

Die räumlich-zeitliche Verteilung von Primärproduktion und Bakterienkeimzahlen

H. Westphal, B. Lenk

Energiewerke Nord GmbH, Abteilung Kontrolle, PF 1125, 17507 Lubmin,

Einleitung

Seit SCHNESE (1968) mit seinen Untersuchungen ökologisch relevanter Parameter im Greifswalder Bodden begann, ist ein umfangreiches Datenmaterial für dieses Gebiet zusammengetragen worden. Nicht immer stand den Bearbeitern ausreichend personelle und materielle Kapazität zur Verfügung, um einen lückenlosen Datenbestand zu gewährleisten. Trotzdem handelt es sich aufgrund der langen Beobachtungszeit und der vergleichsweise hohen Datendichte um äußerst wertvolle Beobachtungsreihen, auf die zurückgegriffen werden kann.

Die Arbeitsgruppe "Ökologie" im damaligen Kernkraftwerk "Bruno Leuschner" Lubmin begann im Jahre 1983 mit einem Programm zur regelmäßigen Erfassung wichtiger abiotischer und biotischer Parameter. Ursprünglich sollten nur Daten zur Ökologie dieses Gewässers gesammelt werden. Es erfolgte jedoch bald eine wesentliche Erweiterung in der Zielstellung. Im Jahre 1993 konnte eine Zusammenstellung der wissenschaftlichen Untersuchungen in Zusammenarbeit mit der Universität Rostock in Form einer Monographie über den Greifswalder Bodden erfolgen. Im Gebiet des Oderästuars war in Bezug auf die Verhältnisse der Verteilung der Bakterien und der Primärproduktion zu Beginn der Arbeiten praktisch nichts bekannt.

Fragestellungen und Ziele

Oderästuar und Greifswalder Bodden befinden sich als Vorfluter der Ostsee im ständigen Austausch mit dieser und nehmen damit auf den Zustand und die Qualität des Ökosystems Ostsee direkten Einfluß. Meßdaten zur Primärproduktion, zum Chlorophyll-a - Gehalt sowie zu Bakterien im Sediment und im Pelagial sind für die Bilanzrechnungen im System unerlässlich, um Austauschprozesse zwischen den verschiedenen Kompartimenten, sowie Stoffkreisläufe des Ökosystems, sowie den Austausch mit den vorgelagerten Gebieten der Ostsee, zu quantifizieren

Methodik

Primärproduktion

Die Bestimmung der Primärproduktion wurde nach der Radiokohlenstoffmethode in Form der "simulated in situ"-Technik durchgeführt (AUTORENKOLLEKTIV 1982). Die Einzelbestimmungen wurden, um Meßfehler möglichst klein zu halten, mit einer Inkubationszeit von 2 Stunden und im Zeitraum um den Kulminationspunkt der Sonne durchgeführt. Zur Bestimmung der Jahresproduktion wurden die Mittelwerte der einzelnen Kompartimente herangezogen. Bei der Berechnung ist dabei von einer mittleren Tageslänge von 12 Stunden und einer Bioproduktionsperiode von 200 Tagen ausgegangen worden.

Bestimmung der Bakterienkeimzahlen

Die Bakterienproben aus dem Pelagial wurden mittels Wasserschöpfer 1m unterhalb der Wasseroberfläche entnommen und in sterile Glasflaschen abgefüllt. Zur Bestimmung der Gesamtkeimzahl wurde die Methode des Plattengußverfahrens auf Nährboden nach OPPENHEIMER und ZOBELL 2216E (RHEINHEIMER 1981) angewandt. Als Nährmediengrundlage diente gealtertes Standortwasser. Dabei werden die vermehrungsfähigen, aeroben, heterotrophen Keime erfaßt. Die statistische Auswertung der Daten erfolgte als Wert der "geschätzten mittleren Anzahl" (CAVALLI-SFORZA 1969).

Bakterienkeimzahlen im Sediment

Die Entnahme der Sedimentproben erfolgte mit dem Bodengreifer nach VAN VEEN. Es konnten auf diese Weise Mischproben aus den ersten (0 bis 5) Zentimetern Sediment untersucht werden. Diese Bodenproben wurden in sterile Erlenmeyerkolben unter Beachtung steriler Bedingungen überführt. Die Aufarbeitung erfolgte im Labor. Hier wurden die Proben gewogen, mit 45 ml sterilem Seewasser versetzt und durch fünfminütiges Schütteln aufgeschwemmt. Die entstandene Suspension war dann Ausgangspunkt einer Verdünnungsreihe. Die weitere Bearbeitung erfolgte analog der Bestimmung der Gesamtkeimzahl im Pelagial nach dem Kochschen Plattengußverfahren.

Gleichzeitig wurde eine Sedimentcharakterisierung aller Proben vorgenommen, wobei Frisch-, Trocken- und Aschegewicht sowie der Gehalt an organischer Substanz bestimmt wurden. Die ermittelten Gesamtkeimzahlen wurden bezogen auf jeweils 1 Gramm Frischgewicht, Trockengewicht (Trocknung bis zur Gewichtskonstanz bei 105 °C), Aschegewicht (Veraschung bei 500 °C über 4 Stunden) und organische Substanz (= Glühverlust). Die Berechnung der Keimzahlen erfolgte nach der Formel:

$$x = (K (a + 45)) / G$$

- x = Keime pro 1 Gramm Bezugsgewicht
- a = eingewogene Substanzmenge [g]
- 45 = Gewicht des Verdünnungswassers [g]
- K = ermittelte Keimzahl [n/ml]
- G = Bezugsgewicht [g]

Chlorophyll und Phaeophytin

Die Chlorophyll- und Phaeophytinbestimmungen erfolgten spektroskopisch nach Extraktion der Farbstoffe mittels (Ethyl-)Alkohol entsprechend den HELCOM- Richtlinien .

Untersuchungsgebiet

Die Auswahl der Untersuchungsstationen erfolgte unter weitgehender Berücksichtigung der Probenahmestellen anderer Bearbeiter sowie eigener früherer Messungen. Die Vergleichbarkeit

der Meßwerte ist somit gesichert. Zusätzlich zu den Meßfahrten, die in der eisfreien Periode in der Regel monatlich stattfanden, wurden an den Stationen Wolgaster Brücke und Spandowerhagener Wieck ganzjährig wöchentliche Beprobungen von Land vorgenommen. Zusätzlich zu den regelmäßigen Probenahmen fanden in den einzelnen Jahren quasisynoptische Aufnahmen statt, an denen alle Arbeitsgruppen teilnahmen. In der Zeit des Oderhochwassers 1997 konnten in Zusammenarbeit mit der GKSS Geesthacht eine Vielzahl chemisch-biologischer Parameter vorrangig im Großen Haff gemessen werden. Die Koordinaten bzw. Lagebeschreibungen der Stationen sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Tab. 1: Aufstellung der Untersuchungsstationen

lfd. Nr.	Kompartiment	Stationsbezeichnung	geografische Lage	
Greifswalder Bodden:				
1	gb	Ariadne	54° 12,35' N	13° 34,05' E
2	gb	Böttchergrund	54° 14,3' N	13° 41,5' E
3	gb	Elsagrund	54° 12,36' N	13° 39,3' E
4	gb	KKWAK	54° 9,5' N	13° 38,5' E
5	gb	Loch	54° 11,2' N	13° 43,8' E
6	gb	Palmer Ort	54° 12,35' N	13° 26,7' E
7	gb	Salzboddengrund	54° 7,5' N	13° 28,05' E
8	gb	Zicker	54° 16,8' N	13° 37,2' E
Oderaestuar:				
9	kh	Tonne AH	53° 47,3' N	14° 16,3' E
10	kh	Tonne H5	53° 49,5' N	14° 11,9' E
11	kh	Tonne H3	53° 49,5' N	14° 6,1' E
12	kh	Tonne H1	53° 49,5' N	14° 0,4' E
Peenestrom und Achterwasser:				
13	sp	Karnin	53° 50,6' N	13° 51,5' E
14	sp	Zecherin	53° 52' N	13° 49,7' E
15	mp	Rankwitz	53° 56,6' N	13° 55,3' E
16	mp	Quilitz	53° 56,4' N	13° 55, 3' E
17	mp	Krummin	54° 0,4' N	13° 50,1' E
18	aw	Achterwasser	53° 55,7' N	13° 56, 7' E
19	pn	Wolgast	54° 3,0' N	13° 47,3' E
20	pn	Hollendorf	54° 6,8' N	13° 47,2' E
21	npf	Spandowerhagener Wieck	54° 9' N	13° 41, 9' E

Ergebnisse und Diskussion

Bakterien im Pelagial

Der Schutz von Gewässern erfordert dringend, gute Kenntnisse über die Selbstreinigungsvorgänge zu erlangen. Eine wesentliche Rolle bei diesem Vorgang, bei dem physikalische, chemische und biologische Prozesse ineinandergreifen, spielen die Bakterien, da sie in der Lage sind, sowohl feste als auch gelöste Stoffe noch in sehr geringen Konzentrationen zu remineralisieren. Die Erfassung des Gesamtkeimgehaltes, d.h. des Gehaltes an aeroben, heterotrophen Bakterien im Pelagial, gemessen als cfu (colony forming bacteria) ermöglicht die mikrobiologische Charakterisierung eines Gewässers. Ein Synonym stellt die Bezeichnung Saprophytenzahl dar.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden Messungen zur raum-zeitlichen Verteilung der Bakterien im Pelagial durchgeführt, wobei außerdem auf 17-jährige eigene Meßreihen zurückgegriffen werden konnte. Die Daten zeigen eine große raum-zeitliche Variabilität. In Tabelle 2 sind die Mittelwerte der Saprophytenzahlen für ausgewählte Meßstationen im Kompartiment gb (Greifswalder Bodden) aufgelistet.

Tab. 2: Mittelwerte der Saprophytenzahlen cfu /ml $\times 10^3$, Stationen des Kompartimentes gb

Station	1993	1994	1995	1996
Böttchergrund	0,8	1,2	0,6	14,7
Salzboddengrund	3,5	3,6	1,5	2,0
Ariadne	1,5	1,2	0,5	6,2
Zicker	0,7	1,7	0,4	11,2
Palmer Ort	2,6	1,4	-	3,5
Loch	2,8	1,8	2,5	12,9
KKW AK	1,8	1,9	-	-

Die Mittelwerte, Minima und Maxima der Jahre 1985 bis 1996 für den Zentralteil des Greifswalder Boddens (Station Ariadne, Kompartiment gb) sind in der Abbildung 1 zusammengestellt.

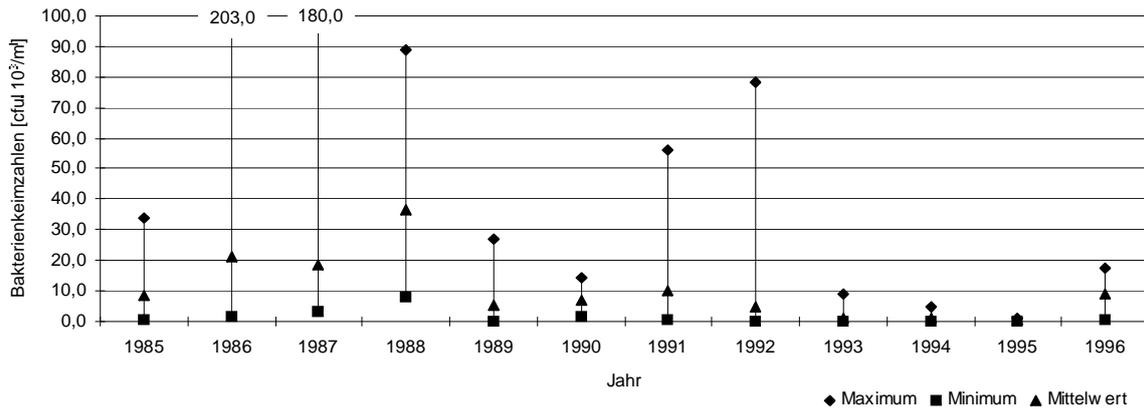


Abb. 1: Jahresmittelwerte der Bakterienkeimzahlen (Kompartiment gb)

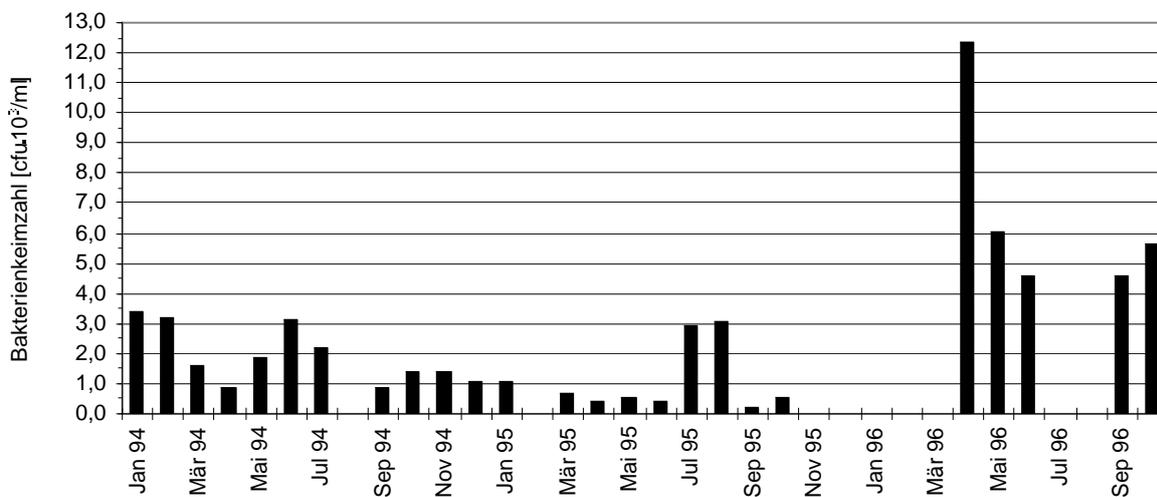


Abb. 2 Monatsmittelwerte der Bakterienkeimzahlen (Kompartiment gb)

Die langjährigen Mittelwerte an den Stationen des Greifswalder Boddens liegen in der Größenordnung von 10^3 Keimen pro ml. Auffällig ist der starke Rückgang der Bakterienkeimzahlen im Mittel der Jahre 1993, 1994 und 1995. 1996/97 stiegen die Saprophytenzahlen im gesamten Untersuchungsgebiet wieder leicht an. Bei den Stationen im Zentralteil des Boddens, bei denen von einer geringen Beeinflussung durch Einleiter aus den Boddenrandgebieten ausgegangen werden kann, läßt sich dieses auch deutlich anhand niedriger Saprophytenzahlen nachweisen. Als Beispiele seien hier die Stationen Böttchergrund, Zicker und Ariadne genannt. Diese Beobachtung muß weiter verfolgt werden, da die Mittelwerte einzelner Jahre nicht ohne weiteres mit langjährigen Zeitreihen verglichen werden können. Ein Jahrgang an den Boddenstationen ist schwer zu erkennen. Offensichtlich werden Jahrgänge, wie sie in anderen Küstengewässern vorkommen, durch

kurzfristig vorhandene Änderungen der hydrographischen Situation in unserem Untersuchungsgebiet verdeckt.

Unterschiede in der vertikalen Verteilung konnten aufgrund der guten Durchmischung des Wasserkörpers nicht gefunden werden. Letztendlich sind aber auch hier die kurzfristig vorhandenen Änderungen der hydrographischen Situation der alles überlagernde Einflußfaktor der vorgefundenen Schwankungen der Saprophytenzahlen in diesem offenen System.

Bei Dauerprobenahmen in kurzen Zeitabständen konnte diese Aussage verifiziert werden. Die Maxima der Saprophytenzahlen im Pelagial erscheinen in drei Schüben über das Jahr verteilt. Sie entsprechen dabei den Substratmaxima der Pflanzennährstoffe. Die Maxima liegen im Zeitraum November bis Februar, März bis Juni und August bis Ende Oktober. Für den Anstieg der Saprophytenzahlen sind offensichtlich die in dieser Zeit absterbenden Organismen, bzw. deren ausgeschiedene Substrate verantwortlich. Das Minimum zwischen Juni und August wäre dann die Folge des geringeren Substrataufkommens infolge des Fraßdrucks des sich in dieser Zeit stark entwickelnden Zooplanktons.

(vgl. Hefen, TP SCHAUER)

Im Bereich des Peenestroms und Kleinen Haffs liegen keine Messungen aus den Jahren vor 1993 vor. Die Stationen im Kompartiment npf (Spandowerhagener Wiek) und pn (Wolgast) liegen im unmittelbaren Mündungsbereich des stark mit Nährstoffen belasteten Peenestroms in den Greifswalder Bodden und weisen dieses deutlich durch die Höhe der Keimzahlen aus. Die Verhältnisse sind in den Abbildungen 3 und 4 dargestellt.

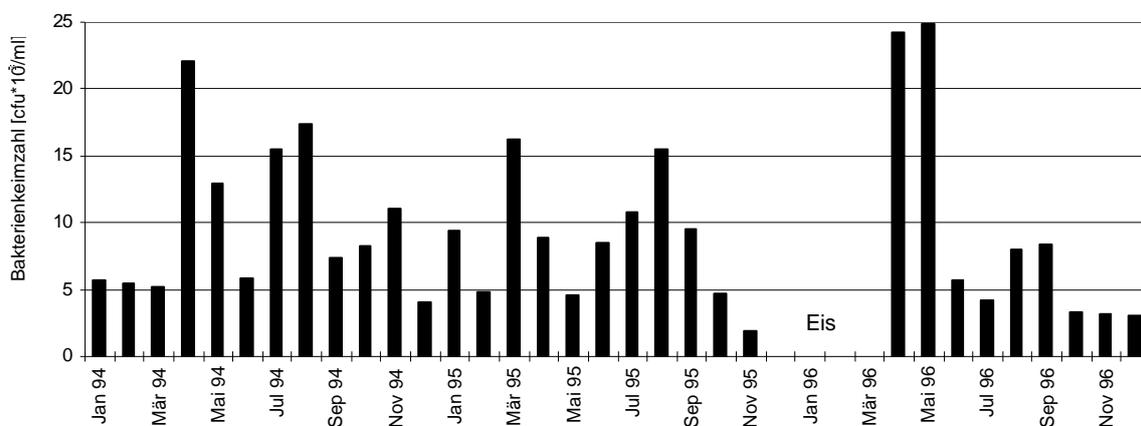


Abb. 3: Monatsmittelwerte der Bakterienkeimzahlen (Kompartiment npf)

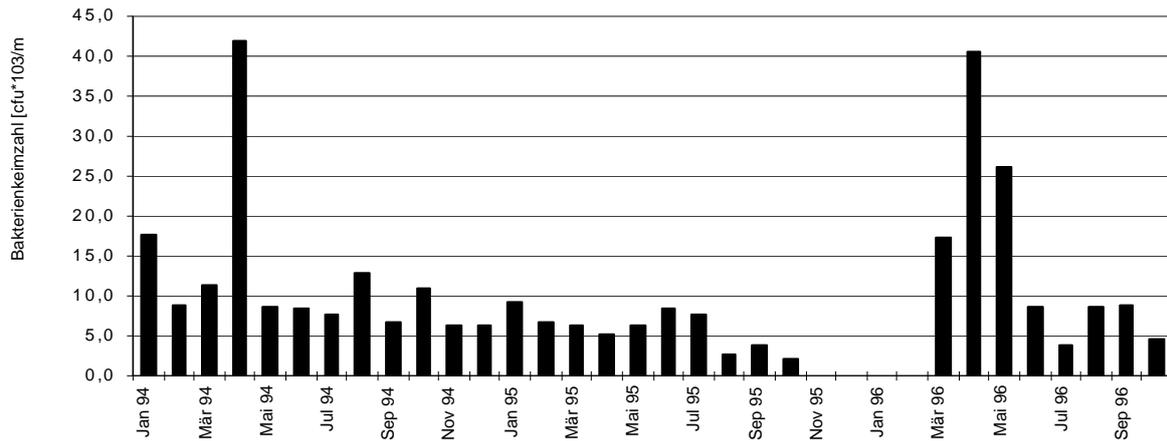


Abb. 4: Monatsmittelwerte der Bakterienkeimzahlen (Kompartiment np)

Diese beiden Stationen spiegeln durch ihre vergleichsweise hohen Keimzahlen die großen Belastungen mit Nährstoffen wider, die durch die Zuflüsse auf den Greifswalder Bodden, bzw. die Pommernbucht einwirken. Jahresgänge des Keimgehaltes sind wie im Greifswalder Bodden ersichtlich, wenngleich auf Grund des in beiden Kompartimenten öfteren Austausches mit keimarmen Ostseewasser die Effekte teilweise überlagert werden. Eine Gesamtübersicht mittlerer Keimzahlen aller Kompartimente ist in der Abbildung 5 dargestellt.

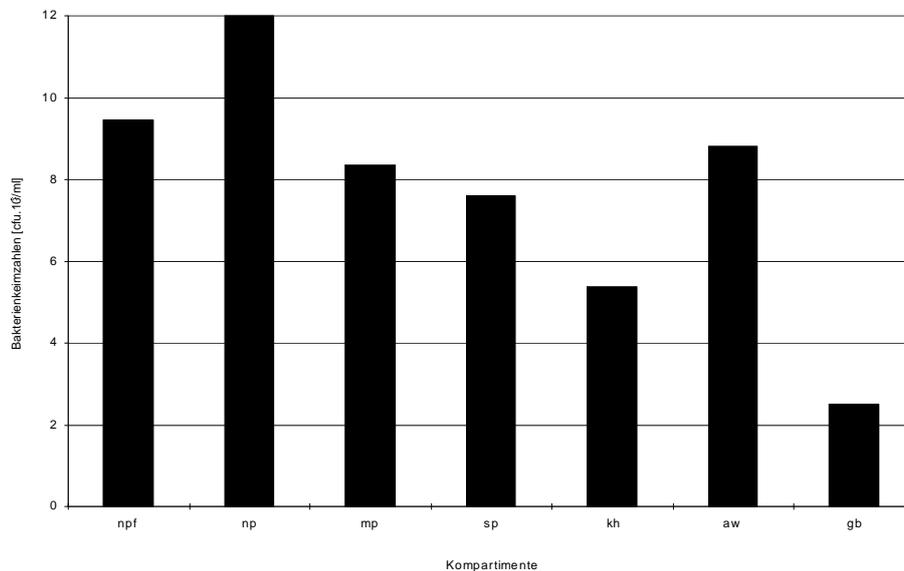


Abb. 5: Mittlere Bakterienkeimzahlen im Untersuchungsgebiet 1993 bis 1997

Es ist bezüglich der Höhe des Keimgehaltes ein geringes Nord-Süd-Gefälle von der Peenestrom-Mündung zum Kleinen Haff zu beobachten. Das Achterwasser als relativ abgeschlossener Teil nimmt hier eine Sonderstellung ein. Im Greifswalder Bodden finden wir die insgesamt niedrigsten Werte. Dieses ist offenbar dem sehr guten Wasseraustausch mit der Ostsee (nach CORRENS bis 17facher Wasserwechsel pro Jahr) geschuldet. Ein Vergleich der Daten mit Werten aus der Nordrügenschon Boddenkette und der Darß-Zingster Boddenkette zeigt, daß der Greifswalder Bodden in diesem Ensemble der am niedrigsten und die Haffe mit am stärksten belastet sind.

Untersuchungen zum Verhältnis Gesamtbakterienzahlen zum Saprophytengehalt im Greifswalder Bodden zeigen, daß das Verhältnis im Mittel bei 1 : 2000 liegt. Geht man davon aus und setzt die C-Menge einer Bakterienzelle im Mittel mit $1,5 \times 10^{-11}$ mg C an, ergibt sich, daß bei einem mittleren Keimgehalt K von $2,2 \times 1000$ **195 t C in den Bakterien (pelagisch, d.Berarb.) gebunden** sind.

Bakterien im Sediment

Die Sedimente haben wegen der Flachheit der Boddengewässer einen großen Einfluß auf die Qualität des Pelagials. Der Stofftransfer zwischen Sediment und Pelagial wird dabei zu nicht unwesentlichen Teilen durch Bakterien gesteuert. Aus diesem Grunde wurden Untersuchungen zur Sedimentcharakteristik durchgeführt.

Bei Bestimmungen der Saprophytenzahlen im Sediment konnten quantitative Unterschiede zwischen den einzelnen Stationen beobachtet werden. In der Regel ist mit der Erhöhung des organischen Gehaltes ein Anstieg der Keimzahlen verbunden. Die Höhe der Saprophytenzahlen ist außerdem der Korngröße direkt proportional. Die Maxima im Jahresgang sind gegenüber den Werten im Pelagial um etwa drei Wochen nach hinten verschoben. Hier könnte der Zeitbedarf für die Sedimentation die Erklärung geben. Tabelle 3 zeigt Mittelwerte der Sedimentdaten, errechnet aus den Werten mehrerer Jahre.

Tab. 3: Mittelwerte der Bakterienkeimzahlen ausgewählter Stationen, bezogen auf jeweils ein Gramm Frisch-, Trocken-, und Aschegewicht, sowie organische Substanz [Bakterienkeimzahl x 10⁵]

Station	Frishgewicht	Trockengewicht	Aschegewicht	organische Substanz
Ariadne	129,5	505,8	566,2	5944,4
Zicker	97,1	157,7	163,1	13486,5
Böttchergrund	118,1	195,0	200,1	21041,9
Elsagrund	108,0	174,9	196,3	17768,6
Loch	451,2	1189,8	1282,2	22079,8
Palmer Ort	135,7	258,0	273,3	9535,1
Salzboddengrund	197,3	722,9	830,7	7526,4
Hollendorf	258,6	379,2	363,6	62564,4
Nördl. Peenestrom	462,0	690,8	703,6	41994,8
Mittlerer Penestrom	139,9	367,6	435,6	29797,6
Südl. Peenestrom	190,7	349,9	361,0	22245,1
Achterwasser	29,5	266,4	330,0	1437,7

Es sind quantitative Unterschiede zwischen den einzelnen Stationen zu beobachten. Die Sedimente zeigen sowohl mineralischen (ca. 2/3 des Gebietes), als auch schlickigen Charakter. Nach SCHLUNGBAUM (1988) beträgt der Gesamtphosphorgehalt der Sedimente im Greifswalder Bodden im Mittel 0,59 mg/g Trockensubstanz und schwankt zwischen 0,23 und 1,21 mg/g Trockensubstanz. Dabei ist der hohe Phosphorgehalt in der Regel an einen hohen Gehalt an organischer Substanz gekoppelt. Bei Rasterkartierungen der Sedimente im Greifswalder Bodden, die unabhängig von den hier dargestellten Untersuchungen durchgeführt wurden, konnte jedoch ein deutlich höherer Anteil an schlickigem und damit nährstoffreicherem Sediment im Westteil des Boddens nachgewiesen werden, als bisher angenommen wurde. (LAMPE, MEYER, P-Gehalte höher: 0.3 % = 3 mg/gTS → untersuchte Fraktion?)

Bei den quantitativen Unterschieden ist eine Beziehung zur Korngröße und Beschaffenheit des Sedimentes vorhanden. Je gröber das Sediment, umso geringer sind die Bakterienzahlen. Es ist zu beachten, daß hier meist nur in den ersten Zentimetern aerobe Verhältnisse vorliegen. Entsprechende Untersuchungen zum Redoxpotential der einzelnen Sedimentschichten zeigen dies deutlich. Mit der Abnahme des Sauerstoffgehaltes geht eine Änderung des Artenspektrums einher. Vergleicht man die Daten mit denen aus den Boddenketten Nord und West, so zeigt sich, daß diese Gebiete durchaus einander ähnlich sind. Die bessere

Wasserqualität im Greifswalder Bodden manifestiert sich somit auch in einer geringeren Belastung des Sediments mit organischem Material. Die Verhältnisse im Peenestrom und Kleinen Haff sind in der Abbildung 6 dargestellt. Die Daten einer Sedimentkartierung des Oberflächensedimentes im Kleinen Haff sind in Tabelle 4 aufgeführt. Deutlich ist der Einfluß des Substrats auf den Gesamt-Keimgehalt ersichtlich.

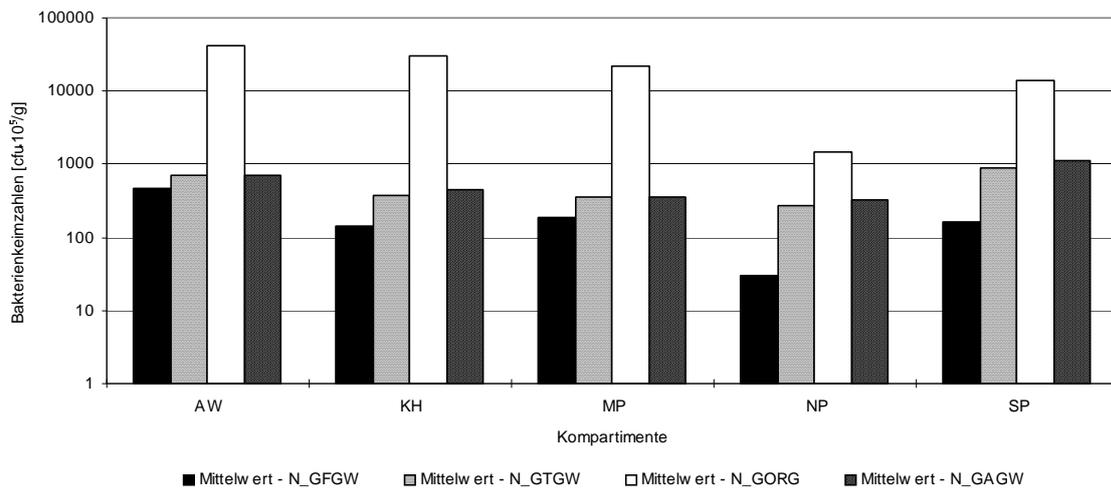


Abb. 6: Mittlerer Keimgehalt im Sediment

Tab. 4: Saprophytengehalt im Oberflächensediment des Kompartimentes kh (Kleines Haff) im Juni 1993

Datum	Stationsnummer	n/g Fr.-Gew	n/g Tr.-Gew	n/g A.- Gew	n/g org.S.
10.06.1993	01	4,48	8,75	9,08	241,32
10.06.1993	03	17,72	58,59	63,74	725,60
10.06.1993	04	8,15	10,44	10,47	3515,64
22.06.1993	08	4,84	6,23	6,25	2590,52
10.06.1993	10	9,27	73,93	90,76	398,55
14.06.1993	12	14,12	18,10	18,23	2596,53
23.06.1993	13	60,59	101,85	103,91	5131,38
10.06.1993	15	3,87	17,55	19,52	173,12
10.06.1993	16	3,32	14,66	16,27	148,32
14.06.1993	17	2,95	44,27	67,76	127,69
22.06.1993	20	3,26	26,64	33,81	125,55
10.06.1993	22	3,46	18,52	21,05	153,70
14.06.1993	24	13,84	17,68	17,81	2492,85
14.06.1993	25	69,90	102,23	103,32	9724,53
10.06.1993	28	1,53	12,77	15,76	67,14
10.06.1993	30	4,98	36,34	45,79	176,00
10.06.1993	32	4,36	5,54	5,54	5249,53

22.06.1993	34	9,32	64,97	81,50	320,35
02.06.1993	35	0,83	5,36	6,44	31,70
02.06.1993	36	0,49	4,12	5,19	19,93
02.06.1993	38	0,55	3,65	4,24	26,24
02.06.1993	39	1,16	8,94	11,23	43,71
09.06.1993	40	3,11	19,77	24,55	101,35
23.06.1993	41	2,43	3,30	3,31	1277,42
02.06.1993	43	0,96	6,90	8,69	33,40
02.06.1993	45	14,74	113,41	137,08	656,80
22.06.1993	50	3,64	29,26	37,95	127,77
04.06.1993	52	2,54	14,49	16,56	115,87
04.06.1993	54	0,37	2,79	3,46	14,46
04.06.1993	55	0,55	3,97	4,83	22,02
23.06.1993	56	8,45	17,58	18,03	704,45
07.06.1993	58	2,38	16,89	20,26	101,30
09.06.1993	60	3,06	25,52	32,16	123,47
22.06.1993	65	3,47	23,69	27,91	156,54
22.06.1993	67	4,71	36,63	46,40	173,99
23.06.1993	69	6,53	29,56	38,52	127,10
23.06.1993	71	3,94	16,74	18,51	175,36
23.06.1993	73	1,79	14,14	18,80	56,97
23.06.1993	76	2,90	32,14	44,61	114,94

Die geringen Mengen an aerob-heterotrophen Keimen in diesen Sedimenten sind sicher dem niedrigen Redoxpotential und den damit ungünstigen Entwicklungsbedingungen für die aeroben Bakterien in diesen Sedimenten geschuldet. Eine Remineralisation von Nährstoffen erfolgt an diesen Stationen im wesentlichen anaerob. Wird berücksichtigt, daß die Saprophytenzahlen keine direkten Rückschlüsse auf die Entwicklung der Bakterien und ihre Beteiligung am Stoffumsatz zulassen, so stellt deren Bestimmung doch ein einfaches und gutes Mittel zur Charakterisierung des mikrobiologischen Zustandes eines Gewässers und eine Ergänzung zu Stoffwechsellmessungen an Bakterien dar.

Primärproduktion

Die Bedeutung diurnal sich verändernder Einflüsse auf ein Ökosystem können gut sichtbar gemacht werden am Verlauf der von der Globalstrahlung abhängigen Primärproduktion. Eine Kompensation dieses starken Signals kann im Untersuchungsgebiet durch Mechanismen innerhalb der pelagischen Gemeinschaft, aber auch durch externe Einflüsse erfolgen. Von den Einflußfaktoren ist insbesondere die hohe organische Fracht, die z.B. durch die Oder (*?, eher*

Gr.Haff, der Bearb.) in das System eingebracht wird, zu nennen. Andererseits sind es die Sedimente, die in den Flachgewässern besonders reich an organischem Material sind, die kompensierend auf die Umsatzprozesse im Pelagial einwirken.

Die Primärdaten wurden durch annähernd regelmäßig über die Jahre 1993 bis 1997 verteilte Messungen in den einzelnen Kompartimenten gewonnen. Mehrmals konnten bei mehrtägigen Meßkampagnen quasisynoptische Bestimmungen durchgeführt werden. Es sei hier am Rande vermerkt, daß Parallelbestimmungen nach den Methoden "simulated in situ" und "in situ" sehr gute Übereinstimmungen zeigten.

Deutlich wurden sowohl der hohe Einfluß des Sonnenlichtes als auch geographisch bedingte Unterschiede. Aus der vertikalen Verteilung der Primärproduktion kann angenommen werden, daß im Zeitraum Ende Juni/ Anfang Juli das Licht der limitierende Faktor ist. Im Oderästuar war aufgrund der geringen Sichttiefe die gesamte produktive Schicht auf weniger als 1,5 Meter begrenzt, im Greifswalder Bodden betrug sie ca. 3,5 Meter. Ferner wurde in der Mehrzahl der Messungen in der Oberflächenschicht eine Lichthemmung der Photosynthese gemessen.

Betrachtet man die PAR- Strahlung, folgt diese im langjährigen Mittel einem Jahresgang, der sein Minimum in den Monaten Dezember und Januar aufweist, das Maximum wird im Monat Juli erreicht. (5000 zu 30.000 J/m²). Im Untersuchungsgebiet aufgezeichnete PAR-Messungen bestätigen dieses.

Die Untersuchungen zur Phytoplanktonbiomasse von SCHMIDT und HÜBEL verzeichnen ein Frühjahrs- und Spätsommermaximum. Dabei verläuft die Entwicklung nach einem raschen Anstieg im April, einem Minimum im Mai und daran nachfolgendem Anstieg bis zum zweiten Jahresgipfel im August. Dieses zweite Maximum der Entwicklung des Phytoplanktons liegt in der Regel etwas niedriger als im Frühjahr. Diesem Entwicklungsgang des Phytoplanktons folgt die Höhe der Primärproduktion.

Die mit der höchsten Trophiestufe ausgestatteten Gewässer zeigen auch die höchste Primärproduktion pro Tag. Damit liegen im Untersuchungsgebiet ähnliche Verhältnisse vor wie in der Boddenkette West und in den Nordrügensch Boddengewässern. Auch hier steigt die Primärproduktion mit Zunahme der Trophiestufe an (HÜBEL, H., Institut für Ökologie

Hiddensee, mdl. Mitteilung). Die Primärproduktion in den einzelnen Gewässerteilen des Untersuchungsgebietes zeigt insgesamt aber große raum-zeitliche Unterschiede (s. Tabelle 5).

Tab. 5: Bruttoprimärproduktion im Untersuchungsgebiet

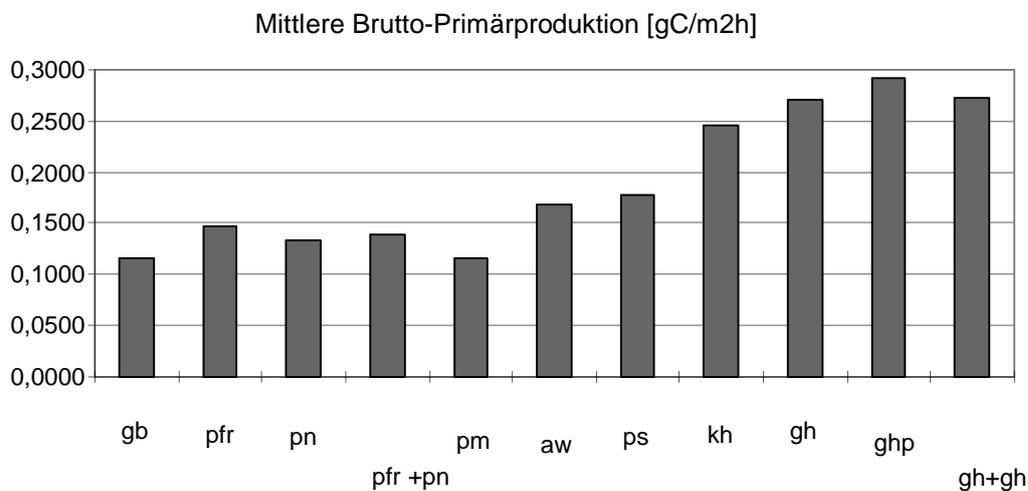
	Kompartiment	Fläche [km ²]	mittl. Tiefe [m]	Volumen [m ³ *10 ⁶]	Brutto-Primärproduktion		
					[gC/m ² h]	[gC/m ² a]	[tC/a]
Greifswalder Bodden	gb	510,0	6,0	3060,0	0,1162	279	142.281
Peenestrom/Freest	npf	9,1	2,5	22,8	0,1475	354	3.221
Peenestrom Nord	np	13,6	2,3	30,9	0,1339	321	4.354
	npf + np	22,7	2,4	53,7	0,1391	334	7.562
Peenestrom Mitte	mp	39,7	2,6	105,2	0,1169	281	11.146
Achterwasser	aw	80,8	3,0	242,4	0,1689	405	32.758
Peenestrom Süd	sp	49,2	1,8	88,9	0,1778	427	21.000
Kleines Haff	kh	277,3	3,6	998,3	0,2463	591	163.908
Großes Haff	gh	551,7	3,7	2020,0	0,2701	648	357.691
Piastowski Kanal	ghp	21,5	3,0	65,8	0,2921	701	15.074
	gh+ghp	572,2	3,6	2085,8	0,2732	656	375.363
Odermündung	gho				0,1212	291	

Ein Vergleich mit den quantitativen Bestimmungen des Chlorophyllgehaltes ergibt auch hier, wie zu erwarten, eine positive Korrelation (MEYER et al. 1998). Die Menge des gebundenen Kohlenstoffes liegt in den Jahren 1993 bis 1997 im Zentralteil des Greifswalder Bodden zwischen 19 und 243 mg C m⁻² h⁻¹, im Kleinen Haff zwischen 23 und 840 mg C m⁻² h⁻¹, im Achterwasser zwischen 63 und 361 mg C m⁻² h⁻¹ und im Peenestrom schwankt sie zwischen 26 und 325mg C m⁻² h⁻¹. In Zeiten der biologischen Hochproduktion werden im Greifswalder Bodden Spitzenwerte von ca. 3g und im Kleinen Haff von bis zu 10 g Kohlenstoff pro Tag gebunden.

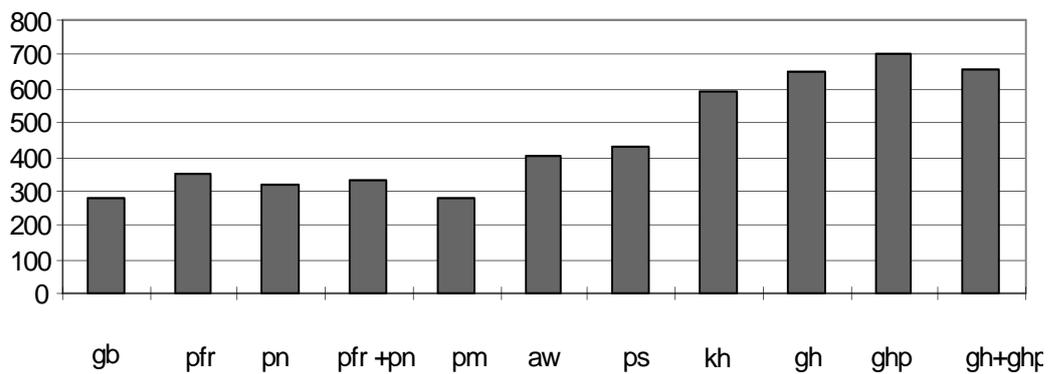
Folgt man der Einteilung von WASMUND (1989), ist der Greifswalder Bodden mit einer mittleren Produktion von 279 g C m⁻² a⁻¹ als eutroph einzustufen. Für den Peenestrom und die Haffgewässer wird dagegen durchweg eine Einteilung als eutroph bis polytrophes Gewässer bestätigt: Im Peenestrom zeichnen sich die Verhältnisse im nördlichen Teil in den Kompartimenten npf und np durch eine große Variationsbreite entsprechend den schnell wechselnden Ein- und Ausstromlagen aus. Es ist von einer durchschnittlichen Produktion von ca. 334 g C m⁻² a⁻¹ auszugehen. Im Mittelteil (mp, südlich Wolgast) beträgt die

durchschnittliche Jahresproduktion 281 g C m^{-2} . Der Bereich Peenestrom-Süd (sp) ist stark vom Kleinen Haff beeinflusst. Hier sind Produktionsraten von $427 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ zu finden. Für das Kompartiment aw (Achterwasser) als relativ geschlossene Einheit konnte eine Jahresproduktion von $405 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ bestimmt werden. Im Kleinen Haff wurden Werte von durchschnittlich $591 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ gefunden. Eine vorsichtige Hochrechnung auf die Jahresproduktion ergibt damit für die Gewässer Werte von ca. $142.000 \text{ t C a}^{-1}$ im Greifswalder Bodden und $164.000 \text{ t C a}^{-1}$ im Kleinen Haff.

Während der Untersuchungen war es während dreier Meßkampagnen der Arbeitsgruppe der GKSS möglich, auch im Großen Haff Untersuchungen durchzuführen. Es ist zu hoffen, daß in den Folgejahren weitere Messungen möglich sind. Die leider noch sehr sporadischen Ergebnisse sind in der Abb. 8 dargestellt. Ein besonderer Glücksumstand war, daß während des Oderhochwassers 1997 über drei Monate Messungen in den polnischen Haffgewässern möglich waren. Die Primärproduktionsraten lagen bei unseren Messungen für den Zentralteil des Großen Haffs zwischen 33 und $913 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$.



Mittlere Brutto-Primärproduktion [gC/m2a]



Mittlere Brutto-Primärproduktion [tC/a]

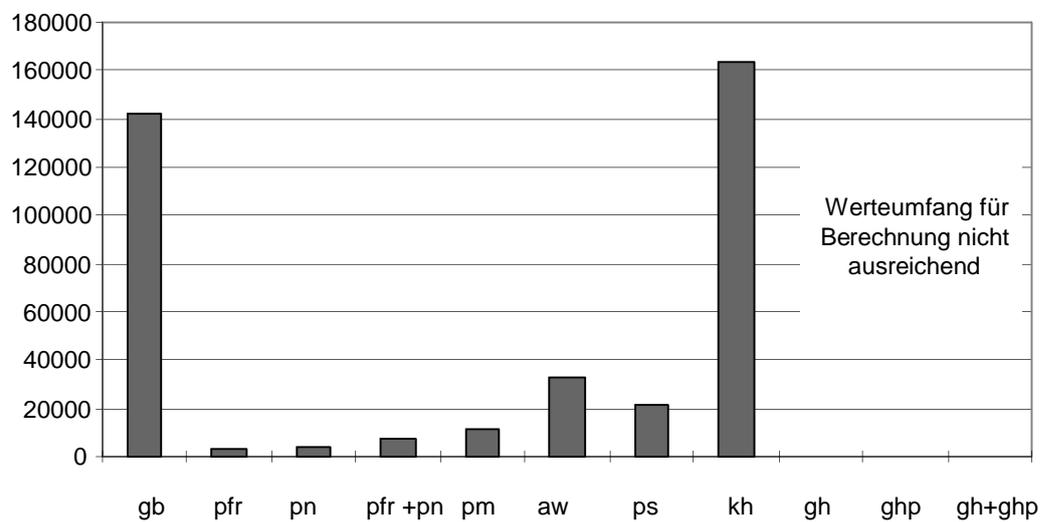


Abb. 7: Mittlere Brutto-Primärproduktion

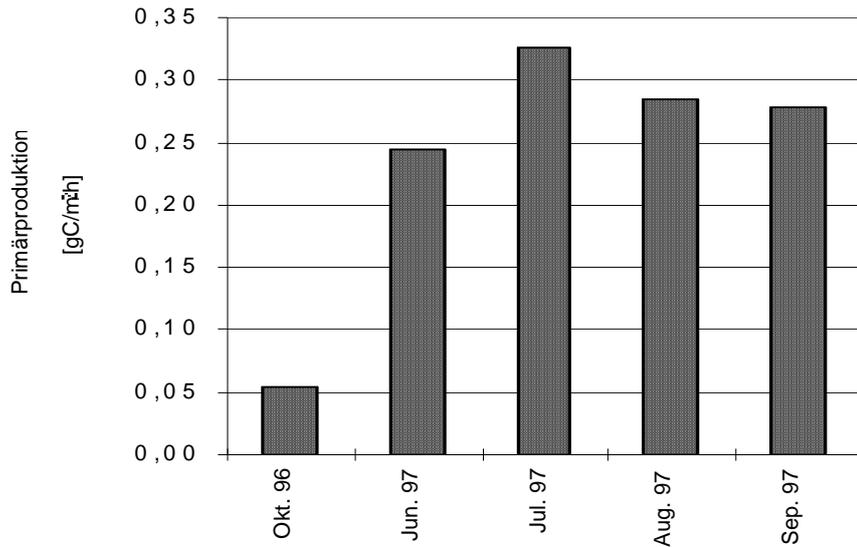


Abb.8: Monatsmittelwerte der Primärproduktion (Kompartment gh)

Die Jahres-Bruttoproduktion ist ein wichtiger Vergleichsparameter. Für die Fragestellungen im Projekt, das nach Stoff-Quellen und -Senken sucht, interessiert aber mehr die Nettoproduktion des Kohlenstoffes im Pelagial. Aus diesem Grunde wurden Parallelmessungen zur Respiration des gebildeten Kohlenstoffes durchgeführt. Die Untersuchungen erfolgten in enger Zusammenarbeit mit anderen Arbeitsgruppen, insbesondere des Institutes für Ökologie, Hiddensee und des IOW (Projekt TRUMP). Ein Beispiel für den Verlauf von Respiration und Photosynthese einer Station im Kompartment kh ist in der Abbildung 9 dargestellt.

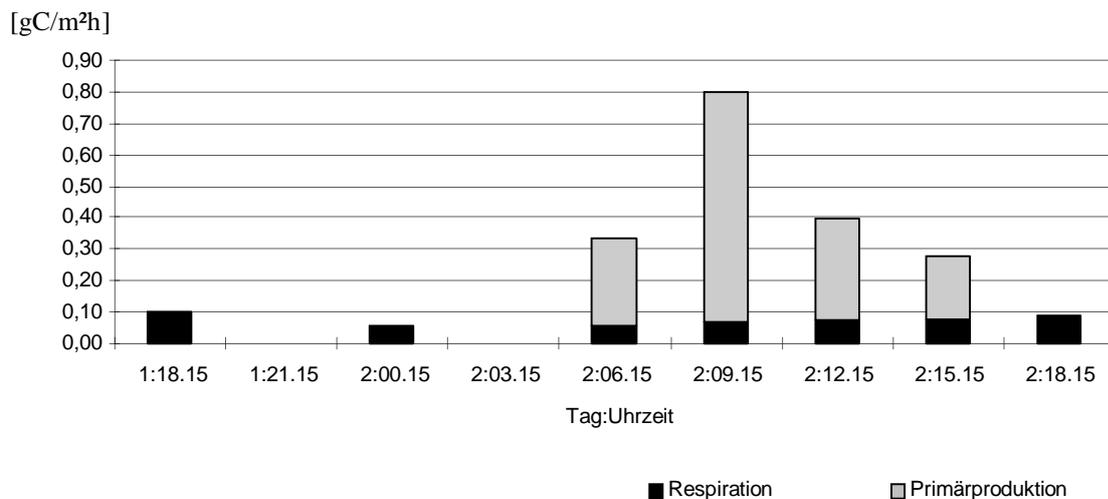


Abb. 9: Beziehung zwischen Respiration und Primärproduktion am Beispiel einer Station im Kleinen Haff

Ergebnisse liegen für das Kleine Haff und den Greifswalder Bodden vor. Sie ergaben, daß etwa 70 % des gebundenen Kohlenstoffs im Kleinen Haff verbraucht werden. Das bedeutet, daß ungefähr ein Drittel des bei der Primärproduktion gebundenen Kohlenstoffs - ca. 55.000 t C - für benthische Umsätze zur Verfügung gestellt werden. Im Greifswalder Bodden kann nach den Messungen von einer Nettoproduktion von ca. 50.000 t C pro Jahr ausgegangen werden. Diese Menge an organischem Kohlenstoff steht damit für weitere Prozesse zur Verfügung. Die Verhältnisse konnten, obwohl beide Gewässer (gb und kh) sich morphologisch und hydrologisch unterscheiden, in beiden Gebieten gefunden werden.

Für den Greifswalder Bodden konnten die Messungen der Primärproduktion durch Vergleichsrechnungen bestätigt werden. So ergibt sich z.B. bei der Rückrechnung des pro Quadratmeter aus der Überschußproduktion zur Verfügung stehenden Kohlenstoffes für benthische Umsätze von ca. 110 g C = 9,3 Mol O₂. Dieses steht in sehr guter Übereinstimmung mit vom TRUMP-Teilprojekt B3 aus Meßwerten extrapolierten 9,1 Mol O₂. Auch die Messung von Umsatzraten der Bakterien stützt diese Annahmen mit turn-over-Zeiten von 1 bis 3,5 Tagen. Die Primärproduktion könnte sich daher rein rechnerisch zu ca. 80 % aus dem Gewässer selbst regenerieren.

Chlorophyll- und Phaeophytinbestimmungen

Die raum-zeitliche Verteilung der Chlorophyll-a Werte ist in den Abbildungen 10 - 12 dargestellt. Im Jahresverlauf sind, wie auch von anderen Arbeitsgruppen beschrieben, Frühjahrs- und Herbstmaxima zu beobachten. Im Kleinen Haff ist die Sommerregression nicht so deutlich ausgeprägt. Dabei ist die absolute Menge des Chlorophylls aber mehr als 5mal so groß wie im Greifswalder Bodden. Die Konzentrationen spiegeln deutlich den trophischen Zustand der einzelnen Gewässerteile des Ästuars wider.

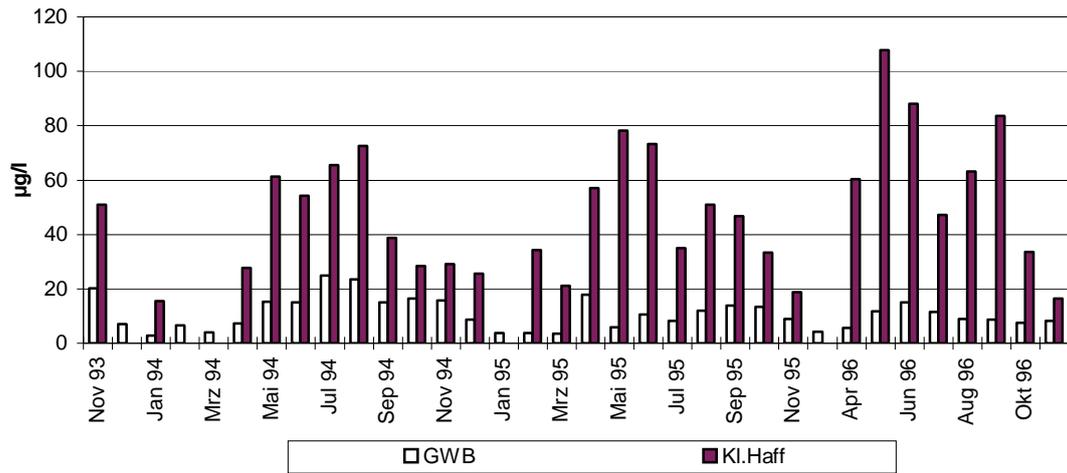


Abb. 10: Monatsmittel Chlorophyll-a in den Kompartimenten gwB und Kl.Haff

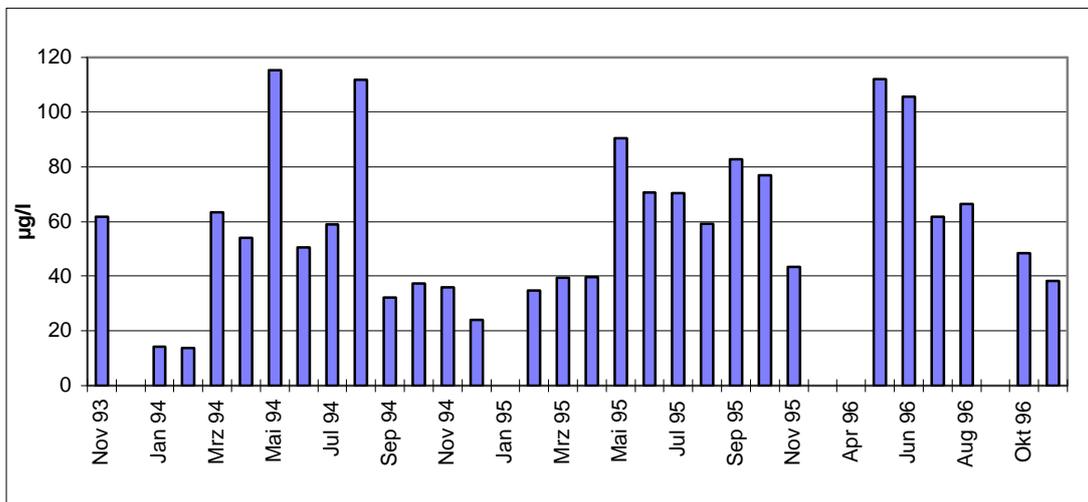


Abb. 11: Monatsmittel Chlorophyll-a im Kompartiment nps

In der Abbildung 13 sind die Mittelwerte des Gesamtchlorophyll-Gehaltes der einzelnen Kompartimente dargestellt. Diese Werte sind sicherlich Maximalwerte, da, wie gezielte Untersuchungen zeigten, besonders in tieferen Gewässern nicht von einer homogenen Chlorophyll-a-Verteilung in der gesamten Wassersäule ausgegangen werden kann.

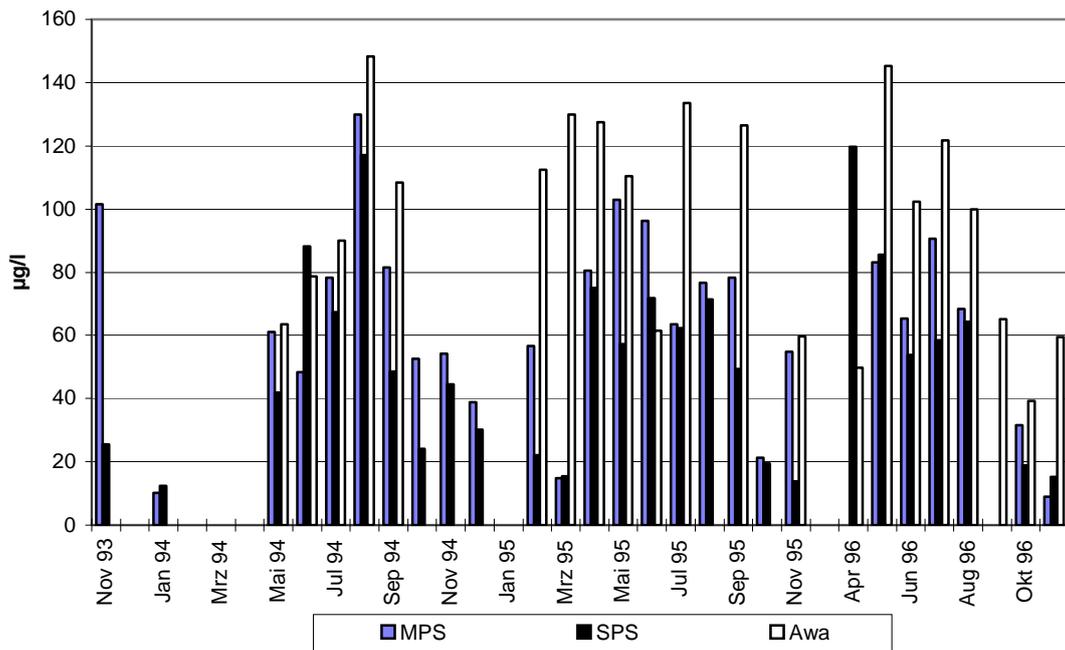


Abb. 12: Monatsmittel Chlorophyll-a in den Kompartimenten mps, sps und awa

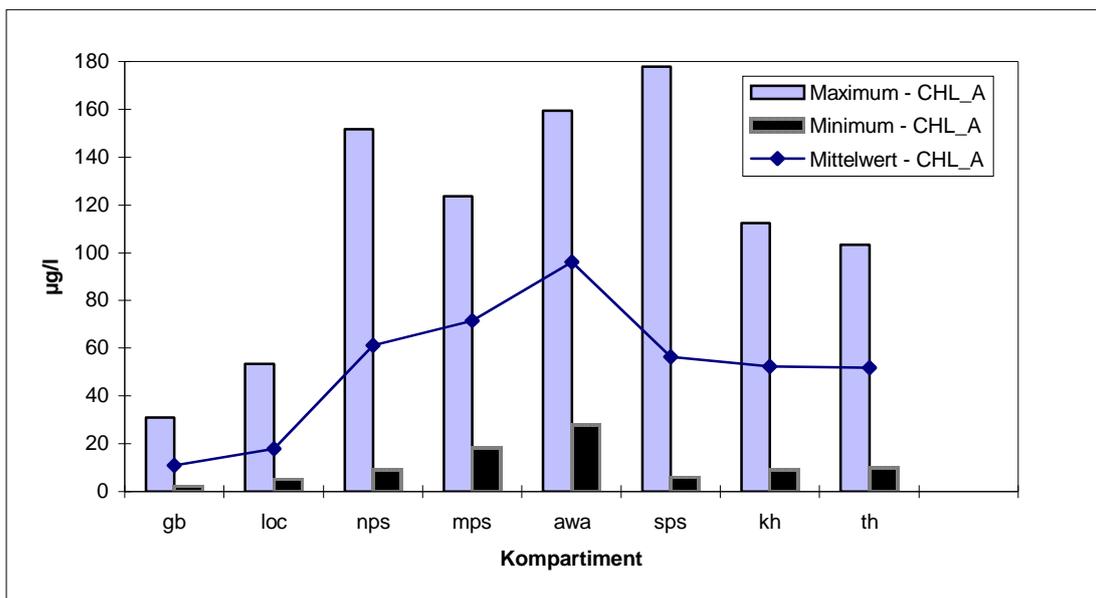


Abb. 13: Mittelwerte Chlorophyll-a 1993 - 1996

Untersuchungen zur Biomasse des Phytoplanktons (HÜBEL 1995; SCHMIDT 1989) zeigen einen deutlichen Frühjahrs- und Sommeraspekt im Greifswalder Bodden. Es bestätigt sich die Erfahrung, daß Phytoplanktonbiomasse und Chlorophyllgehalt nicht notwendigerweise

parallel verlaufen. Die Artenzusammensetzung und der physiologische Zustand des Phytoplanktons sind wichtige Größen, die das Verhältnis zueinander verschieben können.

Für einen Teil der Messungen wurden die Bestimmungen des Chl-a durch Bestimmungen des Phäophytins ergänzt. Es zeigt sich, daß der Anteil an Phäophytin im Jahresverlauf und an den unterschiedlichen Stationen sehr stark schwankt und in den Sommermonaten deutlich geringer ist als in den anderen Zeiten des Jahres. In den einzelnen Monaten, besonders im Winterhalbjahr, kann der Phäophytingehalt bis zu einem Drittel des als Chl-a bestimmten Wertes betragen. Für eine optimale Bewertung der Chl-a-Daten ist das Heranziehen der Phäophytinkonzentration offenbar sehr wichtig. Die Chlorophyllwerte werden wesentlich aussagekräftiger, wenn gleichzeitig der Phäophytingehalt im Pelagial bestimmt und entsprechend berücksichtigt wird.

Weiterführende Arbeitsansätze

Die Kenntnisse über die Biokomponenten des Ökosystems besonders im Bereich des Großen Haffs sind z.Z. noch sehr lückenhaft und sollten in Ergänzung zu vorliegenden chemisch-physikalischen Meßreihen und Modellen unbedingt vertieft werden. Weiterführende Untersuchungen u.a. zum Chlorophyllgehalt, mikrobiologischen Umsatzraten und der Primärproduktion sind zum weiteren Verständnis der Vorgänge im Oder-Ästuar und der Oderbucht unbedingt erforderlich. Erste Ansätze zur Bestimmung dieser Komponenten konnten zumindest während des Oder-Hochwassers und sporadisch im Jahre 1996 gemacht werden. Des weiteren ist zum wiederholten Male auf die Bedeutung langjähriger Meßreihen hinzuweisen. Es sollte zumindest ein begrenztes Monitoring im Oder-Ästuar weitergeführt und damit eine gewisse Kontinuität erzielt werden. Für den Greifswalder Bodden scheint dies zumindest für die Folgejahre gesichert zu sein (FAW EWN-GmbH).

Zusammenfassung

Es werden die Ergebnisse der Bestimmungen der Primärproduktion nach der Radiokohlenstoff-Methode (simulated in situ) an Stationen im Greifswalder Bodden und

Teilen des Oderästuars (Kleines Haff, Achterwasser und Peenestrom) vorgestellt. Dabei wird insbesondere auf jahreszeitlich und geographische Unterschiede in der Verteilung eingegangen. Die Beziehungen der Primärproduktion zum Anteil abiotischer und biotischer Komponenten im Ökosystem werden diskutiert.

Die Höhe der Primärproduktion im Kleinen Haff, Achterwasser, Peenestrom, und Greifswalder Bodden zeigt- wie zu erwarten - deutliche Unterschiede. Es ist in der angeführten Reihenfolge entsprechend der Trophiestufe eine Abnahme zu verzeichnen. Die Menge des bei der Primärproduktion gebundenen Kohlenstoffs liegt im Jahresgang zwischen 20 und 250 mg C m⁻² h⁻¹ im Zentralteil des Greifswalder Boddens und 25 und 840 mg C m⁻² h⁻¹ im Kleinen Haff. Die Produktion im Achterwasser und Peenestrom beträgt maximal 350 mg C m⁻² h⁻¹. Eine Hochrechnung auf die Jahresproduktion ergibt Werte in Höhe von ca. 280 g C m⁻² a⁻¹ für den Greifswalder Bodden und 600 g C m⁻² a⁻¹ in Teilen des Oderästuars.

Es können Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen langjähriger Meßreihen und aktuellen Untersuchungen zum Phytoplankton und der Primärproduktion aufgezeigt werden. Des weiteren werden die Ergebnisse der Bestimmung des Saprophytengehaltes im Pelagial und Sediment vorgestellt. Der Gehalt an Saprophyten (aerob-heterotrophen Bakterien; cfu) liegt im Bereich von 10³ bis 10⁴ cfu im Pelagial und korrespondiert mit den Trophiestufen der einzelnen Kompartimente. Im Sediment ist der Keimgehalt stark abhängig von der Korngröße und liegt im Bereich von 10⁵ bis 10⁶ Keime pro g Substrat. Es existieren deutliche raumzeitliche Unterschiede. Der Gesamt-Keimgehalt folgt den Phytoplanktonbiomasse-Entwicklungen im Jahresgang um ca. 14 Tage versetzt. Die Beobachtungen der saisonalen und räumlicher Verteilung werden diskutiert.

Literatur

- AUTORENKOLLEKTIV (1982): Ausgewählte Methoden der Wasseruntersuchung, BD.2, Biologische, mikrobiologische und toxikologische Methoden. - VEB Gustav Fischer Verlag Jena.
- CAVALLI-SFORZA (1969): Biometrie. - VEB Gustav Fischer Verlag Jena.
- HÜBEL, H. (1965): Die Primärproduktion des Phytoplanktons der nördlichen Rügensch Boddengewässer unter Anwendung der C-14-Methode. - Univ. Greifswald, Math.-nat. Fak., Diss. B.
- KELL, V. (1984): Primärproduktionsmessungen im Greifswalder Bodden in den Jahren 1981 und 1982. - Wiss. Z. Univ. Rostock, Math.-nat. Reihe **33** (6): 53-55.
- RHEINHEIMER, G. (1981): Mikrobiologie der Gewässer. - VEB Gustav Fischer Verlag Jena.
- ROHDE, K.-H. & NEHRING, D. (1979): Ausgewählte Methoden zur Bestimmung von Inhaltsstoffen im Meer- und Brackwasser. - Arb. d. nat. Komm. "Meeresforschung u. Hydrologie" d. Nationalkomm. f. Geodäsie u. Geophysik d. DDR, IV/27.
- SCHMIDT, I. (1989): Beziehungen zwischen Wassertemperatur und Phytoplankton im südlichen Greifswalder Bodden. - Acta hydrophysica (Berlin) **34** (2/3): 131-170.
- SCHMIDT, I. (1991): Studie zur Autökologie der produktionsbiologisch wichtigen Arten im Greifswalder Bodden. - Unveröff. Studie für den FB Biologie, Uni Rostock,
- VIETINGHOFF, U.; HUBERT, M.-L. & H. WESTPHAL (1995): Zustandsanalyse und Langzeitveränderungen des Ökosystems Greifswalder Bodden. - UBA- FB 95-003.
- VIETINGHOFF, U.; HÜBEL, H.-J.; WESTPHAL, H.; LENK, B.; RAMBOW, S. & B. KORTH (1995): Die Forschung begleitendes Monitoring Greifswalder Bodden. Abschlußbericht für das Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Umwelt des Landes Mecklenburg-Vorpommern. - Unveröff. Bericht für das Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Umwelt, Abt. Wasserwirtschaft, Rostock 1995.
- WASMUND, N. (1989): Characteristics of phytoplankton in brackish waters of different trophic levels. - LIMNOLOGICA **20** (1): 47- 51.