, das Angebot an von Algen verwertbaren anorganischen Stickstoffverbindungen DIN bleibt ausreichend, die Exsudation der Algen setzt große Mengen phosphorfreier Stickstoffverbindungen frei.

In den Wintermonaten mit hohem Abfluß liegen diese Verhältnisse in der Peene teilweise deutlich unter 16. Als Ursache kommt Adsorption/Bindung von Phosphat an partikulärem Material in Frage, das dann nicht als lösliches PO₄ (DIP) gefunden wird, sondern nur im Aufschluß erscheint, aber nicht organisch gebunden ist.

Die Verhältnisse der maximalen N-org-Inventare zu den Volumina geben einen Eindruck von den relativen Produktivitäten dieser Gewässerteile:

	Achterwasser	Kl. Haff	Grw. Bodden
N-org	400 t 1	1000 t 2,5	2000 t 5
Volumen	199 Mio m3 1	852 Mio m3 4,3	2750 Mio m3 13,8
relativ	2,9	1,7	1

3. Synoptische Aufnahmen Juli 94, April und September 95

Die synoptischen Meßkampagnen brachten besonders mit der Einbeziehung des Großen Haffs durch die polnischen Kollegen um Prof. Muzielak und der von polnischen und deutschen Kollegen des IfG der EMAU besetzten Station Swinemünde Einblicke in die Rolle dieses Teils des Oderästuars im Gesamtsystem.

Während im April 95 noch mehr als 80% des von der Oder eingeleiteten anorganischen Stickstoffs das Ästuar in Swinemünde wieder untransformiert verließen, war im September 95 eine nahezu vollständige Umsetzung des DIN im Gr.Haff zu beobachten (von 60 $\mu\text{mol/l}$ an der Odermündung Station A auf 1 bis 2 $\mu\text{mol/l}$ an den Ausgängen zum Kl. Haff Station H bzw. Piastowski-Kanal Station D), an der Station Swinemünde wurden im September die höchsten Nitrat-Konzentrationen in einströmendem Ostseewasser gemessen!

Im April können die geringeren Phosphat-Konzentrationen vor der Odermündung in das Gr.Haff (Stat.A) auf die im April gegenüber März stark verringerte o-PO_4 -Fracht der Oder begründet sein.

Im September 95 erscheint das Gr.Haff mit 5,2 $\mu\text{mol o-PO}_4/\text{l}$ an der Odermündung, 3,9 $\mu\text{mol/l}$ am Kl. Haff und vor dem Piastowski-Kanal dagegen als Phosphatsenke. (Auch der südliche Peenestrom als das andere direkt einleiterbeeinflusste Gebiet zeigte sich im September 95 deutlich als Senke der von der Peene eingetragenen anorganischen Nährstoffe und Quelle von organisch und partikulär gebundenem N und P.)

Die April95-Kampagne war eingebettet in ein von März bis Mai 95 stabiles (600 m^3/s), aber im März/April mit -180/-170 m^3/s stark defizitäres Abflußgeschehen der Oder, Abb 2. Die entsprechenden Werte für September 95 liegen noch nicht vor.

Die Inventare weisen für das Gr.Haff, Anlagen 3 und 4, im Vergleich zum Kl. Haff in diesen synoptischen Kampagnen deutliche Unterschiede insbesondere im Eintrag und Bestand anorganisch gelöster Stickstoffverbindungen in den Sommermonaten aus, was mit dem Charakter der Gewässerteile im Oderästuar übereinstimmt.

Das Gr.Haff ist mit durchschnittlichen theoretischen Verweilzeiten des Wassers von 1 Monat (1994 0,9 Monate), Anlage 2, wesentlich stärker einleiterbeeinflusst als das Kl. Haff, das bei einem Anteil am Oderabfluß von 10% (als angenommenes gewichtetes Mittel zwischen von CORRENS⁵ (im langfristigen Mittel 15%) und im 2D-Strömungsmodell K.Buckmann (1994 8%) vorläufig angegebenen Werten) theoretische Verweilzeiten von 2,2 Monaten hätte.

4. Abschätzung der Rückhaltekapazität im Oderästuar

4.1 Einträge

Nach Mitteilungen von ASMUSS⁵ lassen sich im langjährigen Mittel folgende Einträge anorganischer Nährstoffe in das Oderästuar feststellen:

Tab. 4: Mittlere Jahresfrachten von Oder und Peene nach ⁸ sowie nasse Deposition im Oderästuar⁵

Eintrag	Oder	Peene	nasse Deposition
DIN-N (NO ₃ +NH ₄)	55 000 t	3 200 t	ca. 40 t
PO ₄ -P	8 000 t	100 t	ca. 2 t

Damit wird deutlich, daß die Einträge von Nährstoffen aus der nassen Deposition (Niederschläge) in diesem nährstoffreichen Ästuar keine wesentliche Rolle spielen.

Für 1994 als etwas überdurchschnittlich abflußreichem Jahr sind die Einträge aus Oder und Peene:

Tab. 5: Frachten der Oder und Peene 1994, aus ¹ und nach Daten LAUN HST

Einträge in t 1994	Oder	Peene
DIN = NO ₃ -N + NH ₄ -N	67.678	4.000
N-gesamt	99.387	4.800
PO ₄ -P	1.649	52
P-gesamt	5.230	119

Die aktuellen Frachten 1994 zeigen eine überraschend starke Verringerung der Phosphat-Frachten gegenüber dem langjährigen Mittel, um 80 % in der Oder und 50 % in der Peene, während die höheren Stickstofffrachten den abflußreichen Hochwassern zu Beginn des Jahres geschuldet sind.

Die Verringerung der Phosphor-Frachten steht zumindest bei der Peene in Übereinstimmung mit der nach 1990 im Einzugsgebiet einsetzenden Anpassung an die wirtschaftlichen Verhältnisse im alten Bundesgebiet, wo ähnliche Phosphat-Reduzierungen Mitte der 80-iger Jahre durch Bau von Kläranlagen und phosphatfreie Waschmittel in vergleichbaren Flüssen zu beobachten waren⁸. In der Oder erscheinen die von polnischer Seite gemachten Angaben für 1994 doch etwas niedrig. Aus den Angaben von ASMUSS und den 94-er Daten kann auf einen Eintrag von

80 000 t N-ges. und 10 000 t P-ges. pro Jahr in der Vergangenheit geschlossen werden.

4.2 überschlägige Ermittlung der Langzeitdeposition

Aus Daten von im Rahmen des GOAP vom IfG der EMAU im Kl. Haff und der polnischen Arbeitsgruppe im Gr.Haff durchgeführten Sediment-Kartierungen der Gehalte der obersten 5 cm an u.a. N und P und Sedimentationsraten die z.B. im EU-

Forschungsprojekt ODER berechnet werden konnten, läßt sich eine dauerhafte Deposition im Sediment des

Tab. 6: Inventare in der Ton/Schlufffraktion der Sedimente des Grw. Boddens und Kl. Haffs

Ausgangswerte der Berechnungen:					
		Feststoffkonzentration			
Kl.Haff:	0,10 g TS/ml FS			IfG-Messungen	
Grw.Bodden:	0,66 g TS/ml FS			Mittelwert aller Proben	
mittl.jährl.Sedimentation (JANKE 1993):		1 mm/a			
Kl.Haff Schlick	%		Grw.Bodden	%	
180,245 km²			TRS/ml	0,66 g/ml	
Mittelwert - SFK063	82,67		SFK063	36,87	
MW Canorg	2,64		C anorg	0,20	
MW Corg	9,71		C org	3,97	
MW Si	2,76		Si (Opal)	1,26	
Mittelwert - N	1,19		N ges	0,52	
Mittelwert - P	0,16		P ges	0,20	
Kl.Haff Schlick	180,245 km²	in ober. 5 cm	(1mm/a)	Kl. + Gr.Haff	550 km² Schlick
	t/km²	t im Kl.Haff	t jährlicheSe	t in ober.5 c	t jährliche Sedim.
TS Schlick	3.610	650.713	13.014	1.988.292	39.766
C-carbonat	115	20.769	415	63.463	1.269
C-org	424	76.412	1.528	233.481	4.669
Si (Opal)	121	21.713	434	66.345	1.327
N	52	9.375	187	28.645	573
P	7	1.259	25	38	77
Grw. Bodden		in ober. 5 cm	(1mm/a)		
SFK063	t/km²	t im GB	t/a Sedim		
TS Schlick/Schluff	12.128	6.187.682	123.754		
C carbonat	24	12.258	245		
C org	482	245.779	4.916		
Si (Opal)	153	77.843	1.557		
N ges	63	32.164	643		
P ges	24	12.096	242		

gesamten Oderhaffs von ca. 570 t N und 77 t P pro Jahr

Grw. Bodden-Schlick (ca. 40 % der Gesamtfläche): 640 t N und 240 t P pro Jahr

in der Summe ca. 1200 t N und 300 t P pro Jahr

abschätzen.

Aus Messungen der AG Dahlke IfÖ zur Denitrifikation^{1,2} in den Boddengewässern ergibt sich, daß in hypertrophen Gewässern durch Denitrifikation möglicherweise deutlich weniger als 10% des eingetragenen Stickstoffs (Kl. Jasmunder Bodden: <5%) als N₂ freigesetzt werden, im Gegensatz von bis zu 50% in weniger eutrophen Gewässern.

Die in den Sedimenten gefundenen molaren N/P-Verhältnisse von 5,8 im Grw. Bodden und 16,3 im Oderhaff stimmen damit gut überein, im weniger eutrophen Grw. Bodden wird mehr Stickstoff durch Denitrifikation freigesetzt als im stark eutrophen Haff. Da Phosphor zwar Freisetzungs- und Sammlungsprozessen unterliegt aber nicht aus dem System entfernt wird, nur transpotiert, kann aus dem Phosphor-Bestand eine Obergrenze des Rückhaltevermögens der eingetragenen Nährstoff-frachten im gesamten Oderästuar von weniger als 4% angenommen werden.

Damit wird die Bedeutung des Oderästuars als dauerhaftes Rückhaltebecken der von den Flüssen eingetragenen Nährstofffrachten stark in Frage gestellt. Das Retentionsverhalten durch partikuläre Umlagerung und Transport ist hier nicht zu klären. In Übereinstimmung damit stehen die ebenfalls im ODER-Projekt bestimmten gegenüber dem Haff ca. 3-fach höheren Sedimentationsraten im Arkona-Becken, das über die Oder-Rinne zur morphologisch vorbestimmten letzten Senke des Oderaustages wird, wie auch die oben beschriebenen hohen Konzentrationen (und damit Frachten) organisch und partikulär gebundener N- und P-Verbindungen in den Überleitungsgebieten des Oderästuars in die Ostsee.

Somit erscheint das Oderästuar nur noch als Retentions- und Transformationsraum der Nährstofffrachten in partikulär und organisch gebundene Formen.

5. Zusammenfassung

- a) Die Jahre 1994/95 waren meteorologisch und hydrologisch eher untypisch für das Oderästuar und vielfach gegensätzlich.
Mehrmonatigen Hochwassern im 1. Quartal 94 in den Zuflüssen folgten bis Januar 95 abflußarme Monate und ein extrem warmer Juli.
1995 fielen die Frühjahrshochwasser März/April aus und die trockene und warme (weniger extrem als Juli 94) Sommerlage war länger (Juli/August) und Abflußdefizite traten in der Oder erst im August auf.
- b) Die hohen Stickstofffrachten der Hochwasser 94 ließen die N-Inventare im gesamten Oderästuar stark ansteigen, ca. 50 % höher als 1995, was sich bis in den Sommer hinein hielt.
- c) Die großen Becken Greifswalder Bodden und Kl. Haff wiesen bei ähnlichen maximalen N-gesamt-Inventaren (3500 t GwB, 3900 t Kl.H.) deutlich unterschiedliche Inventare an gelöstem anorganischen Stickstoff auf (1700 t GwB, 3000 t Kl.H.).
Die Stickstofffrachten waren im Ästuar in erheblichem Ausmaß transformiert bevor sie den Greifswalder Bodden erreichten.
- d) 1994 wurden ausgeprägte Diatomeen-Massenvermehrungen im April im Greifswalder Bodden (Silikatumsatz 2500 t), in allen anderen Gewässerteilen im Mai (Silikatumsatz Kl. Haff 2800 t) und ähnlich im September beobachtet.
- e) 1995 war das gelöste SiO_4 -Inventar wegen geringerer Flußeinträge mit maximal 2000 t um 1000 t GwB bzw. 1300 t Kl.H. deutlich niedriger als 94. Diatomeen-blooms mit fast vollständigem SiO_4 -Umsatz traten im April nur in den randlichen Ästuaranteilen auf, im Kl. Haff und südlichem Peenestrom erst im Juni, dort aber den ganzen Sommer anhaltend.
- f) Im Sommer 1994 wurden hohe Phosphatfreisetzungen von 240 t im Greifswalder Bodden und 150 t im Kl. Haff gemessen, entsprechend $0,5 \text{ g P}/(\text{m}^2 \text{ Sediment})$ im Grw. Bodden bzw. $0,8 \text{ g P}/(\text{m}^2 \text{ Schlick})$ im Haff. Der Zusammenhang mit dem extrem warmen Juli ist evident.

- g) Anhand der Verhältnisse der transformierten Nährstoffe N-org und P-org konnte in beiden Jahren eine Stickstofflimitierung der biologischen Aktivität im Sommer im Ästuar (ohne Großes Haff) wahrscheinlich gemacht werden.
- h) Die synoptischen Aufnahmen gaben Hinweise auf die andersgeartete Stellung des Gr.Haffs als stark einleiterbeeinflusstes Gebiet. In allen drei Meßkampagnen Juni/Juli 94, April 95 und September 95 wurden keine limitierenden Bedingungen im Angebot der gelösten anorganischen Nährstoffe gefunden.
- i) Eine Abschätzung der Rückhaltekapazität des Oderästuars unter Einbeziehung der N- und P- Inventare in der obersten Sedimentschicht, die bei umfänglichen Sedimentkartierungen im Rahmen des GOAP im Greifswalder Bodden, Kleinem und Großem Haff bestimmt werden konnten, sowie der Oderfrachten, ergab eine dauerhafte Deposition von maximal 4 % der eingetragenen Nährstoffe.

6. Literatur

- ¹ Warunki Srodowiskowe Polskiej Strefy Poludniowego Baltyku W 1994 Roku, Institut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Gdynia 1995.
- ² Gewässergütebericht 1993. Umweltminister des Landes Mecklenburg-Vorpommern.
- ³ MURSYS 4/95. Bundesanstalt für Gewässerkunde.
- ⁴ LAMPE, R. & H. MEYER, in: Wasser und Boden 47, (5), 1995, 14-19.
- ⁵ GOAP-Zwischenbericht 1993/94, TP Lampe 1994.
- ⁶ M. FEIBICKE: Wege und Verbleib des Kohlenstoffs in der inneren Schlei. Bodden Heft 2, 1995, 205-218.
- ⁷ NEUMANN, T. & T. LEIPE, in: Project ODER - Interim report March 1995 (EG-Projekt).
- ⁸ GOCKE, K. & G. RHEINHEIMER: Phytoplanktonexsudation und bakterielle Sekundärproduktion. Bodden Heft 2, 1995, 189-200.
- ⁹ CORRENS, M., Diss. B, Uni Berlin 1979.
- ¹⁰ ASMUSS, pers. Mitt.an R. Lampe
- ¹¹ BRÜGGEMANN, Inst. f. Troposphärenforschung Leipzig (ITP), pers. Mitt.
- ¹² Umweltbundesamt. Daten zur Umwelt 1990/91.
- ¹³ WOLF, C., DAHLKE, S. & L.-A. MEYER-REIL, Poster zum Statusseminar Dez. 95.
- ¹⁴ DAHLKE, S., Stoffhaushalt in den Boddengewässern. Ringvorlesung am IfG, Greifswald 11.1.96