

## Langjährige und saisonale Dynamik des Phytoplanktons im Oderästuar



Autor:  
Bianka Grunow





*IKZM-Oder Berichte*

*28 (2006)*

Langjährige und saisonale Dynamik des Phytoplanktons  
im Oderästuar

von

**Bianka Grunow**

Universität Rostock  
Institut für Biowissenschaften  
Albert-Einstein-Straße 3, 18059 Rostock

Rostock, Oktober 2006

Die vorliegende Arbeit ist eine Diplomarbeit am Institut für Biowissenschaften der Universität Rostock. Sie wurde von PD Dr. habil. Gerald Schernewski und Dr. Norbert Wasmund (Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde) betreut.

## Impressum

Die IKZM-Oder Berichte erscheinen in unregelmäßiger Folge. Sie enthalten Ergebnisse des Projektes IKZM-Oder und der Regionalen Agenda 21 "Stettiner Haff – Region zweier Nationen" sowie Arbeiten mit Bezug zur Odermündungsregion. Die Berichte erscheinen in der Regel ausschließlich als abrufbare und herunterladbare PDF-Files im Internet.



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Das Projekt "Forschung für ein Integriertes Küstenzonenmanagement in der Odermündungsregion (IKZM-Oder)" wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter der Nummer 03F0403A-H gefördert.



Die Regionale Agenda 21 "Stettiner Haff – Region zweier Nationen" stellt eine deutsch-polnische Kooperation mit dem Ziel der nachhaltigen Entwicklung dar. Die regionale Agenda 21 ist Träger des integrierten Küstenzonenmanagements und wird durch das Projekt IKZM-Oder unterstützt.



**Herausgeber der Zeitschrift:**

EUCC – Die Küsten Union Deutschland e.V.  
Poststr. 6, 18119 Rostock, <http://www.eucc-d.de/>  
Dr. G. Schernewski & N. Löser

Für den Inhalt des Berichtes sind die Autoren zuständig.

Die IKZM-Oder Berichte sind abrufbar unter <http://ikzm-oder.de/> und <http://www.agenda21-oder.de/>

**ISSN 1614-5968**

## **Abstract**

This thesis seeks to analyse the development of Phytoplankton in the coastal regions of the Oder (polish: Odra) Estuary. This area is characterised by a high river inflow of the Oder, that influences the sampling stations “Kleines Haff Mitte” (KHM) and “Oderbucht 4” (OB4) in the Oder Bay.

Besides analysing the trend of the Phytoplankton development of the past twenty years, the thesis results give explanations why such development evolves. Therefore, biotic and abiotic monitoring data taken by “Landesamt fuer Umwelt, Naturschutz und Geologie” (LUNG) from 1986 to 2004 were analysed in order to explain if the water quality has been improved and if Phytoplankton is a good indicator for the water quality. As a result of this analysis the sampling station KHM was characterised as an area with higher algae growth than the sampling station in the Oder Bay. This shows that the water quality at the station KHM is lower than that of OB4. Although the areas are not far from each other, there is no direct relation between them due to different abiotic parameters as e.g. salinity and nutrient concentration. Furthermore, the analysis shows differences in the growth of Phytoplankton species. Nevertheless, the Phytoplankton had a decreasing growth of the biovolumina at both stations since 2000.

The analysis of the biotic data shows a change that took place in the 90s, where new Phytoplankton species were sampled and other species, which existed before, disappeared. This happened due to lower temperatures over several years. The temperature has a bigger influence on the shallow area of the “Kleines Haff” than on the deeper Oder Bay. Therefore, there has been a change of more species of algae in the “Kleines Haff” because of less buffer capacity of the water column.

In spite of the results, a detailed evaluation of the biological diversity and abundance in this estuary is not easy. At the moment, the “Kleines Haff” is eutrophic which is limited by light. The station OB4 in the Oder Bay is mesotrophic with limitations of light and nutrients.



# Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis.....	i
Abbildungsverzeichnis.....	iii
Abkürzungsverzeichnis.....	vi
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Untersuchungsgebiet und Methoden.....</b>	<b>4</b>
2.1. Untersuchungsgebiet.....	4
2.2. Datengrundlage und Methode.....	6
<b>3. Ergebnisse.....</b>	<b>10</b>
3.1. Niederschlag und Verdunstung .....	10
3.2. Salinität.....	10
3.3. Sonnenscheindauer.....	13
3.4. Temperatur.....	14
3.5. Wind.....	16
3.6. Nährstoffe.....	17
3.7. Secchi-Tiefe und Chlorophyll.....	27
3.8. Langfristige Entwicklung des Phytoplanktons .....	28
3.9. Jahresgang des Phytoplanktons.....	41
3.9.1. Klasse der Bacillariophyceae.....	42
3.9.2. Klasse der Cyanobakterien.....	44
3.9.3. Klasse der Chlorophyceae.....	46
3.9.4. Klasse der Dinophyceae.....	47
3.9.5. Klasse der Cryptophyceae.....	48
3.10. Korrelationen zwischen den Biovolumina der einzelnen Algenarten und den abiotischen Parametern .....	49
3.11. Vergleich kalter und warmer Jahre in der Entwicklung des Phytoplanktons.....	52
3.12. Veränderung der Artengemeinschaft .....	61
<b>4. Diskussion.....</b>	<b>70</b>
4.1. Methodendiskussion.....	70
4.1.1. Schwierigkeiten bei der Probenahme .....	70
4.1.2. Datenauswertung.....	71
4.2. Phytoplankton: Indikatoren für eine schlechte Gewässerqualität? .....	75

4.3. Wie wird sich die Entwicklung im Kleinen Haff und der Oderbucht in Bezug auf die Klimamodelle gestalten? .....	79
4.4. Die Entwicklung der Gewässerqualität in den nächsten Jahren – wird sie den Forderungen der Wasserrahmenrichtlinie nachkommen? .....	81
4.5. Vorschläge zur Verbesserung des Monitoring-Programms.....	83
<b>5. Zusammenfassung.....</b>	<b>85</b>
Literaturverzeichnis.....	88
Anhang.....	93



# Tabellenverzeichnis

## Tabellen im Text

Tab. 1:	Überblick der einmündenden Fließgewässer in das Oderhaff mit ihren mittleren Abflussmengen – (Daten nach Helcom 1998, nach Wielgat und Scherniewski 2005) .....	5
Tab. 2:	Fläche, mittlere Tiefe und das Volumen des Oderästuars, Oderhaffs und des Kleinen Haffs (nach Meyer 1998).....	5
Tab. 3:	Geographische Lage, Wassertiefe [m] und durchschnittliche Salinität [PSU] von den Stationen Kleines Haff Mitte und Oderbucht 4 (nach Heiskanen et al. 2005).....	6
Tab. 4:	abiotische und biotische Parameter vom LUNG (nach DIN-Norm, Vorschrift, Datenquelle: LUNG).....	7
Tab. 5:	Wetterdaten und ihre Messmethoden (Datenquelle: DWD).....	8
Tab. 6:	höchsten Steigerungen der Phosphatkonzentration an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) im Zeitraum 1976 bis 2004. Medianwert der Phosphatkonzentration des gesamten Jahres, durchschnittliche Windgeschwindigkeit während des Monats und die Wassertemperatur des Monats (Datenquelle: LUNG & DWD).....	19
Tab. 7:	Wassertemperatur an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) im Jahr 2000 (Datenquelle: LUNG).....	32
Tab. 8:	Auftreten der höchsten Biovolumina bei den Cryptophyceae an der Station OB4 im Zeitraum 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG).....	39
Tab. 9:	Korrelationskoeffizient r zwischen den Algenbiovolumina an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) von 1987 bis 2004 - vollständig: Anhang: Tab. T6 (Datenquelle: LUNG).....	50
Tab. 10:	Korrelationskoeffizient r zwischen den Algenbiovolumina an der Station Oderbucht 4 (OB4) von 1986 bis 2004 - vollständig: Anhang: Tab. T7 (Datenquelle: LUNG).....	52
Tab. 11:	Cyanobakterienarten und prozentualer Anteil des Cyanobakterienbiovolumens am Gesamtbiovolumen und die höchste Wassertemperatur und der höchste Salzgehalt [PSU] während der Monate Juni bis August 1988 bis 1990 (Datenquelle: LUNG) .....	54
Tab. 12:	Algenarten (Biovolumen >0,001 mm <sup>3</sup> /l) an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) im Frühjahr 1993, 1996 und 1997 (Datenquelle: LUNG).....	56
Tab. 13:	Gesamtbiovolumen und Salinität in den Frühjahren 1993, 1996 und 1997 an der Station OB4 (Datenquelle: LUNG).....	59
Tab. 14:	Algenarten (BV > 0,001 mm <sup>3</sup> /l) an der Station OB4 im Sommer 1993, 1996 und 1997 (Datenquelle: LUNG) .....	60
Tab. 15:	Wassertemperatur im Sommer und Herbst 2001 und 2004 an der Station OB4 (Datenquelle: LUNG).....	61
Tab. 16:	Korrelationskoeffizient r zwischen den Algenbiovolumina an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) in den heißen Jahren 1988-1990 - vollständige: Anhang: Tab. T8 (Datenquelle: LUNG).....	62
Tab. 17:	Korrelationskoeffizient r zwischen den Algenbiovolumina an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) in den sehr kalten Jahren 1993, 1996 und 1997- vollständige: Anhang: Tab. T9 (Datenquelle: LUNG).....	63
Tab. 18:	Korrelationskoeffizient r zwischen den Algenbiovolumina an der Station Oderbucht 4 (OB4) in den heißen Jahren 1988-1990 -vollständige: Anhang: Tab. T10 (Datenquelle: LUNG).....	65
Tab. 19:	Auftreten (BV > 0,001 mm <sup>3</sup> /l) der Algenarten <i>Carteria spec.</i> , <i>Monoraphidium contortum</i> , <i>Skeletonema costatum</i> , <i>Scenedesmus spinosus</i> an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) und an der Station Oderbucht 4 (OB4) (Datenquelle: LUNG).....	69

## Tabellen im Anhang

- Tab. T1: Abweichungen vom Mittelwert der Salinität (KHM: 1,5 PSU; OB4: 6,7 PSU) in den Jahren 1976 bis 2004 sehr hohe Salinität  $x \geq 1,5$ ; hohe Salinität  $1,49 \geq x \geq 0,5$ ;  $\emptyset -0,49 \geq x \leq 0,49$ ; niedrige Salinität  $-0,5 \geq x \geq -1,49$ ; sehr niedrige Salinität  $x \leq -1,5$ ; Lücken-fehlende Daten (Datenquelle: LUNG)
- Tab. T2: Abweichungen von dem Mittelwert der Lufttemperatur in den Jahren 1976 bis 2004 heiß  $x \geq 2$ ; sehr warm  $1,9 \geq x \geq 1,5$ ; warm  $1,49 \geq x \geq 0,5$ ;  $\emptyset 0,49 \geq x \geq -0,49$ ; kühl  $-1,49 \leq x \leq -0,5$ ; kalt  $-1,9 \leq x \leq -1,5$ ; sehr kalt  $x \leq -2$ ; Lücken-fehlende Daten (Datenquelle: DWD)
- Tab. T3: Auftreten der Algen ( $BV > 0,001 \text{ mm}^3/\text{l}$ ) an der Station KHM vom Winter 1986/1987 bis Herbst 2004 (Datenquelle: LUNG)
- Tab. T4: Auftreten der Algen ( $BV > 0,001 \text{ mm}^3/\text{l}$ ) an der Station OB4 vom Winter 1985/1986 bis Herbst 2004 (Datenquelle: LUNG)
- Tab. T5: Zusammenfassung des Salinitäts- [PSU] und Temperaturbereiches [°C] bei den Algen der Station Kleines Haff Mitte (KHM) mit einem Biovolumen  $> 1,0 \text{ mm}^3/\text{l}$  und der Station Oderbucht 4 (OB4) mit einem Biovolumen  $> 0,5 \text{ mm}^3/\text{l}$  (Datenquelle: LUNG)
- Tab. T6: Korrelationen der Algenbiovolumina und der abiotischen Parameter an der Station KHM von 1987 bis 2004 -grau: Korrelation mit vorhandener Signifikanz; Lücken- keine Biovolumina während der Messung der Sonnenscheindauer (Datenquelle: LUNG)
- Tab. T7: Korrelationen der Algenbiovolumina und der abiotischen Parameter an der Station OB4 von 1986 bis 2004, - gau: Korrelation mit vorhandener Signifikanz; Lücken- keine Biovolumina während der Messung der Sonnenscheindauer (Datenquelle: LUNG)
- Tab T8: Korrelationen der Algenbiovolumina und der abiotischen Parameter an der Station KHM in den temperaturüberdurchschnittlichen Jahren 1988 bis 1990 -grau: Korrelation mit vorhandener Signifikanz, Lücken- traten keine Biovolumina während der Messung auf bzw. Daten der Sonnenscheindauer erst ab 1992 vorhanden (Datenquelle: LUNG)
- Tab. T9: Korrelationen der Algenbiovolumina und der abiotischen Parameter an der Station KHM innerhalb der temperaturunterdurchschnittlichen Jahre 1993, 1996 und 1997 -grau: Korrelation mit vorhandener Signifikanz; Lücken- traten keine Biovolumina während der Messung auf bzw. Daten der Sonnenscheindauer erst ab 1992 vorhanden (Datenquelle: LUNG)
- Tab. T10: Korrelationen der Algenbiovolumina und der abiotischen Parameter an der Station OB4 in den temperaturüberdurchschnittlichen Jahren 1988 bis 1990 -grau: Korrelation mit vorhandener Signifikanz; Lücken- traten keine Biovolumina während der Messung auf bzw. Daten der Sonnenscheindauer erst ab 1992 vorhanden (Datenquelle: LUNG)
- Tab. T11: Korrelationen der Algenbiovolumina und der abiotischen Parameter an der Station OB4 in den temperaturunterdurchschnittlichen Jahren 1993, 1996 und 1997 -grau: Korrelation mit vorhandener Signifikanz; Lücken- traten keine Biovolumina während der Messung auf (Datenquelle: LUNG)

# Abbildungsverzeichnis

## Abbildungen im Text

Abb. 1:	Das Oderhaff mit Peenestrom, Swina und Dziwna sowie den großen einmündenden Fließgewässern, Station OB4 in der Oderbucht und Station KHM im Kleinen Haff (Rödiger 2004) .....	4
Abb. 2:	Salinitäten der Stationen KHM und OB4 mit ihrem errechneten Durchschnitt (Datenquelle: LUNG) und Oderzufluss (Datenquelle: Moneris- Behrendt).....	11
Abb. 3:	durchschnittlicher Jahresgang in der Salinität an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) und Oderbucht 4 (OB4) mit ihren Stabw. im Zeitraum 1976 bis 2004.....	13
Abb. 4:	Sonnenscheindauer an der Wetterstation in Ückermünde von 1992 bis 2004 Durchschnittswerte des Monats (Linie); Abweichung des Monats vom Durchschnittswert aller Monate (Balken) (Datenquelle: DWD).....	14
Abb. 5:	Wassertemperatur von KHM und OB4 (LUNG) und Lufttemperatur in Ückermünde (Datenquelle: DWD).....	14
Abb. 6:	Wassertemperatur (Linie) am Kleinen Haff Mitte (KHM) und ihre Abweichung (Balken) vom monatlichen Durchschnitt (Datenquelle: LUNG) .....	15
Abb. 7:	Wassertemperatur (Linie) an der Oderbucht 4 (OB4) und ihre Abweichung (Balken) vom monatlichen Durchschnitt (Datenquelle: LUNG).....	15
Abb. 8:	Windgeschwindigkeit [m/s] an der Wetterstation in Ückermünde von 1976 bis 2004; Wert des Monats (Linie); Abweichung des Monats vom Durchschnittswert aller Monate (Balken) (Datenquelle: DWD).....	16
Abb. 9:	Jahresgang von den Nährstoffen Silikat, anorg. Stickstoff und anorg. Phosphor als Mittel der Jahre 1976 bis 2004 in der Station KHM (Datenquelle: LUNG).....	17
Abb. 10:	Jahresgang von den Nährstoffen Silikat, anorg. Stickstoff und anorg. Phosphor als Mittel der Jahre 1976 bis 2004 an der Station OB4 (Datenquelle: LUNG).....	17
Abb. 11:	gemessene Phosphatwerte (Linie) an der Station KHM und die relative Abweichung (Balken) des betreffenden Monats zum ermittelten Mittelwert im Zeitraum 1978-2004 (Datenquelle: LUNG) und die Phosphateinträge aus der Oder von 1976 bis 2004 (von Moneris- Behrendt).....	20
Abb. 12:	gemessenen Phosphorwerte (Linie) an der Station OB4 und die relative Abweichung (Balken) des betreffenden Monats zum ermittelten Mittelwert im Zeitraum 1978-2004 (Datenquelle: LUNG) .....	21
Abb. 13:	Jahresdurchschnitt (1976 bis 2004) des Oderzuflusses und die Gesamtstickstoffmenge in der Oder (Datenquelle: Moneris- Behrendt).....	22
Abb. 14:	obere Abb. gelöste anorg. Stickstoffkonzentration an den Stationen KHM und OB4 in den Jahren 1976 bis 2004 (Datenquelle: LUNG) untere Abb. Stickstoffeinträge aus der Oder in das Oderhaff von den Jahren 1976 bis 2002 (Datenquelle: Moneris- Behrendt).....	23
Abb. 15:	Silikatkonzentration vor der Frühjahrsblüte (Balken) und nach der Frühjahrsblüte (Linie) an der Station OB4 (Datenquelle: LUNG).....	24
Abb. 16:	Silikatkonzentration vor der Frühjahrsblüte (Balken) und nach der Frühjahrsblüte (Linie) an der Station KHM (Datenquelle: LUNG).....	24
Abb. 17:	gemessenen Silikatkonzentrationen (Linie) an der Station KHM und die relative Abweichung (Balken) des betreffenden Monats zum ermittelten Mittelwert im Zeitraum 1978-2004 (Datenquelle: LUNG).....	25
Abb. 18:	gemessenen Silikatkonzentrationen (Linie) an der Station OB4 und die relative Abweichung (Balken) des betreffenden Monats zum ermittelten Mittelwert im Zeitraum 1978-2004 (Datenquelle: LUNG).....	26
Abb. 19:	Darstellung der Sichttiefe (ST) und des Chlorophyll a-Gehaltes ( Chla) an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) und an der Station Oderbucht 4 (OB4) im Zeitraum 1976 bis 2004 (Datenquelle: LUNG).....	28

Abb. 20:	Entwicklung des Gesamtphytoplanktonbiovolumens an den Stationen Kleines Haff Mitte (KHM) und Oderbucht 4 (OB4); Gesamtbiovolumen ist die Summe aus dem Biovolumen der Bacillario-, Cyano-, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae und sonstigen Algen (Datenquelle: LUNG).....	29
Abb. 21:	Oderzufluss und das Biovolumen der Chlorophyceae an der Station KHM im Zeitraum 1987 bis 2002 (Datenquelle: LUNG & Moneris-Behrendt).....	33
Abb. 22:	Jahresgang in den Stationen KHM als Durchschnitt der Jahre 1987-2004 der 5 wichtigsten Algengruppen (Cyanobakteria Bacillario-, Chloro-, Dino-, und Cryptophyceae) (Datenquelle: LUNG).....	42
Abb. 23:	Jahresgang in den Stationen OB4 als Durchschnitt der Jahre 1986-2004 der 5 wichtigsten Algengruppen (Cyanobakteria Bacillario-, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae) (Datenquelle: LUNG) .....	42
Abb. 24:	Vergleich von der DIN- Konzentration (schwarz) und dem Biovolumen der Cyanobakteria (grau) im gemittelten Jahresverlauf von 1987-2004 an der Station KHM (Datenquelle: LUNG).....	45
Abb. 25:	Vergleich von der DIN- Konzentration (schwarz) und dem Biovolumen der Cyanobakteria (grau) im gemittelten Jahresverlauf von 1986-2004 an der Station OB4 (Datenquelle: LUNG).....	45
Abb.: 26:	Jahresgang der Algenklassen Bacillariophyceae, Cyanobakterien, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae an der Station KHM im Jahr 1998 (Datenquelle: LUNG).....	73
Abb. 27:	Jahresgang der Algenklassen Bacillariophyceae, Cyanobakterien, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae an der Station KHM im Jahr 1999 (Datenquelle: LUNG).....	74
Abb. 28:	Jahresgang der Algenklassen Bacillariophyceae, Cyanobakterien, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae an der Station OB4 im Jahr 1998 (Datenquelle: LUNG).....	74
Abb. 29:	Jahresgang der Algenklassen Bacillariophyceae, Cyanobakterien, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae an der Station OB4 im Jahr 1999 (Datenquelle: LUNG).....	74
Abb.30:	<i>Woronichinia compacta</i> , <i>Stephanodiscus hantzschii</i> und <i>Chroomonas spec.</i> an der Station KHM und OB4 im Untersuchungszeitraum 1986 (OB4) bzw. 1987 (KHM) bis 2004 (Datenquelle: LUNG).....	77
Abb. 31:	prozentualer Anteil der Chlorophyceae an der Station KHM und OB4 im Untersuchungszeitraum 1986 (OB4) bzw. 1987 (KHM) bis 2004 (Datenquelle: LUNG).....	78
Abb. 32:	Oderzufluss und seine DIN-Konzentration von 1986 bis 2004.....	78

## Abbildungen im Anhang

Abb. A1:	Entwicklung der Bacillariophyceae an der Station im Kleinen Haff (KHM) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)
Abb. A2:	Entwicklung der Cyanobakterien an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)
Abb. A3:	Entwicklung der Chlorophyceae an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)
Abb. A4:	Entwicklung der Dinophyceae an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)
Abb. A5:	Entwicklung der Cryptophyceae an der Station KHM Mitte (KHM) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)
Abb. A6:	Entwicklung der „sonstigen“ Algen an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)
Abb. A7:	Entwicklung der Bacillariophyceae an der Station Oderbucht 4 (OB4) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)
Abb. A8:	Entwicklung der Cyanobakteria an der Station Oderbucht 4 (OB4) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)
Abb. A9:	Entwicklung der Chlorophyceae an der Station Oderbucht 4 (OB4) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)

- Abb. A10: Entwicklung der Dinophyceae an der Station Oderbucht 4 (OB4) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)
- Abb. A11: Entwicklung der Cryptophyceae an der Station Oderbucht 4 (OB4) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)
- Abb. A12: Entwicklung der „sonstigen“ Algen an der Station Oderbucht 4 (OB4) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)
- Abb. A13: saisonale Verteilung der Algenklassen (Bacillariophyceae, Cyanobakteria, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae sowie sonstige Algen) an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) in den heißen Jahren 1988-1990 (Datenquelle LUNG)
- Abb. A14: saisonale Verteilung der Algenklassen (Bacillariophyceae, Cyanobakteria, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae sowie sonstige Algen) an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) in den sehr kalten Jahren 1993, 1996 und 1997 (Datenquelle: LUNG)
- Abb. A15: saisonale Verteilung der Algenklassen (Bacillariophyceae, Cyanobakteria, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae sowie sonstige Algen) an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) in den temperaturdurchschnittlichen Jahren 2001 und 2004 (Datenquelle: LUNG)
- Abb. A16: Algenverteilung im Winter an der Station KHM von 1987 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)
- Abb. A17: Algenverteilung im Frühjahr an der Station KHM von 1987 bis 2004 (Datenquelle LUNG)
- Abb. A18: Algenverteilung im Sommer an der Station KHM von 1987 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)
- Abb. A19: Algenverteilung im Herbst an der Station KHM von 1987 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)
- Abb. A20: saisonale Verteilung der Algenklassen (Bacillariophyceae, Cyanobakteria, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae sowie sonstige Algen) an der Station Oderbucht 4 (OB4) in den heißen Jahren 1988 bis 1990 (Datenquelle: LUNG)
- Abb. A21: saisonale Verteilung der Algenklassen (Bacillariophyceae, Cyanobakteria, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae sowie sonstige Algen) an der Station Oderbucht 4 (OB4) in den sehr kalten Jahren 1993, 1996 und 1997 (Datenquelle: LUNG)
- Abb. A22: saisonale Verteilung der Algenklassen (Bacillariophyceae, Cyanobakteria, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae sowie sonstige Algen) an der Station Oderbucht 4 (OB4) in den temperaturdurchschnittlichen Jahren 2001 und 2004 (Datenquelle: LUNG)
- Abb. A23: Algenverteilung im Winter an der Station OB4 von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)
- Abb. A24: Algenverteilung im Frühjahr an der Station OB4 von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)
- Abb. A25: Algenverteilung im Sommer an der Station OB4 von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)
- Abb. A26: Algenverteilung im Herbst an der Station OB4 von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)

## Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
Abb.	Abbildung
Aug	August
Bsp.	Beispiel
BV	Biovolumen
bzw.	beziehungsweise
°C	Grad Celsius
ca.	zirka
d	Tag
Dez	Dezember
d.h.	das heißt
DIN	gelöster anorganischer Stickstoff (Dissolved Inorganic Nitrogen)
DIP	gelöster anorganischer Phosphor (Dissolved Inorganic Phosphorus)
EMEP	Co-Operative Programm for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollution in Europe
et al.	und andere
etc.	et cetera
Feb	Februar
FFH	Fauna-Flora-Habitat
grad	Grad
h	Stunde
Helcom	Helsinki Commission (Kommission zum Schutz der Meeresumwelt der Ostsee)
ICPP	Intergovernmental Panel on Climate Change
Jan	Januar
Jun	Juni
Jul	Juli
KHM	Kleines Haff Mitte
l	Liter
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser

LUNG	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg Vorpommern
m	Meter
Mrz	März
Nov	November
MW	Mittelwert
n	Anzahl der Proben
OB4	Oderbucht 4
Okt	Oktober
p	Signifikanz
PO4-P	Phosphat (entspricht DIP)
PSU	praktische Salzgehaltseinheit (Practical Salinity Unit)
r	Korrelationskoeffizient
Q	Abfluss
Sep	September
SiO4-Si	Silikat
sm	Seemeile/ nautische Meile (entspricht 1,85201 km)
Stabw	Standardabweichung
t	Tonne
Tab.	Tabelle
TN	Gesamtstickstoff (Total Nitrogen)
TP	Gesamtphosphor (Total Phosphorus)
u.a.	unter anderem
UNEP	United Nations Environment Programm
vgl.	Vergleich
WMO	World Meteorological Organization
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
z. B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil





## 1. Einleitung

Die Wasserqualität der Ostsee ist in den letzten 100 Jahren durch verschiedene Faktoren, wie die Industrialisierung, den technischen Fortschritt und das Bevölkerungswachstum stark in Mitleidenschaft gezogen worden. Eines der größten Probleme stellt in diesem Zusammenhang der Eintrag von Schadstoffen und Nährstoffen durch die Flüsse dar. Allein die Oder und ihr Einzugsgebiet mit 13 Millionen Einwohnern transportierte zwischen 1976 und 1988 6227 t Stickstoff/Monat und 164 t Phosphat/Monat (Datenquelle: Moneris) in die Ostsee. Diese hohe Nährstofflast führte zu einer starken Eutrophierung<sup>1</sup> der Ostsee, insbesondere der Küstengewässer, wie den Bodden und den Haffs. Vor allem im Hinblick auf die bedeutende Funktion des Oderhaffs als Filter, Transformator und Senke beim Stofftransport zwischen der Oder und der Ostsee sind diese Veränderungen alarmierend.

Bereits in den 70er Jahren wurde die Verschmutzung in der Ostsee und ihren Küstengewässern durch vermehrte Algenblüten und den damit einhergehenden Sauerstoffmangel mit Fischsterben offensichtlich. Dieser Umstand und die Einsicht der Staaten Verbesserungen herbeizuführen, mündete im Jahr 1974 in der Gründung der Helsinki Kommission, an der alle Ostseeanrainerstaaten und die EU beteiligt sind. Ihr Ziel ist es die marine Umwelt vor allen Quellen der Verschmutzung zu schützen und eine Reduktion der Nährstofffrachten von bis zu 50 % zu erreichen (Helcom 1988). Im Fall der Oder konnte bei der Einleitung von Phosphat nur annähernd dieses Ziel erreicht werden. So betragen im Jahr 2000 die Phosphatfrachten der Oder 88 t/Monat und die Stickstofffrachten 4254 t/Monat.

Um die Wasserqualität in den Binnengewässern und somit auch in der Ostsee zu verbessern wurde vom Europäischen Parlament und vom Rat der Europäischen Union eine Richtlinie zur „Schaffung eines Ordnungsrahmens für die Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik“ (2000/60/EG) erlassen. Diese Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) trat am 22.12.2000 in Kraft. Das Ziel dieser Richtlinie ist, einen guten ökologischen Zustand aller Gewässer bis zum Jahr 2015 zu erreichen (WRRL, Annex 4). Im Oderästuar hat dieses Ziel auch eine große ökonomische Bedeutung, da mit der starken Verschmutzung der

---

<sup>1</sup> Eutrophierung: durch erhöhte Nährstoffbelastung kommt es zu erhöhtem Algenwachstum und daraus negativen Effekten für das Ökosystem, wie starke Trübung, Sauerstoffzehrung am Boden und vermehrtem Auftreten von Algenblüten sowie verringertem Makrophytenbewuchs

Gewässer und der damit einhergehenden schlechten Badequalität auch Tourismuszahlen sinken.

Für die Bewertung des ökologischen Zustandes der Küstengewässer fordert die WRRL die Verbreitung und Zusammensetzung der biologischen Komponente, wie das Phytoplankton<sup>2</sup>, heranzuziehen (WRRL, Annex V 1.1.4.).

Das Phytoplankton sind mikroskopisch kleine Algen, die freischwebend im Wasser leben. Es eignet sich aufgrund der schnellen Wachstumsraten besonders gut für die Untersuchungen der Wasserqualität, da es Belastungsimpulse sehr gut anzeigt und unmittelbar auf Nährstoffeinträge mit Biomassezuwachs bzw. einer taxonomischen Änderung reagiert (Heiskanen et al. 2005).

Die Algenentwicklung im Kleinen Haff und der Oderbucht wurde bisher nicht in diesem Umfang und auch nicht über einen Zeitraum von fast 20 Jahren betrachtet. Bisherige Arbeiten zum Phytoplankton in dieser Region wurden über den Greifswalder Bodden (Schmidt) oder über einen kürzeren Betrachtungszeitraum (Schernewski & Wielgat, LUNG) geschrieben.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht darin, die Entwicklung des Phytoplanktons im Oderästuar zu analysieren und zu bewerten. Vom Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG) in Mecklenburg Vorpommern wurden die Phytoplanktondaten geliefert. Folgende Fragestellungen wurden im Rahmen dieser Arbeit diskutiert:

- Wie ist die Entwicklung des Biovolumens der Algen von 1986 bis 2004?
- Worin unterscheidet sich der Jahresgang der Algen an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) und an der Station Oderbucht 4 (OB4) und wodurch wird er beeinflusst?
- Gibt es Korrelationen zwischen Algen und abiotischen Faktoren?
- Sind Unterschiede in der Diversität und der Abundanz zwischen Jahren mit unterschiedlichen Temperaturen vorhanden?
- Wie wird sich die Entwicklung in den nächsten Jahren fortsetzen?
- Wird die Entwicklung der Wasserrahmenrichtlinie folgen?

---

<sup>2</sup> Phytoplankton: Gesamtheit der im Wasser resuspendierten mikroskopisch kleinen Algen (Wasmund et al. 2002)

So ist es gerade für dieses stark eutrophierte Gewässer von großer Bedeutung die Veränderungen über einen langen Zeitraum nachzuvollziehen, damit die Verbesserungen in bezug auf den Trophiestand aufgezeigt werden können.

## 2. Untersuchungsgebiet und Methoden

### 2.1. Untersuchungsgebiet

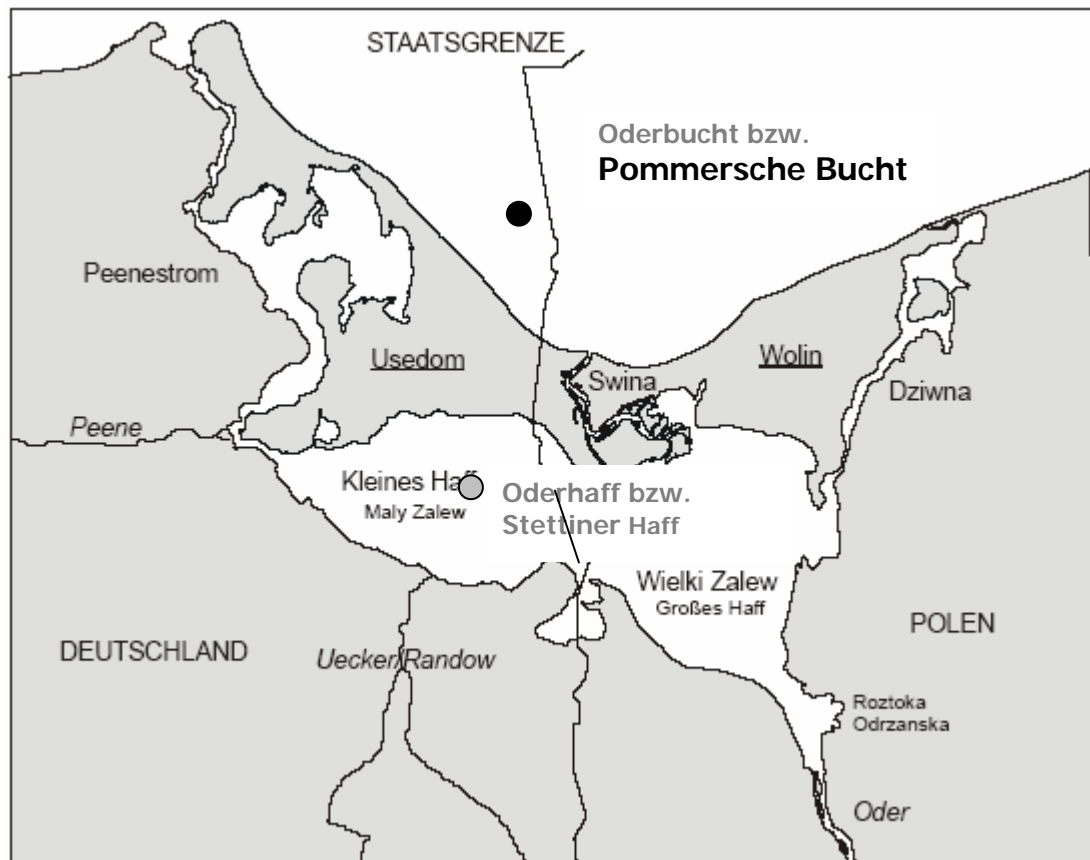


Abb. 1: Das Oderhaff mit Peenestrom, Swina und Dziwna sowie den großen einmündenden Fließgewässern ● Station OB4 in der Oderbucht; ○ Station KHM im Kleinen Haff (Rödiger 2004)

Das Kleine Haff und die Oderbucht bzw. Pommersche Bucht sind ein Teil des Oderästuars in der südlichen Ostsee und werden maßgeblich durch die Oder beeinflusst. Das Oderhaff, auch Stettiner Haff genannt, ist in zweierlei Hinsicht ein Grenzgewässer (Abb. 1) - zum einen als Übergangsgewässer zwischen Flüssen und der Ostsee und zum anderen politisch. Das Oderhaff untergliedert sich in das „Wielki Zalew“ (Große Haff) auf polnischer sowie dem Kleinen Haff („Maly Zalew“) auf deutscher Seite.

Die Oder mündet ins Oderhaff und anschließend in die Oderbucht. Die Oder, mit einem Einzugsgebiet von rund 120.000 km<sup>2</sup>, führt eine Wassermenge von 16,8 km<sup>3</sup>/a (Tab. 1). Während die Nitratkonzentration zwischen 1986 und 1998 stabil bei 2,5 mg/l lag, trat bei der Phosphorkonzentration eine Senkung auf. So wurde 1986 eine Phosphatkonzentration von 0,2 mg/l und 1998 nur noch ein Wert von 0,08 mg/l gemessen (Helcom 2002). Die

Oder war zwischen 1994 und 1998 für 10 % aller Phosphor und Nitrateinträge in die Ostsee verantwortlich (Helcom 2002).

Tab. 1: Überblick der einmündenden Fließgewässer in das Oderhaff mit ihren mittleren Abflussmengen – (Daten nach Helcom 1998, nach Wielgat und Schernewski 2005)

Einmündene Fließgewässer	Einzugsgebiet [km <sup>2</sup> ]	Mittlerer Abfluss (MQ) [m <sup>3</sup> /s]
Oder	118861	530 (Mittel: 1951-1990)
Peene	5110	24 (Mittel: 1955-1995)
Uecker	2410	8,2 (Mittel: 1964-1995)
Zarow	748	2,8 (Mittel: 1974-1995)

Die Tiefenverteilung ist in beiden Abschnitten des Oderhaffs ähnlich. Im Durchschnitt beträgt die Tiefe im Kleinen Haff 3,7 m bzw. 3,8 m im Großen Haff (Tab. 2). Das Kleine Haff nimmt mit einer Fläche von 277 km<sup>2</sup> (Meyer et al. 1998) 40 % des Oderhaffs ein (Tab. 2). Im zentralen Bereich weist das Gewässer lediglich eine Tiefe von bis zu 7,8 m auf, womit in diesem relativ flachen Wasserkörper eine Wasserschichtung in der Regel nicht vorhanden ist (Wielgat und Schernewski 2005). Die Aufenthaltszeit des Wassers im Kleinen Haff beträgt 55 Tage, d.h. sechs bis sieben Mal pro Jahr erfolgt ein Wasseraustausch (Stankiewicz 2002). Das Wasser des Kleinen Haffs wird zu 70-80 % aus dem Großen Haff eingetragen. Weniger als zehn Prozent wird das Oderhaff von den Zuflüssen der Peene, Uecker und Zarow beeinflusst, so dass diese Flüsse nur lokal auf das Oderhaff wirken. Die restlichen 10 bis 20 % sind Einträge aus der Ostsee (Meyer, et al. 1998).

Tab. 2: Fläche, mittlere Tiefe und das Volumen des Oderästuars, Oderhaffs und des Kleinen Haffs (nach Meyer 1998)

	Fläche [km <sup>2</sup> ]	mittlere Tiefe [m]	Volumen [km <sup>3</sup> ]
Oderästuar gesamt	1360,8	4,4	5972
Oderhaff gesamt	686,9	3,8	2583
Kleines Haff	277,3	3,7	1026

Die Oderbucht hat eine Durchschnittstiefe von 14 m und eine maximale Tiefe von 20 m (Fenske et al. 2001). Sie wird zum einen durch den Ausstrom des Wassers vom Oderhaff und durch die Ostsee beeinflusst. Das Wasser zwischen Oderhaff und Oderbucht wird durch drei Flüsse reguliert. 70-80 % des Wasseraustausches wird durch die Swina und

jeweils 10-15 % werden durch den Peenestrom und die Dziwna bestimmt (Buckmann et al. 1998). Pro Jahr werden cirka 18 km<sup>3</sup> Wasser durch das Oderhaff in die Bucht eingeleitet (Tab. 1). Die Aufenthaltszeit des Wassers in der Oderbucht ist bedeutend kürzer als die im Kleinen Haff, da die offene geographische Lage Austauschprozesse begünstigt. Zudem ist die Oderbucht gut durchmischt und somit kein Ablagerungsgebiet (Wasmund et al. 2000).

## 2.2. Datengrundlage und Methoden

In dieser Diplomarbeit wurde anhand der abiotischen Daten und Phytoplanktondaten exemplarisch für das Kleine Haff an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) und für die Oderbucht an der Station Oderbucht 4 (OB4) (Tab. 3) die Entwicklung des Phytoplanktons unter Einbeziehung der meteorologischen Daten der Wetterstation in Ückerkmünde analysiert.

Tab. 3: Geographische Lage, Wassertiefe [m] und durchschnittliche Salinität [PSU] von den Stationen Kleines Haff Mitte und Oderbucht 4 (nach Heiskanen et al. 2005)

	<b>Kleines Haff Mitte (KHM)</b>	<b>Oderbucht 4 n. Ahlbeck (OB4)</b>
<b>Nördliche Breite</b>	53°49,5'	54°00,4'
<b>Östliche Länge</b>	14°06,0'	14°14,0'
<b>Wassertiefe [m]</b>	5	12
<b>Durchschnittlicher Salzgehalt [PSU]</b>	1,5 (β-oligohali <sup>4</sup> )	6,7 (β-mesohalin <sup>5</sup> )

Die hydrochemischen und biologischen Daten (Tab. 4), die den Zeitraum von 1976 bis 2004 abdecken, wurden vom Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG) in Mecklenburg-Vorpommern zur Verfügung gestellt. Als Ansprechpartner diente Frau Schöppe. Die Monitoringuntersuchung vom LUNG erfolgte in der Regel ein Mal pro Monat.

Fehlende Daten waren auf wetterbedingte Ausfälle zurückzuführen, wie z. B. durch Eisgang oder starke Stürme. So erfolgte die Beprobung vor allem in den Wintermonaten unregelmäßig. Eine andere Ursache waren zudem Ausfälle des Schiffs, aufgrund notwendiger Reparaturen

<sup>3</sup> β-oligohalin: 0,5-3 PSU

<sup>4</sup> β-mesohalin: 5-10 PSU

Die Beprobung des Kleinen Haffs und der Pommerschen Bucht wurde häufig nicht am selben Tag durchgeführt. Vielmehr lagen die Messfahrten mehrere Tage auseinander, so dass der Messtag bei der Auswertung der Daten nicht berücksichtigt wurde.

Da in relativ flachen Gewässern, wie dem Kleinen Haff und der Pommerschen Bucht, die Wassersäule gut durchmischt ist, werden quantitative hydrochemische und biologische Untersuchungen (Tab. 4) aus Kapazitätsgründen auf das Oberflächenwasser in 0,5 m beschränkt (Schmidt 1997). Aus diesem Grund wurden die Phytoplanktonproben mit Hilfe des Ruttner-Wasserschöpfers und seit 2001 mittels CTD-Rosette<sup>5</sup> aus dem Oberflächenwasser entnommen. Das Phytoplanktonvolumen wurde an jodfixierten Schöpfproben durch Auszählen im Inversmikroskop<sup>6</sup> (Umkehrmikroskop) und Multiplikation der Abundanzen mit dem direkt gemessenen mittleren Artvolumen ermittelt (Schmidt 1990). Die Daten der Algenzusammensetzung liegen erst seit 1986 vor.

Zur Bestimmung des Chlorophyll a-Gehaltes pro Zelle wurde der Chlorophyll a-Gehalt durch die Zellzahl dividiert.

Tab. 4: abiotische und biotische Parameter vom LUNG (nach DIN-Norm, Vorschrift, Datenquelle: LUNG)

Parameter	Dimension	Methode
Wassertemperatur	°C	elektronische Messgeräte auf der Basis von Widerstandmessung
Salinität	PSU	Berechnung aus dem Chlorid-Gehalt; Salzgehalt = 1,80655*Chlorid(g/l)
Sichttiefe	m	Secchi-Scheibe
Phosphat	µmol l <sup>-1</sup>	0,45 µm-Filtration; photometrische Bestimmung mit Ammoniummolybat
Ammonium	µmol l <sup>-1</sup>	0,45 µm-Filtration; photometrische Bestimmung nach modifizierten Berthelot-Reaktion (automatisiert)
Nitrit	µmol l <sup>-1</sup>	0,45 µm-Filtration; photometrische Bestimmung mit 4-Aminobenzolsulfonamid und N-(1-Naphthyl)-1,2-diaminoethan-Di-hydrochlorid
Nitrat	µmol l <sup>-1</sup>	Reduktion zu Nitrit (durch Cd); anschließend Nitrit-Bestimmung
Silikat	µmol l <sup>-1</sup>	0,45 µm-Filtration; photometrische Bestimmung als Molybdatkieselsäurekomplex
Phytoplankton- biolumen	mm <sup>3</sup> l <sup>-1</sup>	Zählung im Inversmikroskop (Größenklasse und Gattung/Art)
Chlorophyll a	µg l <sup>-1</sup>	Whatman GF/F-Filter mit 90% Aceton → Spektrophotometer

<sup>5</sup> CTD- Rosette: Conductivity- Temperature- Depth Sonde und Wasserschöpfer

<sup>6</sup> Inversmikroskop OPTON Invertoskop D von der Fa. Carl Zeiss & Inversmikroskop AXIOVERT S 100 von der Fa. Carl Zeiss (Schöppe 2003)

Die meteorologischen Daten (Tab. 5) wurden zur Auswertung vom Deutschen Wetterdienst (DWD) zur Verfügung gestellt (Ansprechpartner: Frau Dziallas und Herr Walter). Für eine Charakterisierung des Wetters in den Jahren 1976 bis 2004 wurden die Parameter Lufttemperatur, Niederschlag, Windgeschwindigkeit und Sonneneinstrahlung an der meteorologischen Station 5142 in Ückermünde erfasst. Da Ückermünde von der Station KHM und OB4 nicht weit entfernt ist, kann man eine Übereinstimmung des Wetters annehmen. Die Wetterdaten wurden z. T. drei Mal täglich ansonsten ein Mal täglich erhoben (Tab. 5). Die Werte wurden zum Tageswert und anschließend zum Monatsmittelwert zusammengefasst.

Tab. 5: Wetterdaten und ihre Messmethoden (Datenquelle: DWD)

Parameter	Dimension	Methode	
Messperiode			
Lufttemperatur	°C	Thermometer in 2m Höhe	3d <sup>-1</sup>
Niederschlag	mm	Regenmesser mit Wippe	3d <sup>-1</sup>
Windgeschwindigkeit	ms <sup>-1</sup>	Schalenkreuzanemometer	dauerhaft
max. Windgeschwindigkeit	ms <sup>-1</sup>	Schalenkreuzanemometer	1d <sup>-1</sup>
Sonnenscheindauer	h	optoelektronische Sensoren	dauerhaft

Zum Vergleich der einzelnen Parameter wurde die Korrelation (r) nach Pearson bei vorhandener Signifikanz der Daten berechnet.

$$K_{\text{or}} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Dabei sind  $\bar{x}$  und  $\bar{y}$  die Stichprobenmittelwerte.

Dieser Koeffizient ist ein dimensionsloser Index mit dem Wertebereich  $-1,0 \leq r \leq 1,0$  und ein Maß dafür, inwieweit zwischen zwei Datensätzen eine lineare Abhängigkeit besteht. So zeigt der Wert  $-1$  eine umgekehrte Abhängigkeit und der Wert  $+1$  eine direkte Abhängigkeit.

Diese Methode wurde benutzt, da diese die Veränderungsrate und nicht den absoluten Wert berücksichtigt.



Zudem wurden die Abweichungen bzw. die relativen Abweichungen vom Monatsmittelwert errechnet. Die relative Abweichung stellt die prozentuale Abweichung vom Monatsmittelwert dar.

Beim Vergleich des Phytoplanktons wurden die Biovolumen der Klassen Bacillariophyceae (Kieselalgen), Cyanobakterien, Chlorophyceae (Grünalgen), Dinophyceae und Cryptophyceae in Bezug auf abiotische Parameter untersucht. Es wurde nicht die Abundanz betrachtet, da diese aufgrund von Picoplanktern selbst in oligotrophen Gewässern einen hohen Wert aufweisen kann. So ist die Abundanz nur bedingt für die Bewertung des Trophiegrades geeignet (Selig et al. 2003).

Weiterhin wurden alle Biovolumina der einzelnen Algenarten von 1986 bis 2004 auf Korrelationen untersucht, um mögliche Zusammenhänge sowohl zwischen den Wachstumsphasen der Algen als auch zwischen den einzelnen Phytoplanktonbiovolumina sowie den abiotischen Parametern finden zu können.

Für die saisonale Auswertung wurden die Daten in vier Jahreszeiten aufgeteilt. Die Monate Dezember bis Februar stellen die Wintermonate dar und die drei darauffolgenden Monate März bis Mai bezeichnen das Frühjahr. Juni bis August repräsentieren die Sommermonate und demzufolge sind die Herbstmonate September bis November.

Zur Untersuchung der Strömungen und Entwicklung der hydrochemischen und biologischen Parameter wurde für das Oderhaff das Simulationsmodell „Moneris“ (MOdeling Nutrients Emission in RIver Systems) von Behrendt et al. (1999) und für die Oderbucht das Ergom-Modell von Neuman et al. (2002) hinzugezogen.

### **3. Ergebnisse**

Für die Entwicklung des Phytoplanktons im Biovolumen sowie auch in deren Diversität sind abiotische Parameter verantwortlich. In den folgenden Kapiteln wird deshalb auf die Faktoren, Niederschlag, Verdunstung, Salzgehalt, Sonnenscheindauer, Temperatur, Wind und Nährstoffe eingegangen und untersucht, wie sie Auswirkungen auf die Algenentwicklung haben und für diese von Bedeutung sind.

#### **3.1. Niederschlag und Verdunstung**

Niederschlag und Verdunstung gehören zu den Faktoren, die indirekt Einfluss auf die Algen haben. Niederschlag kann in kleineren Gewässern den Salzgehalt, aufgrund seiner verdünnenden Wirkung, beeinflussen. Nach Untersuchungen der Niederschlagsmenge an der Wetterstation in Ückermünde und dem Salzgehalt an der Station KHM und OB4 wurde kein Zusammenhang gefunden (KHM:  $r=0,13$  und OB4:  $r=0,07$ ). So hatte die Niederschlagsmenge in Ückermünde nur sehr geringfügig Einfluss auf das Kleine Haff und die Oderbucht. Der Salzgehalt in diesen beiden Gewässern wurde vor allem durch die Ostsee und die Niederschlagsmengen im Einzugsgebiet der Oder und somit durch die Einflussmenge des Frischwassers der Oder in das Oderhaff geregelt. Die Verdunstung kann bei höheren Lufttemperaturen und Sonneneinstrahlung, wie sie in warmen Sommern vorherrschen, eine größere Bedeutung haben. So kann bei einer starken Verdunstung der Salzgehalt in den Gewässern steigen.

#### **3.2. Salinität**

Wasmund et al. schrieben (1999), dass der Salzgehalt eines der Hauptfaktoren zur Artenregulation ist.

Da in der Ostsee hohen Salinitätsschwankungen herrschen, müssen die Algen gut adaptiert sein. So hat jede Art eine unterschiedliche Toleranz in Bezug auf den Salzgehalt. Weiterhin ist besonders am Salzgehalt in Küstengewässern der Ferntransport erkennbar. So ist die Salinität an der Odermündung im Haff niedriger als im nördlichen Teil des Oderhaffs (Krzyminski et al. 2004).

Bei der Untersuchung der Salinität im Kleinen Haff und in der Oderbucht wurde eine Durchschnittssalinität errechnet. Dafür wurden die Daten von jedem Seegebiet gemittelt. Im Durchschnitt (von 1976 bis 2004) wies die Station KHM eine Salinität von 1,5 PSU auf und die Station OB4 einen Salzgehalt von 6,7 PSU (Abb. 2). Nach dem System von

Venedig ist das Wasser im Kleinen Haff mixo  $\beta$ -oligohalin und an der Station OB4 befindet sich die Salinität im mixo  $\beta$ -mesohalinen Bereich (Tab. 3).

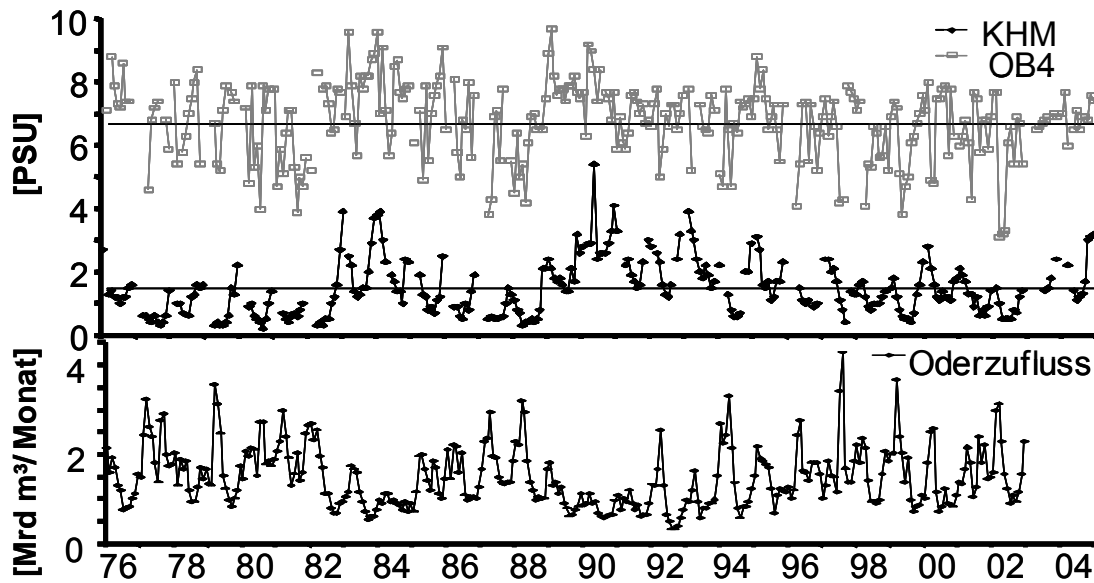


Abb. 2: Salinitäten der Stationen KHM und OB4 mit ihrem errechneten Durchschnitt (Datenquelle: LUNG) und Oderzufluss (Datenquelle: Moneris- Behrendt)

### Station Kleines Haff Mitte

An der Station KHM kann sich der Salzgehalt erhöhen, wenn Ostseewasser durch eine Nordströmung in das Haff eingetragen wird bzw. wenn eine hohe Verdunstung stattfindet. Eine Senkung der Salinität hingegen tritt bei Flusseinträgen auf oder auch bei Einträgen durch Grundwasser. Im Haff wurde aufgrund von Niederschlag keine große Salzgehaltssenkung festgestellt ( $r_{\text{sal:Ob4/Niederschlag}}: -0,17$ ;  $r_{\text{sal:KHM/Niederschlag}}: -0,13$ ).

Eine durch Verdunstung hervorgerufene Salinitätssteigerung konnte bei KHM unter anderem im Sommer 1982 festgestellt werden. Während dieser Zeit betrug die Temperatur über 20 °C und es herrschte ein Süd- bis Südostwind (Datenquelle: DWD). Diese Windrichtung hatte den Einfluss des Oderzuflusses an dieser Station zur Folge, so dass Frischwasser eingetragen wurde. Da der Salzgehalt vom Juni zum Juli 1982 um 0,2 PSU stieg trotz Frischwasserzufluss, ist dies auf Verdunstung zurückzuführen.

Der Einfluss der Ostsee konnte unter anderem im Winter 1992/1993 an dem steigenden Salzgehalt festgestellt werden. Hier waren Westwinde ausschlaggebend, die salzhaltigeres Wasser von der westlichen Ostsee erst in die Oderbucht und von dort in das Oderhaff eintrugen. So stieg der Salzgehalt im Februar 1993 bis auf 3,9 PSU (Abb. 2).

Die Einfuhr von Frischwasser konnte an der Station KHM zum Beispiel im Sommer/Herbst 1997 beobachtet werden. Am 31.7./ 1.8.1997 hatte die Oder mit 2816 m<sup>3</sup>/s einen sehr

hohen Ausfluss. An der Station KHM hatte dieser Frischwasserzufluss Anfang September seine größten Auswirkungen. So sank der Salzgehalt hier von 1,7 PSU im Juni 1997 auf 0,4 PSU im September 1997 (Abb. 2).

Die geringe Salinität im Juni 1986 lässt sich nur auf das Grundwasser zurückführen, da zum größten Teil Nordwinde vorherrschten, durch die salzreichereres Ostseewasser in das Haff transportiert wurde.

#### **Station Oderbucht 4**

An der Station OB4 konnte beobachtet werden, dass sich bei Westwindlage der Salzgehalt erhöht. Bei dieser Windrichtung wird das Wasser aus der westlichen Ostsee, das Salzwasser aus der Nordsee erhält, in die Oderbucht eingetragen. Bei Ostwinden wird hingegen das Wasser aus dem östlichen Teil der Ostsee in die Bucht geleitet, welches eine niedrigere Salinität aufweist.

Es kann aber auch Ereignisse geben, wo der Salzgehalt an der Station OB4 vom Oderhaff beeinflusst wird. Solch ein Ereignis fand zum Beispiel im Frühjahr 1987 statt. Hier wurde eine Abnahme in der Salinität auf 3,8 PSU (April 1987) verzeichnet (Abb. 2). Zu dieser Zeit war ein starker und andauernder Südwind vorhanden, so dass die Strömung des Oderhaffs die Station OB4 erreichte. Mit Hilfe des Ostseemodells „Ergom“ von Neumann konnte der Einfluss des Oderhaffs auf die Oderbucht und in diesem Fall auch auf die Station OB4 bestätigt werden. Im Frühjahr des darauffolgenden Jahres verursachten Ostwinde und der daraus entstehende Transport salzärmeren Wassers eine Senkung im Salzgehalt (Abb. 2 & Anhang: Tab. T1). Auch hier bestätigte das Ergom-Modells diesen Einfluss. Sehr hohe Salinitäten, wie sie in den Wintern 1984, 1989, in den Frühjahren 1976, 1982 und 1990 und im Herbst 1983 vorkamen (Anhang Tab. 1) wurden durch Strömungen aus der westlichen Ostsee verursacht. Ihr lag ein Westwind zugrunde.

Als Resümee konnte kein langfristiger Trend festgestellt werden. An diesen beiden Stationen KHM und OB4 sind die durchschnittlichen Jahregänge verschieden. So ist zwischen diesen beiden Stationen in der Salinität kein Zusammenhang erkennbar ( $r=0,3$ ). An der Station KHM ist eine Senkung der Salinität im Frühjahr und Sommer und eine Steigerung im Herbst und Winter zu erkennen. Die Salinität an der Station OB4 hingegen ist sehr unterschiedlich, was auf die wechselnden Einflüsse durch Winde und die offene Lage zurückzuführen ist (Abb. 3).

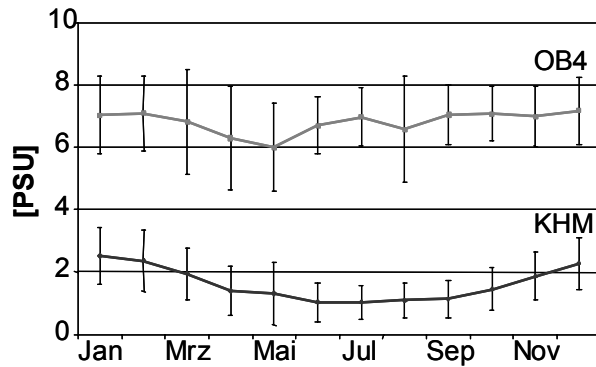


Abb. 3:  
 durchschnittlicher Jahresgang in der  
 Salinität an der Station Kleines Haff  
 Mitte (KHM) und Oderbucht 4 (OB4)  
 mit ihren Stabw. im Zeitraum 1976 bis  
 2004

Zudem sind die Salinitätsunterschiede in der Oderbucht größer als im Oderhaff. So wurden an der Station OB4 Abweichungen von  $-3,52$  PSU (Frühjahr 2002) bis  $2,15$  PSU (Frühjahr 1990) vom Mittelwert berechnet. Auf Grund der fast geschlossenen Lage des Oderhaffs konnten an der Station KHM nur Abweichungen von  $-1,12$  PSU (Sommer 1979) bis  $2,45$  PSU (Winter 1993) vom Mittelwert festgestellt werden.

### 3.3. Sonnenscheindauer

Die Sonnenscheindauer ist ein weiterer wichtiger abiotischer Faktor, der für die Erwärmung der Luft und Gewässer, sowie für die Photosynthese durch die Pflanzen, von Bedeutung ist. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Sonnenscheindauer die Erwärmung der Luft beeinflusst hat ( $r = 0,8$ ). Bei der Wassertemperatur korrelieren beide Größen ebenfalls mit der Sonnenscheindauer. Der Korrelationskoeffizient zwischen der Sonnenscheindauer und der Wassertemperatur des Kleinen Haffs beträgt  $0,77$  und der der Oderbucht  $0,71$ . Der Unterschied bei der Erwärmung zwischen Luft und Wasser liegt in der hohen spezifischen Wärmekapazität des Wassers. Das Wasser des Kleinen Haffs wird aufgrund der geringeren Tiefe schneller durch die Sonne erwärmt als das Wasser der Oderbucht.

Die Sonnenscheindauer pro Tag erreichte im mittleren Jahresverlauf von 1992 bis 2004 ihren Höhepunkt im Mai ( $7,6$  h/d), wobei ebenso die Monate Juli und August mit  $7,4$  h/d bzw.  $7,5$  h/d sehr viele Stunden Sonnenschein aufwiesen (Abb. 4). Im Juni, in dem die Sommersonnenwende stattfindet, betrug die durchschnittliche Sonnenscheindauer nur rund  $7$  h/d. In den Sommermonaten konnte aufgrund der hohen Einstrahlung und der höheren Temperatur eine Verdunstung in den Gewässern stattfinden. Die Monate November bis Januar wiesen mit rund  $1-1,5$  h/d die geringste Sonnenscheindauer auf (Abb. 4).

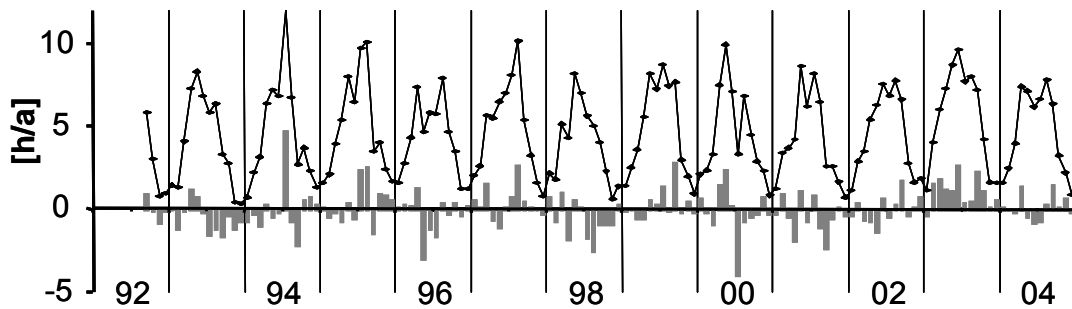


Abb. 4: Sonnenscheindauer an der Wetterstation in Ückermünde von 1992 bis 2004 Durchschnittswerte des Monats (Linie); Abweichung des Monats vom Durchschnittswert aller Monate (Balken) (Datenquelle: DWD)

### 3.4. Temperatur

Als vierter Faktor wurde die Wassertemperatur untersucht. Podsetchine et al. (2004) schrieben, dass die Wassertemperatur eine der wichtigsten Parameter ist, da sie viele Prozesse, wie z. B. das Wachstum der Algen beeinflusst. So ist die Temperatur ein übergeordneter Faktor, der grundsätzlich das Vorkommen einer Art determiniert und die saisonale Dynamik reguliert.

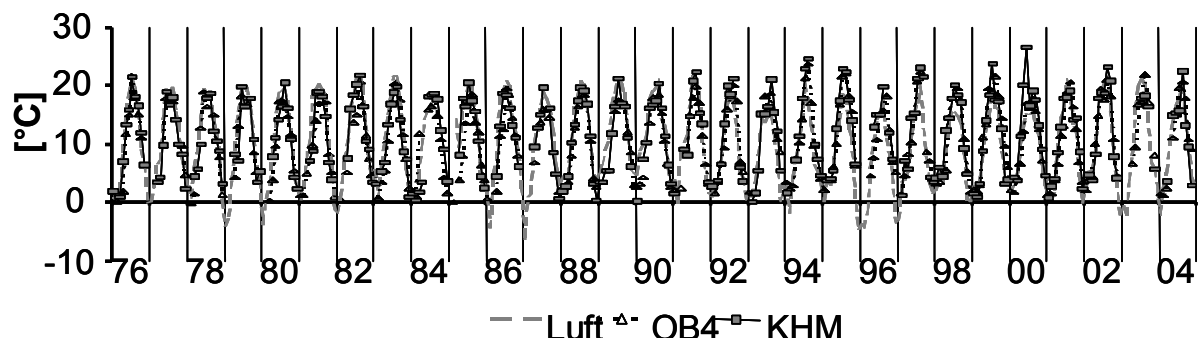


Abb. 5: Wassertemperatur von KHM und OB4 (LUNG) und Lufttemperatur in Ückermünde (Datenquelle: DWD)

Die Lufttemperatur bestimmte maßgeblich die Wassertemperatur im Oderästuar (Abb. 5) (Podsetchine et al. 2004). Eine Korrelation zwischen der Lufttemperatur und der jeweiligen Wassertemperatur der Station wies einen Koeffizienten von über 0,9 auf.

#### Wassertemperatur im Kleinen Haff

Die Wassertemperatur im zentralen Kleinen Haff war in den 70er Jahren im Vergleich zum Mittelwert von 1976 bis 2004 unterdurchschnittlich kühl. Die Jahre 1989 und 1990 waren in der Periode 1976 bis 2004, wie in Tab. T2 (Anhang) verdeutlicht, die einzigen heißen Jahre. 1988, ebenso wie noch einige andere Jahre, waren sehr warm (Anhang: Tab. T2). Von 1990 bis 2002 waren die Jahre mit ein paar Ausnahmen überdurchschnittlich warm (Abb. 6). Der Sommer hatte in dieser Periode im Durchschnitt eine Temperatur von 3-4 grad

mehr, als der langjährige Mittelwert von 1976 bis 2004 mit 19 °C. Besonders das Jahr 2000 wies im Juni mit über 26 °C eine sehr überdurchschnittliche Temperatur (>8 °C) zu den anderen Jahren auf (Abb. 6). Das Jahr 1993 wies besonders im Sommer und Herbst unterdurchschnittliche Temperaturen auf und das Jahr 1996 bildete in der Periode von 1990 bis 2002 ebenfalls eine Ausnahme (Abb. 6). So waren in diesem Jahr durchschnittlich bis 4 °C (Juni) unter dem Mittelwert liegende Temperaturen gemessen worden und sind somit als sehr kalte Jahre zu bezeichnen. Auch die Lufttemperatur war in den Jahren 1993 und 1996 sehr kalt (Meyer et. al 1998), so dass sowohl diese als auch das Jahr 1997 die einzigen Jahre waren, in denen bei der Messung der Lufttemperatur im Jahresdurchschnitt „sehr kalte“ Werte auftraten (Anhang: Tab. T2).

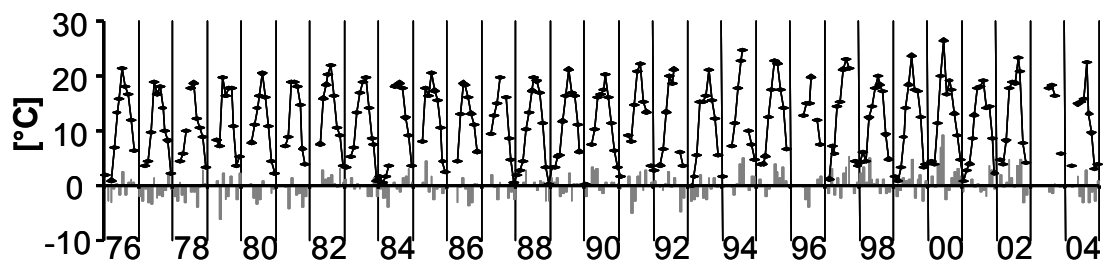


Abb. 6: Wassertemperatur (Linie) am Kleinen Haff Mitte (KHM) und ihre Abweichung (Balken) vom monatlichen Durchschnitt (Datenquelle: LUNG)

### Wassertemperatur in der Oderbucht

Die Station OB4 war im Vergleich zum Kleinen Haff durch eine langsamere Erwärmung gekennzeichnet. Im Sommer eines jeden Jahres erreichten die in der Pommerschen Bucht gemessenen Temperaturen nie die des Kleinen Haffs, welches auf die größere Tiefe und Wassermenge der Bucht zurückzuführen ist. Umgekehrt kühlte die Bucht im Gegensatz zum Kleinen Haff im Herbst auch langsamer ab, so dass im Winter auch höhere Temperaturen in der Bucht zu messen waren (Abb. 7).

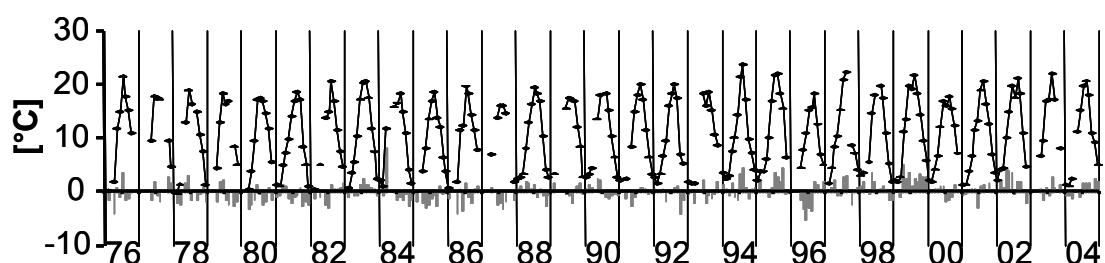


Abb. 7: Wassertemperatur (Linie) an der Oderbucht 4 (OB4) und ihre Abweichung (Balken) vom monatlichen Durchschnitt (Datenquelle: LUNG)

An der Station OB4 lag, wie im Kleinen Haff, die Wassertemperatur in den 70er Jahren unter dem ermittelten Durchschnitt von 1976 bis 2004. 1984 war ein besonders starker

Temperaturanstieg zu verzeichnen. So war der Februar mit 1 °C etwas unterdurchschnittlich und der März mit 11,8 °C um 8 grad wärmer als gewöhnlich (Abb. 7). In den Jahren 1993 und 1996 war der gesamte Jahresverlauf, wie auch schon an der Station KHM, vergleichsweise sehr kalt (Anhang: Tab. T2). 1997 war ein warmer Sommer zu verzeichnen und sonst ein durchschnittliches Jahr, obwohl bei der Lufttemperatur sehr kühle bis sehr kalte Werte gemessen wurden (Anhang: Tab. T2). Seit 1998 liegen mit ein paar Ausnahmen die Temperaturen über dem errechneten Mittelwert (Abb. 7).

Die starken Temperaturunterschiede in den Jahren hatten, wie bereits erwähnt, einen großen Einfluss auf die Zusammensetzung und die Entwicklung der Algen an den beiden untersuchten Stationen KHM und OB4 (Absatz 3.11).

### 3.5. Wind

Der fünfte hier untersuchte Parameter ist der Wind. Für die Windgeschwindigkeit wurde ein Mittelwert des Tages und daraus der Mittelwert des Monats errechnet. Die durchschnittlichen Werte lagen zwischen 3 und 4 m/s (Abb. 8). Die maximalen Monatsmittelwerte bei den Windgeschwindigkeiten lagen über 6 m/s. Im Kleinen Haff kam es zu keiner länger andauernden Stagnation der Wassersäule, da das Kleine Haff schon bei einer durchschnittlichen Windgeschwindigkeit von 4 m/s komplett durchmischt werden kann. (Tejakusuma 2004). Nur in den Sommermonaten August 1983, Juli 1989, August 1990, Juli 1991 sowie im August 2001 und August 2003 wurden diese Windgeschwindigkeiten nicht erreicht. Dieses führte für den Zeitraum von einigen Tagen zu einer Stagnation und hatte die Freisetzung von Phosphat aus dem Sediment zur Folge (siehe Abschnitt 3.6.).

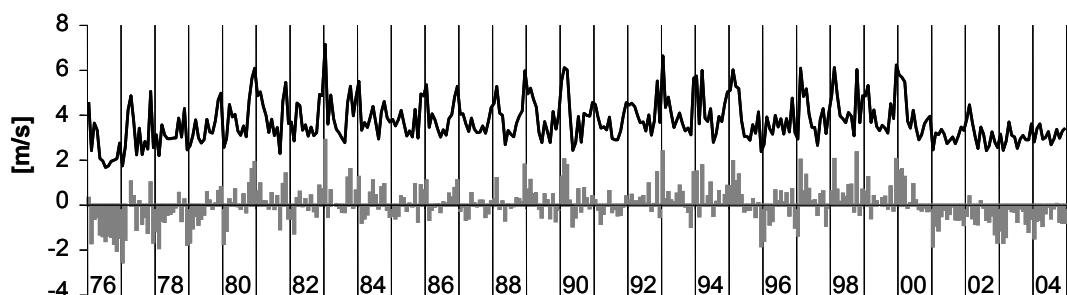


Abb. 8: Windgeschwindigkeit [m/s] an der Wetterstation in Ückerkmünde von 1976 bis 2004; Wert des Monats (Linie); Abweichung des Monats vom Durchschnittswert aller Monate (Balken) (Datenquelle: DWD)



### 3.6. Nährstoffe

Nährstoffe, als letzter hier untersuchter Parameter, haben folgende Bedeutung und Auswirkungen auf das Wasser. Mit der Entwicklung der Städte und der Industrialisierung wurden die Flüsse nicht nur zum Transport, sondern auch zur Entsorgung von häuslichen, gewerblichen und industriellen Abwässern genutzt. Die großen Nährstoffeinträge in die Flüsse hatten eine flächendeckende Wirkung auf Oberflächen- und Grundwasser (Lozán et al. 1996). Der Haupteintrag der Nährstoffe Stickstoff, Phosphor und Silikat in das Haff ist dem Oderzufluss (Gesamt-Stickstoff (TN): 170-400 mmol/m<sup>3</sup>; Gesamt-Phosphor (TP): 7-13 mmol/m<sup>3</sup>) (IMWM 1995-2000) zu zuschreiben. Zeitweilige und regional begrenzte Störungen wurden durch den Eintrag von lokalen Flüssen, wie der Ücker (TN: 100-350 mmol/m<sup>3</sup>; TP: ~5 mmol/m<sup>3</sup>) oder Peene verursacht (LaWa 2000). So ist bei Westwindlage ein Einfluss von der Peene und der westlichen Ostsee, bei Süd- bzw. Südostwindlage ein Einfluss von der Oder auf das Kleine Haff vorhanden (Tejakusama 2004). Die hohen Nährstoffkonzentrationen zu Beginn der Vegetationsperiode werden durch die erhöhten Festlandsabflüsse, gewässerinterner Mineralisierung und geringer Photosynthese verursacht (Schmidt 1999). Ab März/April, wenn das Phytoplankton auf Grund der verbesserten Licht- und Temperaturbedingungen ein erhöhtes Biovolumen bilden kann, nimmt die Konzentration der Nährstoffe durch die Konsumtion durch die Autotrophen ab (Abb. 9/10) (Schmidt 1999). Nährstoffkonzentration wird durch die Nachlieferung aus den Fließgewässern bzw. den Eintrag, den Verbrauch oder die biologische Bindung und durch den Austrag bestimmt.

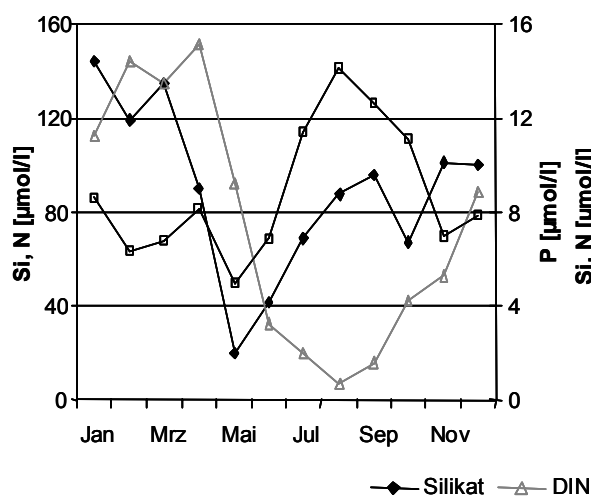


Abb. 9: Jahresgang von den Nährstoffen Silikat, anorg. Stickstoff und anorg. Phosphor als Mittel der Jahre 1976 bis 2004 in der Station KHM (Datenquelle: LUNG)

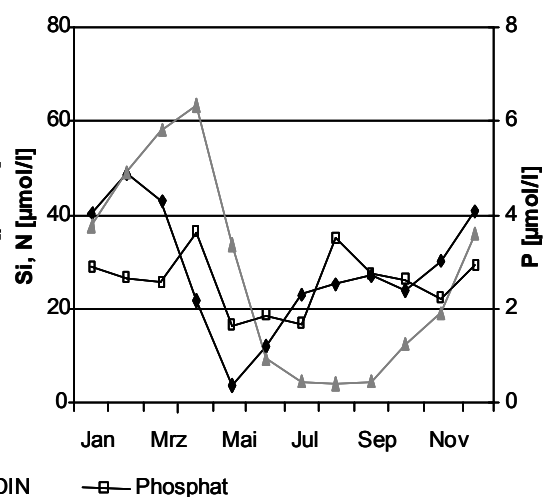


Abb. 10: Jahresgang von den Nährstoffen Silikat, anorg. Stickstoff und anorg. Phosphor als Mittel der Jahre 1976 bis 2004 an der Station OB4 (Datenquelle: LUNG)

Die in dieser Arbeit untersuchten Nährstoffe sind Phosphat, Silikat ( $\text{SiO}_4$ ) und anorganischer Stickstoff (DIP), auf die im folgenden näher eingegangen werden soll.

Die Algen benötigen vor allem Stickstoff und Phosphor zum Aufbau ihrer Zellen. Diese beiden Parameter stehen laut Redfield in einem molaren Verhältnis von 16:1. Silikat hingegen benötigen nur die Bacillariophyceae (Kieselalgen) für den Aufbau ihre Kieselsäureschalen (Strasburger 1991).

### **Phosphat**

Der erste hier aufgeführte Nährstoff ist Phosphat, welches die Algen zum Aufbau ihrer Biomasse benötigen.

Phosphate bzw. Phosphatreste sind die Salze von Phosphorsäuren. Sie spielen eine wichtige Rolle in der Biochemie, da sie am Aufbau biologisch höchst bedeutsamer Moleküle, wie z. B. dem Adenosintriphosphat (ATP) beteiligt sind.

Im Wasser und in biologischen Verbindungen liegt Phosphor als freies Orthophosphation oder als Phosphorsäureester vor. Durch Verwitterung wird verhältnismäßig wenig Phosphat frei und unter oxidativen Verhältnissen wird Phosphor an Eisen gebunden (Sommer 1998). Arten der Freisetzung sind erstens die Mineralisierung, zweitens Sedimentaufwirbelung durch Wind und drittens unter anoxischen Bedingungen, bei der das Phosphat durch Reduktion des Eisen (III)-Komplexes zum Eisen (II)-Komplex vom Eisen gelöst wird.

In Bezug auf das Phosphat wiesen das Kleine Haff und die Oderbucht folgende Besonderheit auf. Sowohl im Kleinen Haff als auch in der Oderbucht deuteten keine Werte zwischen 1976 und 2004 auf eine Phosphatlimitation hin. In der Oderbucht waren zum einen die Phosphateinträge aus dem Haff und die schnelle Mineralisierung des organischen Materials für die höheren Phosphatkonzentrationen verantwortlich. Im Kleinen Haff war ein zusätzlicher Faktor dafür die Aufwirbelung der organischen Sedimentschicht, wodurch hier wieder Phosphat in die Wassersäule gelangte. Für diesen Prozess waren Windgeschwindigkeiten von mindestens vier m/s notwendig (Tejakusuma 2004). In der Oderbucht fand keine Freisetzung von Phosphat durch Sedimentaufwirbelung statt, da sie keine organische Schicht, wie das Kleine Haff, aufwies.

Während den überdurchschnittlich warmen Sommermonaten August 1983, Juli 1989, August 1990, Juli 1991, August 2001 und August 2003 kam es im Kleinen Haff zu einem starken Anstieg der Phosphatkonzentration (Abb. 11). Ursache dafür waren die anoxischen

Bedingungen im Wasser (Bangel et al. 2001). So konnte im Gegensatz zu oxidischen Verhältnissen während Sauerstoffmangel bis zu drei Mal mehr Phosphat im Kleinen Haff gemessen werden (Tab. 6).

Tab. 6: höchsten Steigerungen der Phosphatkonzentration an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) im Zeitraum 1976 bis 2004. Medianwert der Phosphatkonzentration des gesamten Jahres, durchschnittliche Windgeschwindigkeit während des Monats und die Wassertemperatur des Monats (Datenquelle: LUNG & DWD)

	<b>August 1983</b>	<b>Juli 1989</b>	<b>August 1990</b>	<b>Juli 1991</b>	<b>August 2001</b>	<b>August 2003</b>
<b>P-Konzentration</b> [ $\mu\text{mol Phosphat/l}$ ]	33,1	33,6	31,6	22,6	17,8	14,7
<b>P-Konz. im Jahr</b> [ $\mu\text{mol Phosphat/l}$ ]	13,5	12,8	13,4	10,8	5,4	9,8
<b>Ø-Wind</b> [m/s]	2,8	3,2	2,8	3,0	3,0	2,9
<b>Wassertemperatur</b> [°C]	20,5	17,5	18,4	18,0	20,6	21,9

1991 kam es zu einem geringen Konzentrationsunterschied zwischen dem Wert der durch Anoxie verursachten Freisetzung von Phosphat und dem Jahresdurchschnitt, da mehrere Monate hohe Werte aufwiesen. Im Jahr 2003 wurde dieser geringe Unterschied von 5  $\mu\text{mol Phosphat/l}$  durch fehlende Messungen verursacht. Es wurden nur in den Sommer- und Herbstmonaten Proben an der Station KHM entnommen, in denen die Phosphatkonzentrationen stets höher waren als die Konzentrationen im Winter und Frühjahr (Abb. 9). In den besagten Monaten konnten in mehreren aufeinanderfolgenden Tagen keine Windgeschwindigkeiten über maximal 4 m/s gemessen werden (Datenquelle: DWD), so dass die Wassersäule nicht durchmischt wurde. Die fehlende Durchmischung der Wassersäule verursachte die anoxischen Bedingungen.

Dem Sediment wird durch Flusseinträge und Abbau organischen Materials Phosphat geliefert. Im Wasserkörper konnte eine geringe Konzentration von Phosphat gemessen werden, obwohl kein Mangel an diesem Nährstoff bestand, da Phosphat aus dem Sediment nachgeliefert werden konnte (Wielgat & Schernewski 2002).

Der geringste Wert, der im Wasserkörper des KHM über die Jahrzehnte gemessen wurde, war im Juli 2004 mit 1,05  $\mu\text{mol Phosphat/l}$  (Abb. 11), was jedoch für die Algen noch keinen Mangel darstellte. Im Durchschnitt wurde im Kleinen Haff ein Wert von 9,1  $\mu\text{mol Phosphat/l}$  gemessen, wobei die Spannweite von 1,05 bis 33,6  $\mu\text{mol Phosphat/l}$  reichte (Abb. 11). Ab 1986 hatte die Phosphatkonzentration zugenommen. Dies war auf höhere Phosphateinträge durch die Oder zurückzuführen (Abb. 11). Ab 1992 sank der Phosphatgehalt im freien Wasserkörper des KHM (Abb. 11). Im Sommer 1997 kam es zu

einer Erhöhung des Phosphatgehaltes im Oderwasser und so stieg an der Station KHM der Wert im September um das dreifache ( $12,7 \mu\text{mol Phosphat/l}$ ) zu den Werten der vorherigen und darauffolgenden Jahre desselben Zeitraumes an. Zu dieser Zeit führte die Oder sehr viel Wasser. Dass der Phosphatgehalt zu diesem Zeitpunkt ebenfalls stieg, muss an der besonderen Situation des Oderhochwassers gelegen haben. Schernewski & Wielgat (2001) schreiben, dass der Phosphatgehalt in niederschlagsreichen Jahren zunimmt. Ab 2000 stieg der Phosphatgehalt an der Station KHM vor allem in den Anfangsmonaten des Jahres wieder leicht an. Als Resultat der Messungen über fast 20 Jahre war ersichtlich, dass sich der Phosphatgehalt von dem Ende der 70er und Anfang der 80er Jahre bis zum Ende der Untersuchung um fast die Hälfte reduziert hat (Abb. 11), wie es in der Helsinki Kommission vorgeschrieben ist.

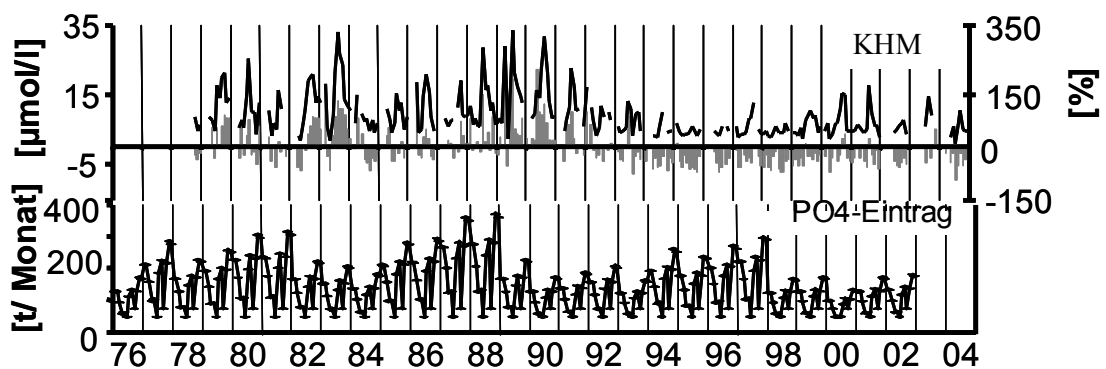


Abb. 11: gemessene Phosphatwerte (Linie) an der Station KHM und die relative Abweichung (Balken) des betreffenden Monats zum ermittelten Mittelwert im Zeitraum 1978-2004 (Datenquelle: LUNG) und die Phosphateinträge aus der Oder von 1976 bis 2004 (von Moneris- Behrendt)

In der Oderbucht war, wie im Kleinen Haff, im Untersuchungszeitraum eine Abnahme in der Phosphatkonzentration zu verzeichnen (Abb. 12). In beiden Gewässern trat die höchste Konzentration in den 80er Jahren auf. Auffällig war, dass im Kleinen Haff die Konzentrationen in den Jahren 1985 bis 1987 geringer waren, als in den Jahre zuvor und danach. Gerade während dieser Jahre waren in der Oderbucht jedoch erhöhte Konzentrationen von Phosphat ermittelt worden. Da der Phosphatgehalt in der Oder in den Jahren 1985-1987 nicht erhöht war, kann eine interne Mineralisierung die Ursache für diese Konzentrationszunahme gewesen sein, ebenso wie 1983 (Abb. 12).

In beiden Stationen war im monatlichen Durchschnitt (1976 bis 2004) eine Zunahme in der Konzentration bis zum Frühjahrswachstum des Phytoplanktons erkennbar (Abb. 9 und 10). Während des Wachstums wurde das Phosphat beim Zellaufbau verbraucht, wobei durch Festlandszuflüsse, interne Mineralisierung und aus dem Sediment Phosphat nachgeliefert

wurde. Besonders in den Sommermonaten Juni bis August konnte es auf Grund eines größeren Odereintrags und Mineralisierung zu einer Zunahme in der Phosphatkonzentration kommen (Abb. 9 und 10) (Bangel et al. 2004).

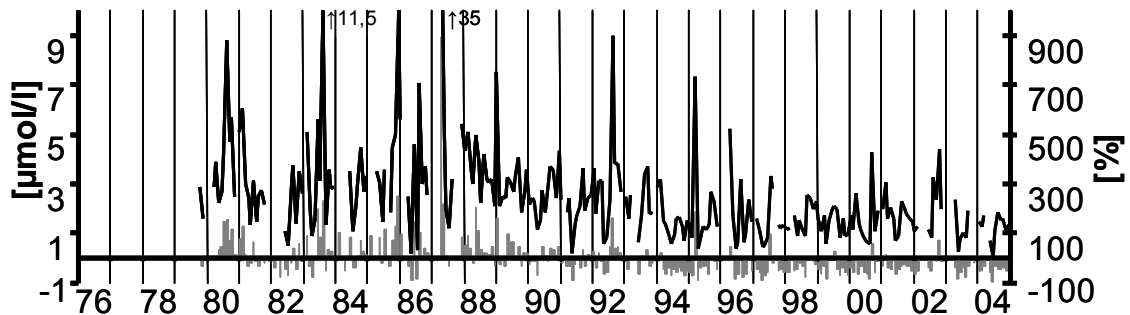


Abb. 12: gemessenen Phosphorwerte (Linie) an der Station OB4 und die relative Abweichung (Balken) des betreffenden Monats zum ermittelten Mittelwert im Zeitraum 1978-2004 (Datenquelle: LUNG)

Im Kleinen Haff, wo im Herbst eine zweite große Zunahme im Biovolumen des Phytoplanktons stattfand, wurde das Phosphat beim Zellaufbau um ein Drittel der Sommerkonzentration reduziert (Abb. 9). Das Phosphat wurde anschließend durch Mineralisierung des Phytoplanktons und durch Phosphatfreisetzung aus dem Sediment nachgeliefert. Da in den Wintermonaten die Windgeschwindigkeit im Durchschnitt ein bis zwei m/s höher war als im Frühjahr und Sommer und die maximalen Windgeschwindigkeiten bis 13 m/s aufwiesen, konnte das Sediment des Oderhaffs gut durchmischt werden und somit auch die organische Sedimentschicht. Dies hatte zur Folge, dass Phosphat erneut in die Wassersäule gelangte.

### **Anorganischer Stickstoff**

Als nächster Nährstoff wird der anorganische Stickstoff betrachtet, da es eines der Hauptnährelemente für Algen ist. Zum Aufbau ihrer Biomasse benötigen die Organismen daher Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) und Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). Nur die Cyanobakterien sind in der Lage atmosphärischen Stickstoff zu binden, so dass sie vom Nitrat- und Ammoniumangebot im Wasserkörper unabhängig sind.

Die Zunahme der anorganischen Stickstoffmenge ist wie auch beim Phosphat von Eintrag und Mineralisierung abhängig, eine Abnahme wird durch biologische Bindung und Austrag verursacht.

Für das Oderhaff ist die Oder der größte Stickstofflieferant. Im durchschnittlichen Jahresverlauf der DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen)-Konzentration der Oder war eine Abnahme in der Stickstoffkonzentration mit Abnahme der Wassermenge (Abb. 13) zu

erkennen. Nur in den Wintermonaten zeigte der Stickstoffgehalt der Oder eine steigende Konzentration bei abnehmender Wassermenge.

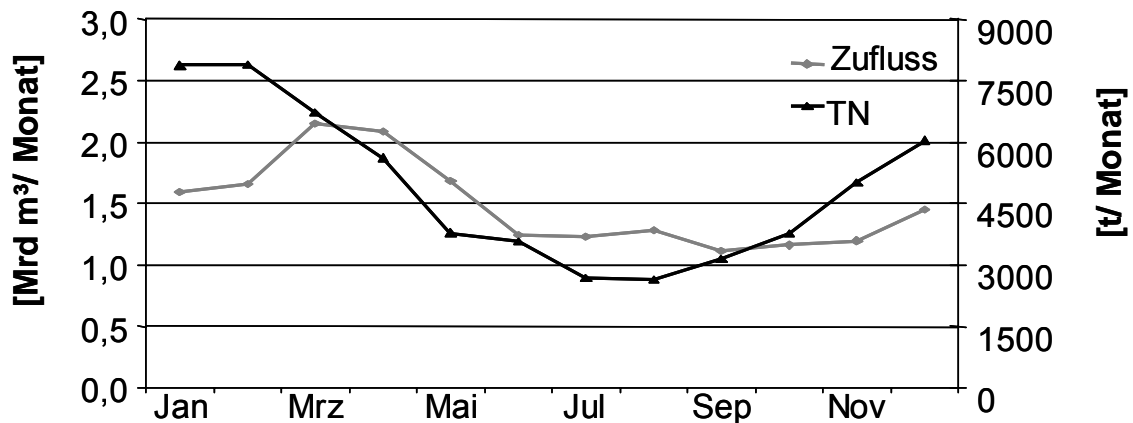


Abb. 13: Jahresdurchschnitt (1976 bis 2004) des Oderzuflusses und die Gesamtstickstoffmenge in der Oder (Datenquelle: Moneris- Behrendt)

Die anorganischen Stickstoffkonzentrationen in der Oderbucht lagen bei etwa einem Drittel der Konzentrationen im Kleinen Haff. Auf die Oderbucht hatte die Oder aufgrund der entfernteren Lage einen geringeren Einfluss als auf das Kleine Haff. An beiden Stationen konnte bei den am höchsten auftretenden Konzentrationen keine komplette Ursache im Oderwasser gefunden werden. So wurden in den Wintermonaten (Januar und Februar) der Jahre 1979, 1986, 1987, 1988, 1994 und 1999 hohe Stickstoffkonzentrationen im Oderzufluss gemessen, jedoch betragen diese nur zirka ein Drittel der auftretenden DIN-Konzentrationen an der Station KHM im Frühjahr (Abb. 14). Für die Konzentrationen, die in den 80er Jahren über 300  $\mu\text{mol DIN/l}$  und in den 90er bei 200  $\mu\text{mol DIN/l}$  betragen, kann eine interne Mineralisierung die Ursache gewesen sein. Ebenso verhält es sich in der Oderbucht. Hier traten die höchsten gemessenen Konzentrationen in den Frühjahren 1980, 1981, 1987 und im Februar 1994, die bei 140 bis 250  $\mu\text{mol DIN/l}$  lagen, auf (Abb. 14). Im Jahr 2003 wurde an der Station KHM eine sehr geringe Durchschnittskonzentration (4,7  $\mu\text{mol DIN/l}$ ) gemessen. Hier lag die Ursache in den fehlenden Messungen im Winter und Frühjahr. Es wurden nur Messungen während der Sommermonate, wo die Konzentration am geringsten ist, ermittelt.

An der Station OB4 traten in den Sommern 1976, 1990, 1994 und 1995 DIN-Konzentrationen kleiner 0,5  $\mu\text{mol/l}$  auf (Abb. 14). An der Station KHM wurde nur im September 1995 ein Wert kleiner 0,5  $\mu\text{mol/l}$  erreicht. Trotz dessen wurde neben dem hohen Biovolumen der Cyanobakterien im Sommer/ Herbst 1994 und 1995, auch ein erhöhtes Biovolumen bei den DIN-abhängigen Dinophyceae festgestellt (Anhang: Abb. A8 & A10).

Im Mai/Juni 1990 wurde trotz niedriger DIN-Konzentrationen kein höheres Biovolumen bei den Cyanobakterien ermittelt, sondern nur ein Biovolumen bei den Dinophyceae. Vermutlich lag die Ursache hier bei der niedrigen Temperatur, die im Mai 10 °C und im Juni bei 16 °C betrug. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass in diesen Jahren trotz der geringen Konzentrationen an der Station OB4 keine DIN-Limitierung vorlag. An der Station KHM wurde im August und September 1995 mit der geringen DIN-Konzentration ein erhöhtes Biovolumen bei den Cyanobakterien entwickelt (Anhang: Abb. A2). In diesen beiden Monaten hatten ebenfalls die Bacillariophyceae ein hohes Biovolumen (Anhang: Abb. A1), was für die Kaltwasseralgen zu dieser Jahreszeit sehr ungewöhnlich war, da die Wassertemperaturen bei 22 °C lagen. Es wurde also auch in diesem Fall keine Limitierung erreicht, da die Bacillariophyceae wie die Dinophyceae keinen atmosphärischen Stickstoff binden können und somit von der DIN-Konzentration abhängig sind.

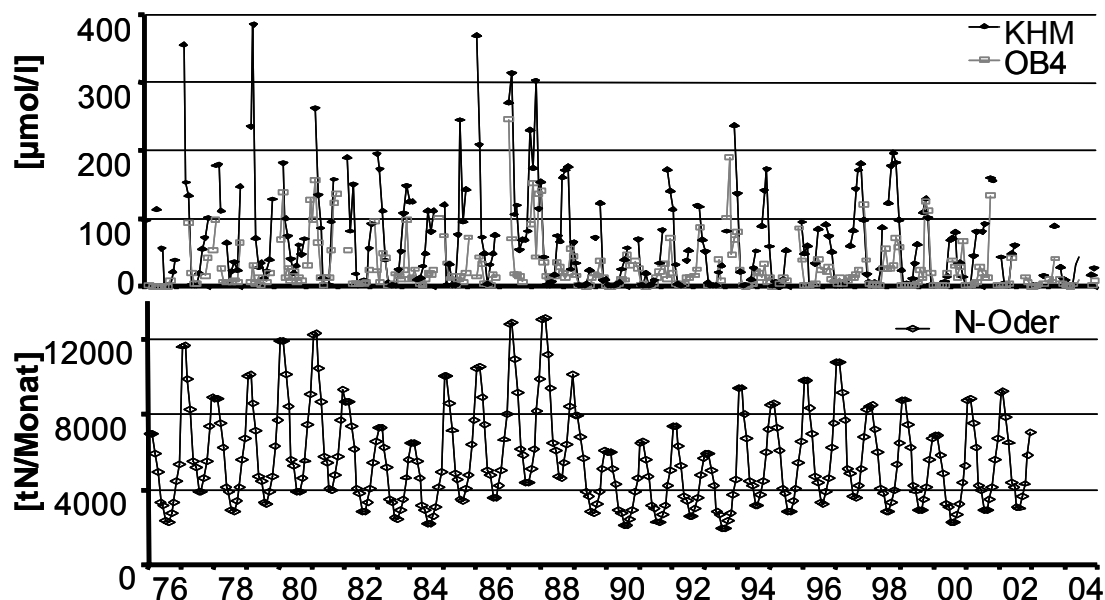


Abb. 14: obere Abb. gelöste anorg. Stickstoffkonzentration an den Stationen KHM und OB4 in den Jahren 1976 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)  
 untere Abb. Stickstoffeinträge aus der Oder in das Oderhaff von den Jahren 1976 bis 2002 (Datenquelle: Moneris- Behrendt)

Das die DIN-Konzentration im Sommer viel niedriger ist als im Frühjahr hängt zum einen mit dem Verzehr der Frühjahrspopulation zusammen. Ein anderer Grund ist die niedrige DIN-Konzentrationen im Oderzufluss. Die Oder zeigt in der DIN-Konzentration denselben Jahresgang, wie er an den Stationen KHM und OB4 vorhanden ist (Abb. 9, 10 & 13).

## Silikat

Der dritte hier zu betrachtender Nährstoff ist das Silikat, an dem man im Jahresverlauf vor allem die biologische Aktivität der Bacillariophyceae nachvollziehen kann. Diese Algengruppe benötigt Silikat zum Aufbau ihres Schalenskeletts (Strasburger 1991). Im Jahresverlauf nahm die Silikatkonzentration bis zur Frühjahrsblüte zu. Während des hohen Biovolumens der Bacillariophyceae im Frühjahr sank die Konzentration (Abb. 15/16), ebenso wie während des zweiten großen Wachstums der Bacillariophyceae in den Herbstmonaten an der Station KHM.

Während der Winter- und Sommermonate, in denen die Bacillariophyceae kein großes Biovolumen ausbildeten, stieg die Silikatkonzentration im Wasserkörper (Abb. 9 und 10). Das Haff wirkte als Silikatfalle, da das Silikat nicht schnell remineralisiert werden konnte und somit im Sediment des Haffs abgelagert wurde (Bangel et al. 2004). So war für die Bacillariophyceae während ihrer Entwicklungszeit stets Silikat in ausreichender Menge vorhanden.

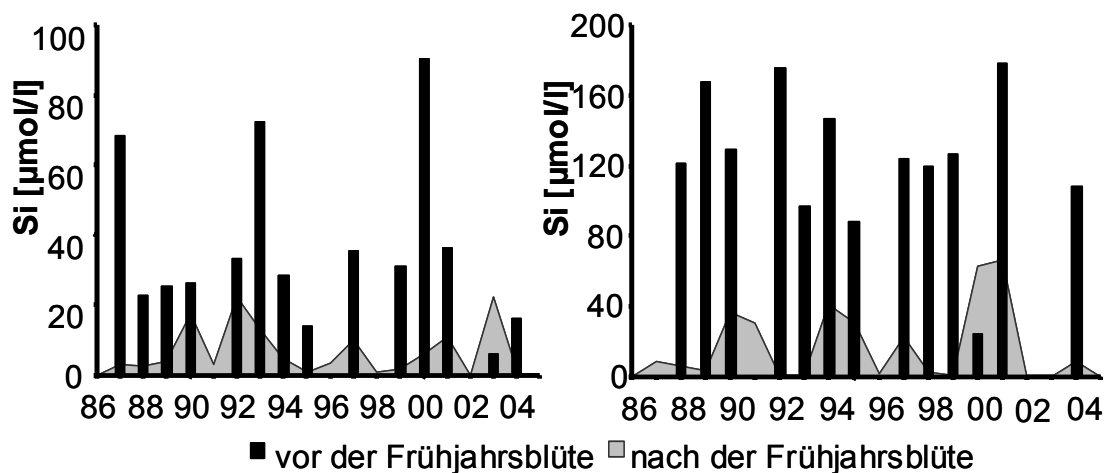


Abb. 15: Silikatkonzentration vor der Frühjahrsblüte (Balken) und nach der Frühjahrsblüte (Linie) an der Station OB4 (Datenquelle: LUNG)

Abb. 16: Silikatkonzentration vor der Frühjahrsblüte (Balken) und nach der Frühjahrsblüte (Linie) an der Station KHM (Datenquelle: LUNG)

Im Verlauf der Untersuchung wies das Silikat im Kleinen Haff eine höhere Konzentration im September 1984 und zu Beginn der 90er Jahre auf (Abb. 17). Der Oderzufluss war zu diesem Zeitpunkt gering (295 m<sup>3</sup>/s im September 1984). Die hohen Konzentrationen entstanden vermutlich durch Mineralisierung. Es könnte sich 1984 aber ebenfalls um einen Messfehler handeln, da sich diese Konzentration sehr stark von allen anderen gemessenen Konzentrationen abhebt. So lagen die höchsten Konzentrationen im September 1984 mit 576 µmol SiO<sub>4</sub>-Si/l und September 1991 mit 401 µmol SiO<sub>4</sub>-Si/l vor. Die Auswirkungen



der Konzentration auf die Entwicklung der Bacillariophyceae konnte aufgrund von fehlenden Daten nicht nachvollzogen werden.

Im Herbst 1991 wurde keine große Entwicklung dieser Algen festgestellt. Die Silikatkonzentration an der Station KHM war zwischen 1986 und 1988 sehr niedrig (Abb. 17). So lag der Mittelwert in diesen Jahren bei 27,6  $\mu\text{mol SiO}_4\text{-Si/l}$ . Im Herbst 1987 wurde ein sehr hohes Biovolumen in der Klasse der Bacillariophyceae von 74  $\text{mm}^3/\text{l}$  gemessen. Aufgrund der sehr niedrigen Silikatkonzentration ist dieser Wert sehr außergewöhnlich. Der Chlorophyllwert wies ebenfalls eine Zunahme auf, die entweder durch das hohe Biovolumen der Chlorophyceae entstand, so dass bei den Bacillariophyceae ein Messfehler vorlag oder die Probe wurde in einem Patchiness<sup>7</sup> entnommen. Von Ende der 90er Jahre bis 2004 war die Silikatkonzentration stabil und zeigte den typischen Tiefpunkt im Frühjahr und Herbst zur Kieselalgenblüte und im Sommer und Winter das Maximum mit Werten um die 100 bis 150  $\mu\text{mol/l}$  (Abb. 17).

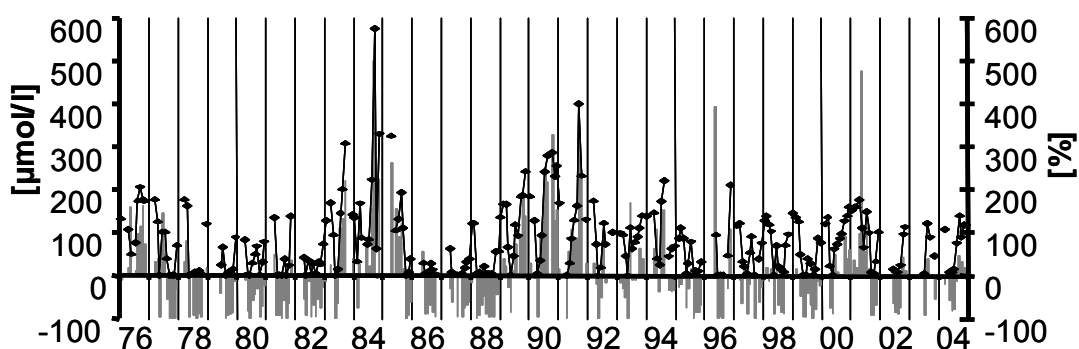


Abb. 17: gemessenen Silikatkonzentrationen (Linie) an der Station KHM und die relative Abweichung (Balken) des betreffenden Monats zum ermittelten Mittelwert im Zeitraum 1978-2004 (Datenquelle: LUNG)

Die Silikatkonzentration in der Oderbucht wies alle paar Jahre eine höhere Konzentration auf (Abb. 18). Besonders die Winter 1988, 1994, 1996 und 2000 hatten hohe Werte (Januar 1988: 123  $\mu\text{mol SiO}_4\text{-Si/l}$ ). Diese erhöhte Konzentration entstand durch interne Mineralisierung. Ende der 70er Jahre/ Anfang der 80er Jahre lag jedes Jahr ebenfalls eine größere Konzentration in den Wintermonaten vor. Im Jahr 1986 wurden keine Silikatwerte erhoben, so dass die Konzentration vom Winter 1985/1986 nicht ermittelt wurde, da er wie in den meisten Jahren im Januar lag. Nach dem Winter 1993/1994 wurden bis 1996 sehr geringe Silikatmengen gemessen (Abb. 18). Die durchschnittliche Konzentration betrug 19,2  $\mu\text{mol SiO}_4\text{-Si/l}$ . Die Biovolumina der Bacillariophyceae waren 1995 ebenfalls sehr gering (Anhang: Abb. A7). Im Frühjahr 1996 war das Biovolumen trotz niedriger

<sup>7</sup> Patchiness: Fleckenbildung- Verteilung der Algen ist heterogen

Silikatmengen sehr groß. Da das Volumen im Vergleich zu den anderen Jahren sehr hoch ist, kann auch hier ein Messfehler oder eine Probenahme im Patchiness vermutet werden. Aufgrund der hohen Chlorophyllwerte ist ein Patchiness wahrscheinlicher. Ab dem Jahr 2001 lagen die winterlichen Maxima des Silikatgehaltes bei rund 50  $\mu\text{mol/l}$  Wasser, welches der Hälfte der Maximalwerte der 90er Jahre entsprach (Abb. 18). Im Silikatgehalt wurde an der Station OB4 somit eine Reduktion erreicht, wie sie auch hier die Helsinki Kommission verlangte.

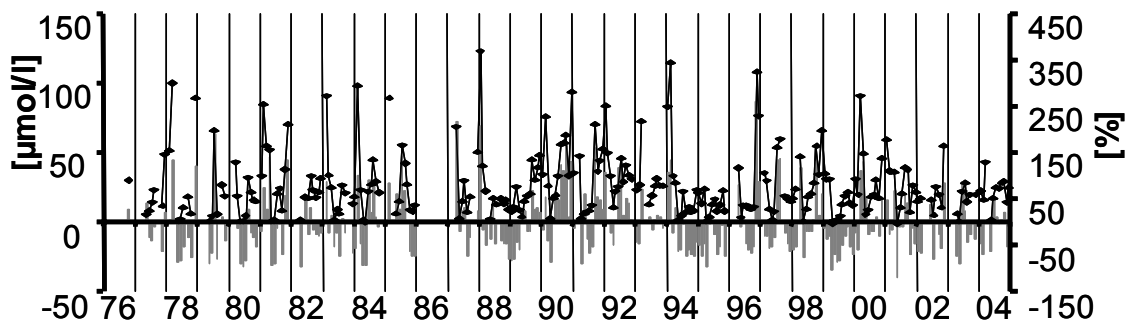


Abb. 18: gemessenen Silikatkonzentrationen (Linie) an der Station OB4 und die relative Abweichung (Balken) des betreffenden Monats zum ermittelten Mittelwert im Zeitraum 1978-2004 (Datenquelle: LUNG)

Da für das Oderwasser keine Daten zur Silikatmenge vorlagen, konnte nur anhand der Konzentrationen an den untersuchten Stationen und dem Oderzufluss ein Vergleich erfolgen. Bei dieser Untersuchung konnte kein Rückschluss auf eine Steigerung der Silikatmenge mit Erhöhung des Oderzuflusses gezogen werden. Das Silikat wies eher bei wenig Odereinträgen erhöhte Konzentrationen an den untersuchten Stationen auf (Abb. 2, 17 und 18).

Aufgrund der Mineralisierung und der Zufuhr aus den Flüssen wurde kein Wert gemessen, der auf eine Silikatlimitation schließen lässt. Selbst nach einem intensiven Wachstum der Bacillariophyceae im Frühjahr waren größere Silikatkonzentrationen vorhanden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass innerhalb meiner Nährstoffdaten keine Limitation vorlag. Es ist aber auch zu beachten, dass die Proben vormittags genommen wurden. Zu diesem Zeitpunkt lagen sicherlich höhere Nährstoffkonzentrationen vor, als in den Nachmittagsstunden, da die Algen tagsüber Nährstoffe zum Wachstum und zur Vermehrung verwenden. So kann es durchaus sein, dass innerhalb des Untersuchungszeitraumes im Tagesgang eine Limitation aufgetreten ist. Eine Verringerung des Biovolumens bei den Algen kann durch viele andere Faktoren ausgelöst werden. Zum einen kann es eine Verdrängung durch andere Algen geben, der Toleranzbereich im Salzgehalt und der Temperatur könnte nicht mehr vorhanden gewesen sein und ein anderer

Faktor kann auch das Licht sein. So schrieben Wielgat und Schernewski (2005), dass Licht in der Vegetationsperiode die limitierende Ressource in diesem Gebiet ist. Die Lichtlimitation ist das Ergebnis einer hohen Konzentration von Detritus und Phytoplankton im Wasserkörper. In der Winterzeit wird das Wachstum zusätzlich zum saisonbedingten, geringen Lichtangebot durch die geringe Temperatur gehemmt.

### **3.7. Secchi-Tiefe und Chlorophyll**

Als letzte Parameter werden die Sichttiefe und das Chlorophyll besprochen. Die Sichttiefenmessung mit der Secchi-Scheibe wird in der Limnologie seit etwa 1900 angewendet. Es handelt sich hierbei um eine weiße Scheibe von rund 25 cm Durchmesser, welche mit einigen Löchern perforiert ist. An einer markierten Leine wird diese in die Tiefe versenkt, bis ihre Umrisse gerade eben verschwinden. In der Regel besteht zwischen der Secchi-Tiefe und dem Chlorophyll a-Gehalt folgendes Verhältnis: Mit Anstieg des Chlorophyll a-Gehaltes ist eine Abnahme in der Secchi-Tiefe zu verzeichnen. In Küstennähe kann aufgrund von eingetragenen Material, wie z. B. organischem Material und Ton, die Sichttiefe reduziert werden (Carstensen et al. 2005). So beträgt die durchschnittliche Konzentration von suspendierten partikulären Substanzen im Oderhaff 20 bis 25 mg/l. Das ist circa 10 mal mehr als die Konzentration von suspendierten partikulären Material der Ostsee (Tejakusuma 2004). Im Kleinen Haff bilden die organischen Bestandteile zwar in einer Wassertiefe von 0,5 m den größten Anteil vom suspendierten partikulären Material, aber es können laut Tejakusuma (2004) circa 30 % anorganische Partikel in der Wassersäule vorhanden sein. Dieses Ergebnis lässt vor allem bei Windgeschwindigkeiten größer 4 m/s auf eine Sedimentsuspension schließen (Tejakusuma 2004). Im Kleinen Haff waren aufgrund von Partikeln, wie Ton und Silt, keine ausreichende Beziehung zwischen dem Chlorophyll a-Gehalt und der Sichttiefe erkennbar (Abb. 19). Die Korrelation zwischen den Parametern Sichttiefe und Chlorophyll a-Gehalt entsprach nur -0,38. Durch die in der Wassersäule vorhandenen Tone und Silte sind die Algen im Kleinen Haff größeren Schwankungen im Bezug auf die Lichtdurchlässigkeit ausgesetzt. Die Lichtverhältnisse können sich innerhalb weniger Zentimeter stark unterscheiden. Die tiefere Oderbucht hat Sande und keine Ton- und Siltpartikel, so dass weniger Sedimentkörner in der Wassersäule vorhanden waren. Hier war eine Korrelation von -0,52 berechnet worden (Abb. 19)

Dieses Ergebnis zeigte, dass die beiden Parameter Chlorophyll a und Sichttiefe mit zunehmender Entfernung von der Küste zwar stärker als im Kleinen Haff korrelieren, aber

nicht ausreichend genug, um für Gewässerbeurteilungen benutzt zu werden. In flachen Küstenregionen sollte daher auf eine Abschätzung auf die Phytoplanktonbiomasse mit Hilfe des Chlorophyll a-Gehaltes und der Sichttiefe verzichtet werden. Aus diesem Grund wurde im Verlauf dieser Arbeit nur mit den ermittelten Biovolumen der Algen gearbeitet.

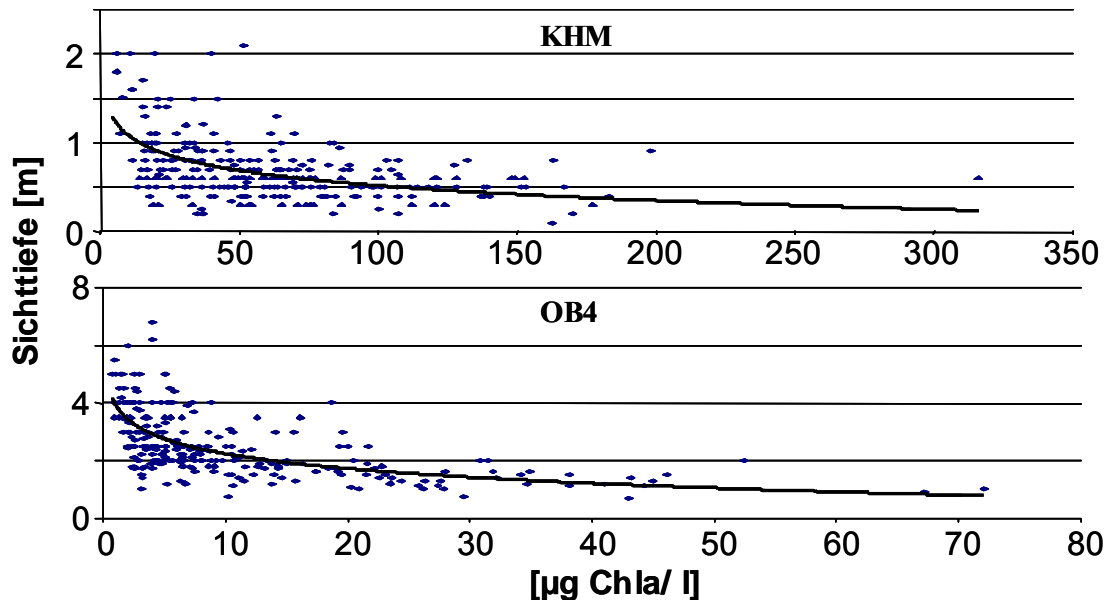


Abb. 19: Darstellung der Sichttiefe (ST) und des Chlorophyll a-Gehaltes ( Chla) an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) und an der Station Oderbucht 4 (OB4) im Zeitraum 1976 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)

### 3.8. Langfristige Entwicklung des Phytoplanktons

Im folgenden Kapitel soll auf die langfristige Entwicklung des Phytoplanktons an den Stationen KHM und OB4 eingegangen werden. Nach einer Einschätzung des Gesamtbiovolumens der Algen werden die langfristige Entwicklung der Biovolumina innerhalb der einzelnen Algenklassen (Bacillariophyceae, Cyanobakterien, Chloro-, Dino und Cryptophyceae und das Biovolumen der sonstigen Algen) im Abschnitt der Station KHM und der Station OB4 näher betrachtet.

Bei der Messung des Gesamtbiovolumen aller Algen im Zeitraum von 1986 bzw. 1987 bis 2004 konnte eine Abnahme des Biovolumens im Langzeit-Trend verzeichnet werden. Außerdem zeigt die Abb. 20 deutlich, dass das Biovolumen der Station OB4 geringer ist, als an der Station KHM. Anhand einer Korrelation zwischen den Biovolumina der beiden Stationen könnten man Zusammenhänge erkannt werden. So würde ein hoher Korrelationskoeffizient auf einen Zusammenhang zwischen dem Algenwachstum an den beiden Stationen hinweisen. Bei der Korrelation dieser Biovolumina nach Pearson wurde ein Koeffizient von 0,48 ermittelt. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass die

Algenentwicklung an den Stationen KHM und OB4 von mehreren Parametern, wie z. B. Salinität und Strömung, bestimmt werden, die an den Stationen verschieden sind.

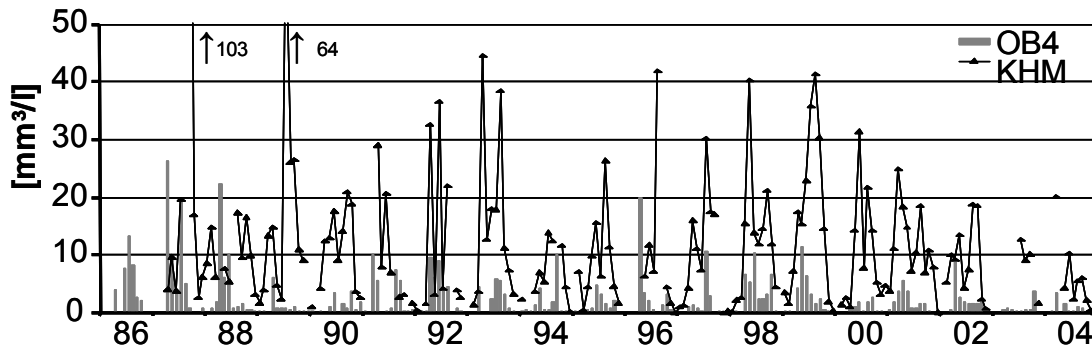


Abb. 20: Entwicklung des Gesamtphytoplanktonbiovolumens an den Stationen Kleines Haff Mitte (KHM) und Oderbucht 4 (OB4); Gesamtbiovolumen ist die Summe aus dem Biovolumen der Bacillario-, Cyano-, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae und sonstigen Algen (Datenquelle: LUNG)

Wie die Abb. 20 ebenfalls zeigt, trat im Kleinen Haff vor allem in den Jahren 1987 und 1989 eine sehr starke Algenentwicklung auf. Im September 1987 wurde dies durch die Bacillariophyceae verursacht, die ein Biovolumen von 74,2 mm<sup>3</sup>/l entwickelten (Anhang: Abb. A1). Dieser Zustand ist damit zu begründen, dass wie im Kapitel 3.6. angenommen, eine Probenahme im Patchiness vollzogen worden ist. Im Juli 1989 konnte im Kleinen Haff ein Biovolumen von 64 mm<sup>3</sup>/l gemessen werden. Hier waren es vor allem Cyanobakteria und sonstige Algen, die das Biovolumen bildeten. Obwohl zu dieser Zeit ein hoher Phosphatgehalt gemessen worden ist, waren hier die hohen Biovolumina durch die hohen Temperaturen und das große Lichtangebot bedingt. Grund für die Unabhängigkeit gegenüber der Phosphatkonzentration ist die geringe Entwicklung der Cyanobakterien während der anderen anoxischen Sommer (Kapitel 3.6.), in denen ebenfalls viel Phosphat aber geringere Temperaturen und eine geringere Lichtintensität vorhanden waren.

In der Oderbucht wurden die höchsten Biovolumina im April 1987 (26,4 mm<sup>3</sup>/l), 1988 (22,3 mm<sup>3</sup>/l) und 1996 (19,9 mm<sup>3</sup>/l) gemessen. 1987 und 1996 wurden diese hohen Biovolumina durch die Bacillariophyceae hervorgerufen (Anhang: Abb. A1). Diese Algen sind Kaltwasseralgen und können daher im Frühjahr sehr gut wachsen (Sommer 1998). Im April 1988 wurde die Blüte durch sonstige Algen verursacht. Hier handelte es sich um Flagellaten, die 10 mm<sup>3</sup>/l des Gesamtbiovolumens ausmachten und die Euglenophyceae, die mit 9,5 fast ebenso stark vertreten waren.

## Langfristige Entwicklung des Phytoplanktons an der Station KHM

Betrachtet man die Anzahl der Bacillariophyceae über die Jahre 1987 bis 2004, so war eine Abnahme des Biovolumens seit Mitte der 90er Jahre zu verzeichnen, welches jedoch im Jahr 1999 erneut zunahm (Anhang: Abb. A1). Im Kleinen Haff trat die stärkste Entwicklung der Bacillariophyceae ( $74,2 \text{ mm}^3/\text{l}$ ) im September 1987 auf. Diese Biomasse wurde, wie eine Artbestimmung zeigte, nur durch *Coscinodiscus rothii* aufgebaut. Die denkbare Begründung dafür ist, dass *C. rothii* eine starke Dominanz hatte und die Phytoplanktonproben zudem im Patchiness genommen wurden. Der Salzgehalt war zu diesem Zeitpunkt mit 0,6 PSU sehr gering (Abb. 1), was auf einen starken Flusswassereintrag rückzuführen ist. Der Silikatgehalt wies im September 1987 durchschnittliche Werte auf und wurde in jenem Monat bis zum Oktober des selben Jahres um die Hälfte verbraucht. Dieser Wert zeigt keine außergewöhnliche Entwicklung, so dass die bereits erwähnte Theorie der Probenahme im Patchiness wahrscheinlich ist. 1991 bis 1993 wurden im Kleinen Haff eine der größten Populationen gemessen (April 1993:  $29,7 \text{ mm}^3/\text{l}$ ). In diesen drei Frühjahren dominierten vor allem *Nitzschia acicularis*, *Asterionella formosa*/ *Diatoma elongatum* und zentrische Diatomeen. Eine Ursache für die starke Entwicklung der Bacillariophyceae könnten die in den Jahren 1992 und 1993 vorherrschenden kühlen Temperaturen gewesen sein. Eine zweite Ursache könnten die im Winter als auch im Frühjahr gemessenen hohen Salinitäten sein, die auf den Eintrag von Ostseewasser zurückzuführen waren.

Seit Mitte der 90er Jahre hatte das Biovolumen der Bacillariophyceae eine regelmäßig wiederkehrende Blüte, die nur im Jahr 1999 erneut stärker und langanhaltender ausfiel (Anhang: Abb. A1). In diesem Jahr war, ausgenommen der Januar und Dezember, stets ein höheres Biovolumen gegenwärtig gewesen, welches sein Maximum im Juni mit über  $20 \text{ mm}^3/\text{l}$  erzielte. Dieses Biovolumen wurde, wie Artbestimmungen zeigten, erneut durch *C. rothii* hervorgerufen. Aufgrund des geringen Salzgehaltes bei 0,5 PSU ist ein Flusseintrag wahrscheinlich.

Im Jahr 1999 war der Silikatgehalt vor und während der zweiten starken Entwicklung der Bacillariophyceae im Juni aufgrund des Biovolumens im Frühjahr sehr gering. Die erneute Zunahme der Silikatkonzentration könnte aufgrund einer Mineralisierung stattgefunden haben. Die Silikatkonzentration wurde vermutlich durch das Vorkommen der Bacillariophyceae sofort verbraucht, so dass keine Steigerung in der Silikatkonzentration gemessen werden konnte. Im August sank mit Zunahme der Temperatur und

Cyanobakterienbiovolumen das Biovolumen der Bacillariophyceae, so dass auch die Silikatkonzentration wieder steigen konnte.

Bei der zweiten untersuchten Algenklasse den Cyanobakterien im Kleinen Haff ist die Entwicklung der letzten Jahre, wie auch schon Anfang der 90er Jahre, erneut abnehmend gewesen (Anhang: Abb. A2). Während Mitte der 90er Jahre das Biovolumen im Vergleich zu den Jahren 1989 und 1990 vermutlich durch kalte Temperaturen geringer war (Absatz: 3.11.), konnte Ende der 90er Jahre die höchsten Werte verzeichnet werden. So wurde im gesamten Untersuchungszeitraum, im Mai 1998 das größte Biovolumen mit  $36,2 \text{ mm}^3/\text{l}$  1987 bis 2004 gemessen (Anhang: Abb. A2). Dieser Wert, der durch das Vorkommen der *Aphanizomenon baltica*/ *Planktothrix agardhii* entstanden ist, betrug das 10fache von dem Mittelwert des gesamten Zeitraumes. Auffällig ist ebenfalls der zu diesem Zeitpunkt geringe Salzgehalt, der auf den Zufluss der Oder zurückzuführen ist. Widersprüchlich ist bei dieser Aussage jedoch, dass *A. baltica* eine Ostseealge ist. Diese Alge wurde hier vom LUNG bei der Bestimmung in einer Gruppe mit *P. agardhii* aufgeführt. Somit kann daraus geschlossen werden, dass aufgrund des Oderzuflusses, vermutlich *P. agardhii* und nicht *A. baltica* mit einer hohen Wahrscheinlichkeit vorherrschte. Das hohe Biovolumen kann auch hier auf eine Probenahme im Patchiness zurückgeführt werden, da die Nährstoffe keine außergewöhnlichen Konzentrationen aufwiesen und die Temperatur für den Monat Mai kühl war.

In den in der Arbeit betrachteten Untersuchungsjahren war stets ein höheres Biovolumen im Sommer existent (Anhang: Abb. A2). Selten, wie im Jahr 1995 und 2000, traten zwei Peaks auf.

Im Juni 1995 wurde ein Höhepunkt ( $5,4 \text{ mm}^3/\text{l}$ ) von *Woronichinia compacta* gebildet und der Peak im August desselben Jahres von einzelligen Microcysten, die jedoch von den Mitarbeitern des LUNG nicht näher bestimmt werden konnten. Die Begründung, wie es zu diesen beiden Peaks gekommen ist, könnte in der hohen Temperatur liegen. Die zu diesem Zeitpunkt geringe DIN-Konzentration (Abb. 14) war für andere Algenklassen nicht limitierend, so dass die Ursache für das hohe Biovolumen der Cyanobakterien nicht in der Konkurrenzlosigkeit bestand.

Das Jahr 2000 hatte, vergleichbar mit dem Jahr 1995, seine Peaks im Juni und August (Anhang: Abb. A2). Der Peak im Frühsommer wurde mit  $7,9 \text{ mm}^3/\text{l}$  von *A. baltica* gebildet und der Peak im August von *P. agardhii* ( $12,4 \text{ mm}^3/\text{l}$ ). Beide Peaks im Jahr 2000 könnten ebenfalls durch die Temperatur verursacht worden sein, so dass mit dem Sinken der

Temperatur im Juli auch das Biovolumen reduziert wurde. Im August konnten die wärmeliebenden Algen (Wasmund 1997) aufgrund eines nochmaligen Temperaturanstiegs (Tab. 7) erneut ein hohes Biovolumen aufbauen.

Tab. 7: Wassertemperatur an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) im Jahr 2000 (Datenquelle: LUNG)

2000	Mai	Juni	Juli	August
Temperatur [°C]	20,1	26,6	16,6	19,1

Im Jahr 2000 konnte der Biovolumenabfall im Juli ebenfalls durch die sehr geringe Sonnenscheindauer (3,3 h/d - Abb. 4) hervorgerufen worden sein. Normalerweise sind im Juli 7,7 h/d gemessen worden. Somit war die geringe Lichtintensität die Ursache für diesen Biovolumenabfall der Cyanobakterien im Juli.

Die Abteilung der Grünalgen wies 1987 in beiden Gewässern ebenfalls ihr höchstes Biovolumen auf (Abb. A3). So wurde im Kleinen Haff im September 1987 ein Biovolumen von 25,3 mm<sup>3</sup>/l gemessen, welches den 20fachen Wert der Durchschnittswerte (1987 bis 2004) der Monate September betrug. *Binuclearia lauterbornii* war mit einem Wert von 22,3 mm<sup>3</sup>/l hauptsächlich für die Bildung des Biovolumens verantwortlich. Wie bereits bei den Bacillariophyceae beschrieben wurde hier die Probe im Patchiness genommen. Im Juni 1992 wurde in dieser Zeitreihe das zweithöchste Biovolumen (24,5 mm<sup>3</sup>/l) in der Gruppe der Chlorophyceae gemessen (Anhang: Abb. A3). Dieser Peak wurde durch die Alge *Scenedesmus* spec., welche aufgrund der vorhandenen niedrigen Salinitäten durch die Oder eingetragen worden sein muss (Abb. 21), gebildet. Der Mai 1999 hatte nach einer langen Periode mit 10 mm<sup>3</sup>/l wieder einen leichten Peak, der das Fünffache der normalen Werte erreichte (Anhang: Abb. A3). Untersuchungen zeigen, dass dieser Peak hauptsächlich durch die Alge *Pediastrum* spec. (8,5 mm<sup>3</sup>/l) gebildet wurde, die ihr Biovolumen nur in diesem Monat entwickelte und somit einmalig war. Ihr plötzliches Auftreten wurde aufgrund des vorherrschenden Südwindes durch die Oder hervorgerufen (Abb. 21). Weshalb *Pediastrum* spec. an der Station KHM nur einmalig vorkam, ist anhand der ermittelten abiotischen Parameter nicht ersichtlich.

Ab dem Jahr 2000 waren die Biovolumina der frischwasserbevorzugenden Chlorophyceae unterdurchschnittlich. Der Tiefpunkt des Biovolumens war mit einem Wert kleiner 0,005 mm<sup>3</sup>/l im Jahr 2003 aufgeführt worden. Die Ursache für diesen Tiefpunkt liegt jedoch nicht am fehlendem Einfluss von Süßwasser, da an der Station KHM nur geringe Salinitäten ermittelt worden sind. Auch die Nährstoffe geben, wie bereits im Kapitel 3.6. näher



erläutert, keinen Hinweis auf die Ursache. Vielmehr liegt die Ursache entweder im erhöhten Fraßdruck durch Zooplankton oder bereits in der Oder. Da größere Biovolumina, bis auf die Probe 1987, die im Patchiness erfolgte, durch Odereinträge hervorgerufen worden sind, wurde bei dieser Algengruppe ein Einfluss durch die Oder deutlich (Abb. 21). Hiermit lässt sich noch einmal verdeutlichen, dass die Chlorophyceae ein Indikator für Süßwassereinfluss sind (Wasmund et al. 2000). Es ist jedoch darauf zu verweisen, dass pro  $\text{m}^3$  Oderwasser nicht stets das selbe Biovolumen an Chlorophyceae vorhanden war.

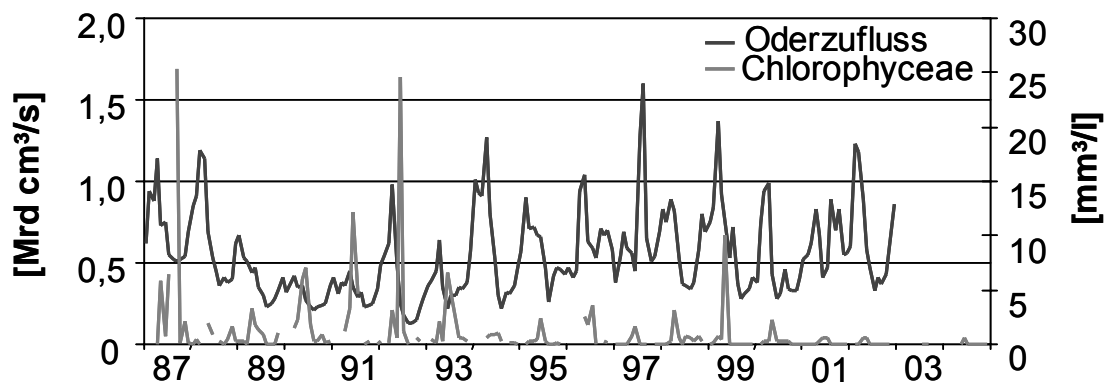


Abb. 21: Oderzufluss und das Biovolumen der Chlorophyceae an der Station KHM im Zeitraum 1987 bis 2002 (Datenquelle: LUNG & Moneris-Behrendt)

Die vierte Algenklasse in der Betrachtung der langfristigen Entwicklung an der Station KHM sind die Dinophyceae (Anhang: Abb. A4). Die Dinophyceae sind im Gegensatz zu den Cyanobakterien im Kleinen Haff eher selten zu finden. So gibt es im Untersuchungszeitraum mehrere Jahre, wo keine Dinophyceae aufgetreten sind (Anhang: Abb. A4).

In den Jahren 1989 bis 1991 traten überdurchschnittlich viele Dinophyceae auf. Das höchste Biovolumen mit  $8,7 \text{ mm}^3/\text{l}$  wurde im August 1989 gemessen. Es betrug in diesem Monat das 6fache vom ermittelten Durchschnitt der Augustwerte des gesamten Zeitraumes. Da die Dinophyceae zu den salzliebenden Algen zählen (Strasburger 1991), ist von einer erhöhten Salinität auszugehen. Zu diesem Zeitpunkt lag jedoch im Kleinen Haff kein erwarteter erhöhter Salzgehalt vor, sondern mit 1,4 (1989) bis 2,9 (1990) PSU eher Durchschnittswerte. In den beiden darauffolgenden Jahren betrug das Biovolumen der Frühjahrsblüte im April  $7,7 \text{ mm}^3/\text{l}$  bzw.  $5,6 \text{ mm}^3/\text{l}$  (Anhang: Abb. A4). Die hohen Peaks wurden durch *Amphidinium crassum* und durch *Peridinium spec./ Protoperidinium spec.* gebildet. Die Ursache dafür kann in der Temperatur liegen, da die Jahre 1989 und 1990 überdurchschnittlich warme Jahre waren (Kapitel 3.11.). Die Jahre von 1993 bis 1995

wiesen regelmäßige Entwicklungen auf, wobei das Biovolumen nicht über 2,0 mm<sup>3</sup>/l hinausging (Anhang: Abb. A4). Nach dieser Zeit traten die Dinophyceae nur noch sporadisch auf. Seit 1999 wurden in der untersuchten Station des Kleinen Haffs bei den Dinophyceae nur noch Biovolumina bis 0,002 mm<sup>3</sup>/l ermittelt. Der Entwicklung von einem hohen zu einem geringen Volumen liegen vermutlich zwei Ursachen zu Grunde. Zum einen kann das geringe Volumen auf einen fehlenden Einstrom von Ostseewasser zurückzuführen sein. Zum anderen wurden während der Frühjahrsmonate 2003 und 2004 keine Proben genommen, obwohl die Dinophyceae gerade während dieser Periode ihren Entwicklungshöhepunkt haben (Kapitel 3.9.). Es ist jedoch nicht außer Acht zu lassen, dass genauso gut ein Messfehler oder ein Fehler in der Bestimmung vorgelegen haben kann.

Die fünfte Algenklasse, die hier betrachtet werden soll, sind die Cryptophyceae. Ihre Entwicklung im Biovolumen war im Kleinen Haff während des Untersuchungszeitraumes steigend (Anhang: Abb. A5). So lag die jährlich auftretende Entwicklung bis Mitte der 90er Jahre bei rund 0,5 bis 2 mm<sup>3</sup>/l. Eine Ausnahme bildete der März 1989, wo das Biovolumen mit 6,7 mm<sup>3</sup>/l (*Chroomonas* spec.) eines seiner höchsten Punkte erreichte. Es ist zu vermuten, dass diese Alge bei einer Temperatur von 5,4 °C und einem leichten Salzwassereinstrom optimale Bedingungen hatte, um sich zu vermehren. Im Jahr 1993 traten zwei Blüten bei 3,5 mm<sup>3</sup>/l auf. Sowohl die Blüte im Mai als auch die Blüte im August wurde von *Teleaulax acuta* gebildet. Diese Population wurde im März 2001 mit fast 25 mm<sup>3</sup>/l und im März 2002 mit 10,1 mm<sup>3</sup>/l noch übertroffen (Anhang: Abb. A5). Hier war es ebenfalls die Alge *T. acuta*, die solche hohen Biovolumina bildete. Seit 1996 bildeten die Cryptophyceae regelmäßig höhere Biovolumina als die Jahre zuvor. Weshalb *T. acuta* sich so stark vermehrte und im Sommer hohe Biovolumina ausbildete, welches für die Cryptophyceae untypisch ist (Kapitel 3.9.5.), ist anhand der abiotischen Faktoren nicht ersichtlich.

Die letzte Algengruppe, auf die an dieser Stelle nur kurz eingegangen werden soll, sind die sonstigen Algen, welche die Summe der Biovolumen der Algen umfasst, die erstens nicht genau bestimmt worden sind (z. B. Flagellaten) und zweitens nur selten oder in einer sehr geringen Menge aufgetreten sind, wie z. B. die Euglenophyceae. Abschließend ist zu sagen, dass im Kleinen Haff in der langfristigen Entwicklung ein abnehmender Trend im Biovolumen der sonstigen Algen zu erkennen (Anhang: Abb. A6) ist, so dass man davon ausgehen kann, dass die Bestimmung der Algenarten immer präziser wurde und somit in

dieser Kategorie nur noch die seltenen Algenarten, wie z. B. die Euglenophyceae vorkamen.

#### **Langfristige Entwicklung der Algen an der Station OB4**

Nachdem im vorherigen Abschnitt die langfristige Entwicklung im Kleinen Haff dargestellt wurde, wird im folgenden Abschnitt auf die der Oderbucht näher eingegangen. Hierbei werden, wie auch schon im vorherigen Abschnitt, zuerst die Bacillariophyceae, dann die Cyanobakterien, Chlorophyceae, Dinophyceae, Cryptophyceae und zum Schluss die Gruppe der sonstigen Algen betrachtet.

In der Gruppe der Bacillariophyceae wurde in der Oderbucht das größte Biovolumen von *Achnanthes taeniata/ Melosira spec.* im April 1987 mit  $20,5 \text{ mm}^3/\text{l}$  gebildet (Anhang: Abb. A7). Die Nährstoffe wiesen zu diesem Zeitpunkt mit Werten von  $246 \text{ } \mu\text{mol DIN/l}$ ,  $36 \text{ } \mu\text{mol PO}_4\text{-P/l}$  und  $68 \text{ } \mu\text{mol SiO}_4\text{-Si/l}$  eine sehr hohe Konzentration auf. Aufgrund der hohen Nährstoffkonzentrationen sowie dem sehr niedrigen Salzgehalt (3,8 PSU) deutet es auf einen Eintrag aus dem Oderhaff hin. Laut dem Ergom-Modell konnte dies bestätigt werden. Zum zweit größten Peak im Biovolumen bei den Bacillariophyceae innerhalb des Untersuchungszeitraumes an der Station OB4 kam es im April 1996 (Anhang: Abb. A7). In diesem Monat entwickelten zentrische Diatomeen ein Biovolumen von  $16,5 \text{ mm}^3/\text{l}$ . Die Ursache, welche das große Biovolumen bewirkt hat, kann sowohl die Wassertemperatur als auch der Salzgehalt sein, die beide im April 1996, sehr gering waren (Anhang: Tab. T1 & T2). Der geringe Salzgehalt wurde während dieser Zeit durch einen Ostwind verursacht (Datenquelle: DWD), der salzarmes Wasser aus der östlichen Ostsee in die Oderbucht beförderte. Aus diesem Grund war das hohe Biovolumen, im Gegensatz zum ersten Peak im April 1987, nicht auf einen Ausstrom des Oderhaffs zurückzuführen. Da der Winter 1995/1996 sehr kalt und das Gewässer bis Ende März mit Eis bedeckt war, konnte aufgrund der fehlenden Daten der vorherigen Monate die Entwicklung der Bacillariophyceae nicht nachvollzogen werden. Da der Silikatgehalt im April 1996 gering war, deutet dies auf das bereits im Kapitel 3.6. beschriebene Problem der Probenahme im Patchiness hin.

Trenduntersuchungen von Phytoplankton in der Ostsee seit 1979 zeigen eine Abnahme der Bacillariophyceae während der Frühjahresblüte (Wasmund & Uhlig 2003).

Für die Oderbucht und das Kleine Haff ist die Abnahme der Frühjahrsbiovolumina der Bacillariophyceae nicht eindeutig (Anhang: Abb. A17 & A24). Vielmehr erfolgte innerhalb

der untersuchten Zeitreihe drei Mal eine Zu- und Abnahme der Biovolumina dieser Algenklasse (Anhang: Abb. A 17 & A24).

Betrachtet man die Konzentration der Cyanobakteria an der Station OB4, so wird deutlich, dass diese im Gegensatz zur Konzentration im Kleinen Haff um ein Vielfaches geringer war (Anhang: Abb. A2 & A8). Hier betrug der Peak im Durchschnitt (Mittelwert aus allen Höhenpunkten)  $1,3 \text{ mm}^3/\text{l}$ , was ein Siebtel des Biovolumens des Kleinen Haffs entspricht. An der Station OB4 waren ein bzw. nur in seltenen Fällen zwei Peaks pro Jahr zu verzeichnen (Anhang: Abb. A8). Dies ist in erster Linie auf einen Temperaturanstieg bzw. einem erneuten Einstrom aus dem Oderhaff zurückzuführen. Der September 1994 wies einen großen Anstieg im Biovolumen der Cyanobakterien ( $6,8 \text{ mm}^3/\text{l}$ ) auf (Anhang: Abb. A8), der auf *Woronichinia compacta* zurückzuführen war. Aufgrund des hohen und sich nicht ändernden Salzgehaltes, ist der Einfluss der westlichen Ostsee anzunehmen, wodurch *W. compacta* in die Oderbucht transportiert wurde. Das höchste Biovolumen, welches im Juni 1998 zu verzeichnen war, wurde hauptsächlich von *Planktothrix agardhii* und *Limnothrix redekei* gebildet. Die Temperatur und die Lichtintensität stiegen zu diesem Zeitpunkt an, so dass auch hier die Ursache für die starke Entwicklung angenommen werden kann. Zeitgleich waren zwar sowohl die Stickstoff- als auch die Silikatkonzentrationen niedrig, aber da auch andere Algenklassen vorhanden waren, war hier keine Limitation vorhanden (Anhang: Abb. A7 & A9-A12). So hatten die Cyanobakterien ihr Biovolumen nicht aufgrund ihrer Fähigkeit zur atmosphärischen Stickstoffbindung und der DIN-Limitation der anderen Algenklassen aufbauen können.

Wasmund & Uhlig (2003) stellten innerhalb einer Phytoplankton-Trenduntersuchung für die Ostsee seit 1979 eine sommerliche Abnahme im Biovolumen der Cyanobakterien fest. Dies konnte an der Station OB4 bestätigt werden. Seit 1999 war die Tendenz in dem Biovolumen der Cyanobakterien leicht rückläufig (Anhang: Abb. A8 & A25). So wurde im August 2004 nur noch ein Biovolumen von  $0,6 \text{ mm}^3/\text{l}$  gemessen. Diese Entwicklung ist schwer zu erklären, da sich die abiotischen Parameter nicht stark verändert haben. Außerdem wurden sogar bei höheren Nährstoff- Konzentrationen in den 90er Jahren zum Teil geringere Biovolumina gemessen (Kapitel 3.6.), so dass anhand der vorliegenden Daten keine Nährstofflimitation ersichtlich war.

Die Grünalgen hatten, wie auch bei der Station KHM, ihren höchsten Peak ( $2,7 \text{ mm}^3/\text{l}$ ) im Jahr 1987 (Anhang: Abb. A9). Der Unterschied zur Station im Kleinen Haff liegt jedoch

darin, dass der Peak in der Oderbucht zum einen bereits im Mai und nicht im September auftrat und zum anderen nicht durch *B. lauterbornii* sondern durch *Scenedesmus spec.* gebildet wurde. Zu diesem Zeitpunkt war ein Einfluss von salzarmen Wasser gegeben, was anhand der geringen Salinität (3 PSU) erkennbar war. So herrschten im Mai 1987 stark wechselnde Winde vor, die zum einen aus Süden und zum anderen aus Nordosten kamen. Diese Windrichtung bedingte den Ferntransport salzarmen Wassers in die Oderbucht, jedoch ist nicht eindeutig bestimmbar, aus welcher Richtung *Scenedesmus spec.* eingeführt worden sind. Aufgrund der stark gestiegenen anorganischen Stickstoffkonzentrationen ist allerdings ein Oderhaffeinfluss zu vermuten. Zudem kamen *Scenedesmus spec.* mit 3 mm<sup>3</sup>/l zu dieser Zeit ebenfalls an der Station KHM vor, so dass diese hohe Konzentration an der Station OB4 auf das Oderhaff zurückzuführen ist.

In den folgenden Jahren nach 1987 war kein außergewöhnliches Wachstum in der Gruppe der Grünalgen festzustellen. Vielmehr lagen die Biovolumina stets unter 1 mm<sup>3</sup>/l und meist sogar unter 0,5 mm<sup>3</sup>/l (Anhang: Abb. A9). Ab Herbst 2001 traten nur noch Biovolumina in den Größenordnungen kleiner 0,005 mm<sup>3</sup>/l auf, womit die sonst so häufig vorkommenden *Scenedesmus spec.* fast vollständig wegfielen. Hier lagen die Ursachen vermutlich nicht, wie in den vorher betrachteten Fällen an der Temperaturen und dem Salzgehalt, vielmehr ist diese Entwicklung auf das Fehlen der *Scenedesmus*-Arten im Kleinen Haff zurückzuführen. Aus diesem Grund konnte *Scenedesmus spec.* nicht vom Oderhaff in die Oderbucht eingetragen werden. Die Ursache für das Fehlen von *Scenedesmus spec.* im Kleinen Haff ist anhand der vorliegenden Daten nicht zu erklären. So könnte hier z. B. ein starker Fraßdruck auf diese Algenart vorgeherrscht haben, was jedoch anhand der Zooplanktondaten genauer untersucht werden müsste, um eine eindeutige Ursachenforschung betreiben zu können.

Betrachtet man das Biovolumen der Dinophyceae, so war festzustellen, dass diese in der Oderbucht häufiger als im Kleinen Haff auftraten, was darauf zurückzuführen ist, dass diese Klasse zu den marinen Arten gehört und somit höhere Salinitäten bevorzugt (Wasmund et al. 2000). In der Oderbucht waren in jedem Jahr Dinophyceae vorhanden (Anhang: Abb. A10).

Eine Besonderheit stellt jedoch das Jahr bzw. das Frühjahr 1997 dar, in dem ausschließlich Biovolumina kleiner 0,002 mm<sup>3</sup>/l nachgewiesen werden konnten. Da die abiotischen Parameter keine Rückschlüsse auf Anomalien geben, weist dieses Ergebnis vermutlich auf Fraßdruck bzw. eine Verdrängung durch andere Algen hin. Bei einer Verdrängung könnten

*Diatoma elongatum* oder *Teleaulax acuta* die Ursache gewesen sein, da nur sie ein größeres Biovolumen im Frühjahr 1997 aufbauten. Da laut Wasmund et al. (2000) die Dinophyceae profitieren, wenn Bacillariophyceae sterben, ist in diesem Fall eine Verdrängung aufgrund des höheren Biovolumens der Bacillariophyceae möglich. Zum anderen ist durch Wasmund et al. (2000) auch belegt worden, dass in der Regel eine Abnahme der Bacillariophyceae-Biomasse und eine Zunahme der Cryptophyceae-Biomasse mit steigender Entfernung von der Küste erfolgt, so dass auch *T. acuta* (Cryptophyceae) für die Verdrängung bzw. das geringe Biovolumens der Dinophyceae verantwortlich sein könnte.

Im September/ Oktober 1997 kam es bei den Dinophyceae ebenfalls zu keinem höherem Biovolumen, obwohl diese Algenklasse in der Regel zu dieser Jahreszeit ihren zweiten Höchstpunkt aufwies (Kapitel 3.9). Der Zustand ist jedoch mit dem in die Oderbucht einströmenden Hochwasser der Oder zu erklären. Das Fehlen eines großen Biovolumens der Dinophyceae im Odereinstrom deutet auch darauf hin, dass diese Algenklasse äußere Küstengewässer bevorzugt. Diese Annahme konnte im Oktober 1998, als mit 4,7 mm<sup>3</sup>/l das größte Biovolumen bei den Dinophyceae in der Oderbucht im gesamten Untersuchungszeitraum 1986 bis 200 gemessen wurde, bestätigt werden (Anhang: Abb. A10). Das Biovolumen wurde durch *Prorocentrum minimum* gebildet, die, so lässt der hohe Salzgehalt vermuten, aus der westlichen Ostsee eingetragen wurde.

Im Untersuchungszeitraum traten vor allem im Herbst größere Blüten auf, die im Durchschnitt das Vierfache der Werte im Kleinen Haff betragen.

Betrachtet man die Entwicklung ab 2000, so ist festzustellen, dass kein Biovolumen größer 1,5 mm<sup>3</sup>/l mehr gebildet wurde (Anhang: Abb. A10). Auch hier kann die Aussage von Wasmund & Uhlig (2003), dass eine frühjährliche Abnahme des Biovolumens in der Klasse der Dinophyceae in der Ostsee stattgefunden hat, bestätigt werden. Jedoch sollten hier weitere Untersuchungen stattfinden, um diese Tendenz für die Herbstmonate, in denen die Dinophyceae an dieser Station OB4 ein größeres Biovolumen entwickelten, zu untermauern. Denn es könnte sich hier ebenso gut um eine Schwankung handeln, die während des Untersuchungszeitraumes mehrfach vorkam (Anhang: Abb. A26).

Die Entwicklung der Cryptophyceae an der Station OB4 war, abgesehen von fünf größeren Peaks, relativ gleichbleibend (Tab. 8 & Anhang: Abb. A11).

Tab. 8: Auftreten der höchsten Biovolumina bei den Cryptophyceae an der Station OB4 im Zeitraum 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)

	Mai 1987	Aug 1991	Jun 1992	Mai 1999	Mrz 2001
Biovolumen [mm <sup>3</sup> /l]	2,4	2,8	3,8	4,2	2,8
häufigste Art	<i>Chroomonas</i> spec./ Coccale Zellen	<i>T. acuta</i>	<i>Rhodomonas</i> spec.	<i>Cryptomonas erosa</i> , <i>Cryptomonas ovata</i>	<i>T. acuta</i>

Der Peak im Juni 1992 wurde vor allem durch *Rhodomonas* spec. gebildet und stellt insofern eine Besonderheit dar, als dass diese Alge nur ein einziges Mal ein so beträchtliches Biovolumen (Tab. 8) aufwies. Da diese Alge lediglich während der hohen Salinitäten im Zeitraum 1991 bis 1993 auftrat, liegt die Vermutung nahe, dass sie aus dem Westen mit dem Ostseewasser eingetragen wurde.

Insgesamt betrachtet konnte im Langzeittrend bei den Cryptophyceae an der Station OB4 keine Abnahme des Biovolumens verzeichnet werden. Hingegen stellten die Wintermonate seit 1998/1999 aufgrund der starken Präsenz der Cryptophyceae sowohl an der Station OB4 als auch der Station KHM eine Veränderung in der langfristigen Entwicklung dar (Anhang: Abb. A16 & A23) (Wasmund et al. 2003). Im Gegensatz zu anderen Algenklassen, die in den letzten Wintern lediglich ein Biovolumen von 0,001 mm<sup>3</sup>/l oder gar keines erzeugten, bildeten die Cryptophyceae an diesen Stationen ein stärkeres Biovolumen (Anhang: Abb. A16 & A23).

Dieses hohe Winterbiovolumen der Cryptophyceae wurde hauptsächlich durch *Teleaulax acuta* gebildet und sind mit großer Wahrscheinlichkeit auf die zu diesem Zeitpunkt vorherrschenden Bedingungen der Temperatur, des Lichtes oder des Salzgehaltes zurückzuführen. In Hinblick auf den Faktor Temperatur zeigen die Messungen während der Wintermonate dieser Jahre stark schwankende Werte (Anhang: Tab. T2). Während der das höchste Biovolumen der Cryptophyceae betragende Winter 2000/2001 sowie der Winter 2001/2002 eher durch milde Temperaturen geprägt waren, gab es im Winter 2002/2003 sehr kalte Temperaturen, in Folge dessen sich auf dem Haff eine Eisdecke bildete. Aufgrund der großen Temperaturunterschiede in diesen Wintern, kann der Faktor Temperatur nicht als Begründung für die Veränderungen im Biovolumen der Cryptophyceae dienen.

Die Lichtverhältnisse in den Wintermonaten seit 1998/1999 unterschieden sich nicht von denen der vorherigen Jahre, so dass auch dies nicht als Ursache für das hohe Cryptophyceabiovolumen herangezogen werden kann.

Ein anderer beeinflussender Faktor könnte die Salinität gewesen sein. Auffällig war, dass das Auftreten der Cryptophyceae in den Wintermonaten an der Station OB4 mit einem Anstieg des Salzgehaltes einherging. Jedoch, so zeigen die Auswertungen, konnten sich die Cryptophyceae mit einem im Februar 2001 gemessenen Biovolumen von 11,2 mm<sup>3</sup>/l auch bei der zu diesem Zeitpunkt geringeren Salinitäten (1,9 PSU) weiterentwickeln. Somit weist dies lediglich auf den bestehenden großen Toleranzbereich der Cryptophyceae in Bezug auf den Salzgehalt hin, nicht jedoch auf den diese Entwicklung auslösenden Faktor. Ob sich der Trend der Biovolumenzunahme in den Wintermonaten der Jahre 2002/2003 und 2003/2004 im Kleinen Haff fortgesetzt hat, ist aufgrund fehlender Daten durch die zu diesem Zeitpunkt bestehende Eisdecke, ungewiss. Da die Cryptophyceae jedoch als einzige Algenklasse in der Oderbucht in den Jahren 2002/2003 sowie 2003/2004 vorhanden waren, ist ihr Vorkommen auch für das Kleine Haff nicht auszuschließen.

Abschließend ist hervorzuheben, dass es sehr ungewöhnlich ist, dass in den Wintermonaten der letzten Jahre nur Cryptophyceae auftraten. Um eindeutig beurteilen zu können, ob es sich dabei um eine nur zeitweilige oder dauerhafte Veränderung handelt, sollte die Algenzusammensetzungen vor allem in den Wintermonaten weiter beobachtet werden. So es sich um eine dauerhafte Veränderung handelt, sollte eine tiefergehende Ursachenanalyse betrieben werden, die wiederum eine höhere Probenahme in den Wintermonaten erforderlich machen würde.

Die Gruppe der sonstigen Algen hatte, wie bereits im Kleinen Haff, auch in der Oderbucht eine sehr stark abnehmende Tendenz (Anhang: Abb. A12). Der Grund dafür liegt in der besseren Bestimmung der Algen und der damit einhergehenden besseren Einordnung in die taxonomischen Gruppen. Wie Abb. A12 (Anhang) zeigt, trat eine hohe Anzahl von unbekanntem Algen bzw. seltenen Algen nur am Ende der 80er Jahre auf. So war im Sommer 1986 der Peak durch Flagellaten und  $\mu$ -Algen entstanden.



### 3.9. Jahresgang des Phytoplanktons

In diesem Kapitel wird ein Einblick in den Jahresgang der Algengruppen gegeben. Außerdem werden Gründe dargestellt, die Auslöser für bestimmte Entwicklungen bei den Algengruppen waren.

In der Abb. 22 & 23 werden die Monatsdurchschnitte der Algenbiovolumina im Untersuchungszeitraum 1986 bis 2004 (OB4) bzw. 1987 bis 2004 (KHM) dargestellt. Jedoch ist bei diesen Abbildungen von vornherein darauf hinzuweisen, dass es aufgrund der langen Zeitreihe und den zum Teil stark variierenden Einflüssen durch z. B. Temperatur, Sonne und Salz, zu großen Abweichungen vom Mittelwert kommen konnte. Trotzdem lässt sich mit den gegebenen Werten folgende Auswertung vornehmen:

An der Station im Kleinen Haff (Abb. 22) wiesen die Bacillariophyceae in der Regel zwei Höhepunkte in ihrer Entwicklung auf: zum einen im April und September, wobei die Frühjahrsentwicklung stärker war. Die Dinophyceae und die Cryptophyceae offenbarten ebenfalls ein erhöhtes Biovolumen in der ersten Jahreshälfte. Die Chlorophyceae, im Jahresverlauf die Nachfolger der Frühjahrs- Bacillariophyceae, zeigten ihre größte Entwicklung nach der Frühjahrsblüte im Juni. Weiterhin entwickelten die Cyanobakterien einen starken Peak in den Sommermonaten, die meist im August kulminierte.

In der Station OB4 (Abb. 23) verlief die Algenpopulation, im Vergleich zum Kleinen Haff, in einem geringeren Maße. Das größte Biovolumen war bei den Bacillariophyceae im April zu erkennen. Während der Herbstmonate kam es bei den Bacillariophyceae, im Unterschied zum Kleinen Haff, zu keinem zweiten Peak. Die Dinophyceae entwickelten ihr höchstes Volumen, wie auch schon die Bacillariophyceae, im April. Im Gegensatz zu den Bacillariophyceae wiesen die Dinophyceae ihre stärkste Entwicklung erst im Herbst auf. Wie auch schon an der Station KHM folgten die Chlorophyceae kurz nach den Bacillariophyceae im Mai mit ihrer größten Entwicklung. Die Cryptophyceae wiesen im gesamten Jahresverlauf ein leicht variierendes Biovolumen auf, wobei ihr größtes Biovolumen ebenso in den Frühjahrsmonaten auftrat. Die Cyanobakterien entwickelten ihr größtes Volumen in der Regel zum September, was somit einen Monat später als im Kleinen Haff stattfand. Zudem betrug das Biovolumen der Cyanobakterien nur cirka ein Siebtel von dem Biovolumen im Kleinen Haff.

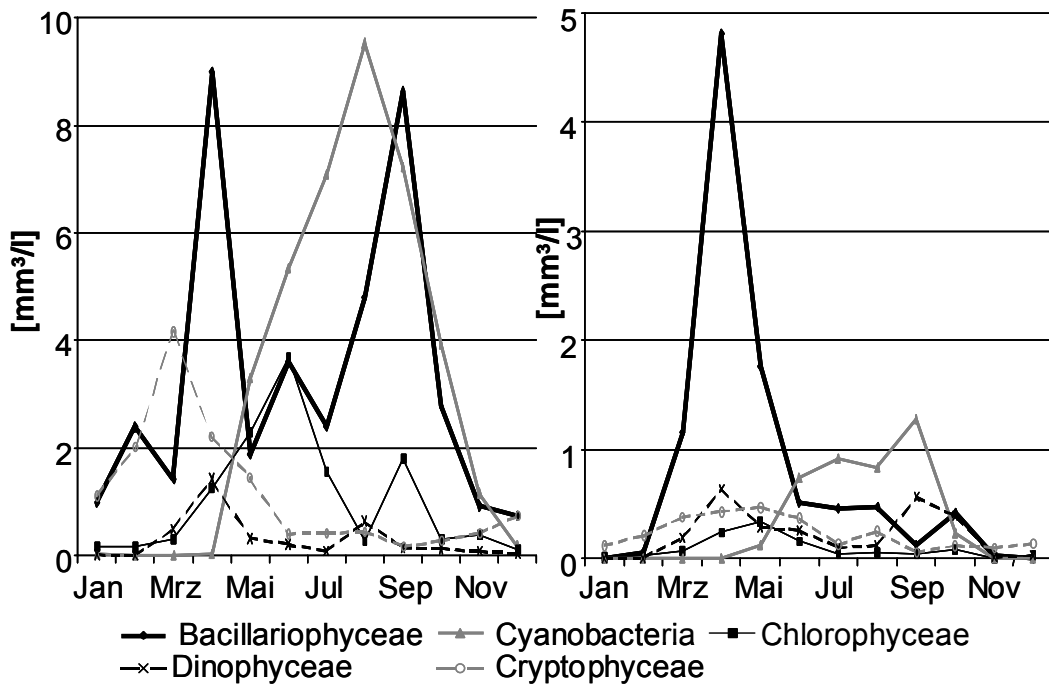


Abb. 22:  
 Jahresgang in den Stationen KHM als Durchschnitt der Jahre 1987-2004 der 5 wichtigsten Algengruppen (Cyanobakteria Bacillario-, Chloro-, Dino-, und Cryptophyceae) (Datenquelle: LUNG)

Abb. 23:  
 Jahresgang in den Stationen OB4 als Durchschnitt der Jahre 1986-2004 der 5 wichtigsten Algengruppen (Cyanobakteria Bacillario-, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae ) (Datenquelle: LUNG)

### 3.9.1. Klasse der Bacillariophyceae

Nachdem nun der allgemeine Jahresgang beschrieben wurde, wird in diesem Kapitel die Entwicklung der Bacillariophyceae betrachtet.

Wertet man die Untersuchungsergebnisse aus, so ist erkennbar, dass die Klasse der Bacillariophyceae an der untersuchten Station in der Oderbucht ihr Maximum an Biovolumen im Frühjahr hatte. Spezielle Frühjahrsformen waren hier vor allem die Algen, wie z. B. *Asterionella formosa*, *Diatoma elongatum* und *Fragilaria ulna*. Da die Bacillariophyceae-Arten nur hauptsächlich im Frühjahr und an KHM auch im Herbst (Anhang: Tab. T3 & T4) vorkamen, kann daraus geschlussfolgert werden, dass diese Algen kaltwasseradaptiert sind (Rheinheimer 1996). Die zentrischen Diatomeen hingegen, die eine große Gruppe darstellen, wurden sowohl im Frühjahr als auch in allen anderen Monaten vorgefunden, so dass sie somit keine reine Frühjahrsform darstellen.

Faktoren, die die Entwicklung ausgelöst haben, sind laut Wasmund et al. 1998 die Durchmischung der Wassersäule, die durch Wind aber auch Temperaturerhöhung ausgelöst wird, und die Sonnenstrahlung. So war eine Durchmischung der Wassersäule in den

flachen Gebieten des Kleinen Haffs wie bereits beschreiben zum Frühjahr stets vorhanden. So wurde bei den vorliegenden Daten mit dem Auftreten der Kieselalgen- Blüte ein sehr starker Anstieg der Temperatur gemessen. Jedoch, wie das Beispiel *A. formosa*/ *D. elongatum* zeigt, ist die Temperatur nicht ausschließlich für eine Entwicklung, wie auch Wasmund et al. 1998 schrieb, verantwortlich. An einem Beispiel lässt sich diese Erkenntnis verdeutlichen: im April 1992 war eine Temperatursteigerung von 3,4 °C auf 6,7 °C zu verzeichnen. Zur selben Zeit stieg das Biovolumen von 0 auf 2,8 mm<sup>3</sup>/l. Jedoch haben Untersuchungen im Frühjahr 1988 gezeigt, dass sich diese Algengruppe auch bei Temperaturen kleiner 6 °C vermehren. Dieser Zustand deutet darauf hin, dass es zusätzlich einen anderen Faktor geben muss, der die Entwicklung des Biovolumens der Algen beeinflusst. Ein weiterer Faktor für die extreme Vermehrung ist die Sonnenscheindauer (Wasmund et al. 1998). Diese nimmt zum Frühjahr hin sehr stark zu, denn während der Februar im Durchschnitt 2,5 Stunden Sonnenscheindauer pro Tag aufweist, kann scheint die Sonne im April bereits 6,1 Stunden pro Tag. Im Mai ist, wie in Kapitel 3.3. beschrieben, die längste Sonnenscheindauer zu verzeichnen.

Ein weiterer wichtiger abiotischer Parameter für das Wachstum der Bacillariophyceae war das Silikat (Kapitel 3.6.). Zahlen verdeutlichen die Abhängigkeit der Bacillariophyceae vom Silikat. Während im März an der Station KHM ein Silikatgehalt von durchschnittlich 135 µmol SiO<sub>4</sub>-Si/l gemessen werden konnte, lag im Mai nach Ende der Frühjahrsblüte nur noch 19,4 µmol SiO<sub>4</sub>-Si/l vor (Abb. 16). Im weiteren Jahresverlauf war hingegen bis September eine Zunahme des Silikats an der Station KHM festzustellen, die aufgrund einer erneuten Entwicklung der Bacillariophyceae zum Oktober hin sank. In den Wintermonaten, wo aufgrund der niedrigen Temperaturen und der sehr geringen Lichtbedingungen keine größere Entwicklung dieser Klasse möglich war, stieg die Silikatkonzentration erneut an. Zieht man einen Vergleich zwischen der Entwicklung der Bacillariophyceae in der Oderbucht und im Kleinen Haff, ist festzustellen, dass es nur im Kleinen Haff zu einer zweiten Blüte dieser Algenklasse kam. Betrachtet man in diesem Zusammenhang den Faktor Temperatur genauer, so war zu beobachten, dass diese im Haff zum September hin, in manchen Jahren auch erst zum Oktober, teils sehr rapide gesunken ist. Im Durchschnitt sank die Temperatur im September um rund 3,5 grad auf 16,2 °C und zum Oktober nochmals um 6 grad. Da das Kleine Haff, wie im Kapitel 2.1. beschrieben, nur eine Durchschnittstiefe von 3,7 m Tiefe hat, ist das Wasser leicht zu durchmischen. Dieses hat wiederum zur Folge, dass die Dauerformen der Bacillariophyceae, die zum Ende der Frühjahrsblüte sedimentiert waren, wieder aufgespült werden konnten. Warum eine zweite

Blüte in der Oderbucht ausblieb ist nicht gewiss. Die Temperaturen kühlen nur etwas langsamer ab, was auf die Bacillariophyceae keine so große Wirkung haben sollte. Auch die Nährstoffe, waren wie im Kapitel 3.6. beschrieben, nicht limitierend.

Ein Faktor, der das Ausbleiben der zweiten Blüte erklären könnte, ist die Tiefe der Bucht. Die Dauerformen der Bacillariophyceae können erst bei stärkeren Winden aufgespült werden. Im Durchschnitt liegen die Windgeschwindigkeiten jedoch nur bei 4 m/s, was zwar für das Durchmischen des Kleinen Haffs ausreicht, aber nicht für die Tiefe der Bucht. Erst zum Winter werden in der Regel höhere Windgeschwindigkeiten erreicht, dann jedoch sind die Lichtverhältnisse für die Bacillariophyceae zu gering. Somit kann geschlussfolgert werden, dass der limitierende Faktor für das Ausbleiben einer zweiten Bacillariophyceaeblüte an der Station OB4 im Herbst das geringe Licht bzw. die zu geringe Windstärke war. Ein weiterer Faktor für diese Limitierung, der hier nicht untersucht wurden, könnte das Zooplankton darstellen, das durch Fraß die zweite Blüte verhindert haben könnte.

### **3.9.2. Klasse der Cyanobakterien**

Bei der Untersuchung der Cyanobakterien konnte vor allem im Sommer bzw. im frühen Herbst ein hohes Biovolumen nachgewiesen werden. Normalerweise trat der sommerliche Peak an der Station KHM im August auf, in dem durchschnittlich auch die höchsten Wassertemperaturen gemessen worden sind (Abb. 6 & 22).

Die am häufigsten vorkommenden Arten waren *Aphanizomenon spec.*, *Planktothrix spec.*, *Limnothrix spec.*, *Pseudoanabaena spec.*, *Microcystis spec.* und *Woronichinia compacta* sowie *Snowella spec.*.

Zu den Bedingungen an der Station KHM sind folgende Punkte festzuhalten: die Temperatur betrug im Sommer ca. 20 °C und der Stickstoffgehalt war, wie z. B. der Wert im Sommer 2002 (Jul: 43 µmol/l, Aug: 4,5 µmol/l) zeigt, niedrig. Die beiden Algenarten *Aphanizomenon baltica* und *Microcystis flos-aquae* steigerten ihre Biovolumina im Juli und erreichten im August 2002 ihr Maximum mit 8,1 mm<sup>3</sup>/l bzw. 10,5 mm<sup>3</sup>/l. Somit hatten die Cyanobakteria im Kleinen Haff ihr stärkstes Wachstum während der Zeit der geringsten Stickstoffkonzentrationen.

Wie bereits im Kapitel 3.8. erwähnt, waren die Cyanobakteria in der Oderbucht in einer geringeren Konzentration vorhanden, als im Kleinen Haff. In der Oderbucht, wie auch im Kleinen Haff, begannen die Cyanobakteria mit dem Aufbau ihrer Population im Mai. Das

höchste Biovolumen erreichten sie jedoch durchschnittlich erst einen Monat später als im Kleinen Haff, im September. Auslöser für diese späte Entwicklung war nicht die Wassertemperatur, da diese im September bereits am Abkühlen war und die selben Arten im Kleinen Haff auch bei höheren Temperaturen wuchsen. Zudem sind die Cyanobakterien ein „Sommerphänomen“, da sie laut Wasmund (1997) für die Entwicklung eines hohen Biovolumens eine Temperatur  $>16\text{ }^{\circ}\text{C}$ , eine Globalstrahlung  $>120\text{ W/m}^2$  und Windgeschwindigkeiten  $< 6\text{ m/s}$  benötigen. All diese Faktoren waren während ihrer größten Entwicklung an OB4 und KHM vorhanden.

Eine weitere Besonderheit zeigt die Korrelation zwischen dem Biovolumen der Cyanobakteria und dem anorganischen Stickstoffgehalt (OB4:  $r = -0,88$ ; KHM:  $r = -0,79$ ). Die Entwicklung der Cyanobakteria ist zur DIN-Konzentration negativ korreliert. Abb. 24 und 25 zeigt deutlich, dass das Biovolumen im Mai wächst, während der anorganische Stickstoffgehalt zur gleichen Zeit abnimmt. Als die DIN-Konzentration am geringsten war, kam es zu einem Peak im Biovolumen der Cyanobakterien. Dies weist auf eine Besonderheit der Cyanobakterien hin. Aufgrund ihrer Fähigkeit zur Stickstoff-Fixierung sind die Cyanobakterien unabhängig vom im Wasserkörper gelösten anorganischen Stickstoff (Strasburger 1991). Dies bedeutet wiederum, dass sie auch unter Bedingungen wachsen können, die für andere Algenklassen ein Wachstum ausschließen (Wasmund 1997).

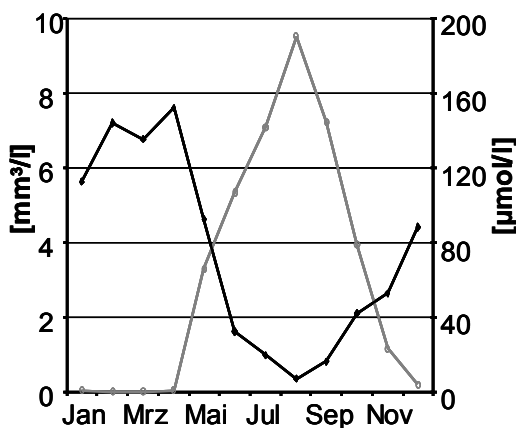


Abb. 24:  
Vergleich von der DIN- Konzentration (schwarz) und dem Biovolumen der Cyanobakteria (grau) im gemittelten Jahresverlauf von 1987-2004 an der Station KHM (Datenquelle: LUNG)

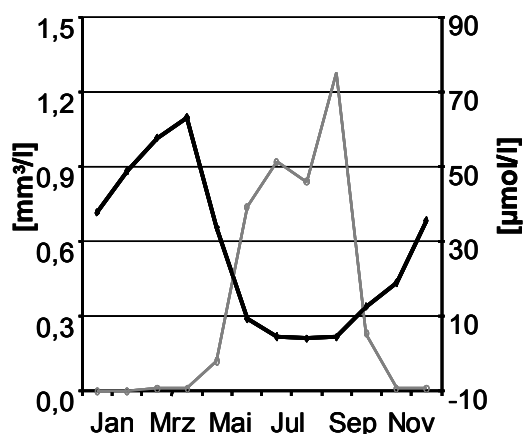


Abb. 25:  
Vergleich von der DIN- Konzentration (schwarz) und dem Biovolumen der Cyanobakteria (grau) im gemittelten Jahresverlauf von 1986-2004 an der Station OB4 (Datenquelle: LUNG)

### 3.9.3. Klasse der Chlorophyceae

Bei der Betrachtung der Chlorophyceae war, nach der Frühjahrsblüte der Bacillariophyceae, eine Zunahme des Biovolumens erkennbar.

Die stärksten Vertreter dieser Klasse an der Station KHM und OB4 waren sieben Algen: *Scenedesmus quadricauda*, *Scenedesmus spinosus*, und *Scenedesmus spec.*, *Carteria spec.*, *Chlamydomonas spec.* und *Oocystis spec.* sowie *Binuclearia lauterbornii*. Bei der Analyse des Zusammenhangs zwischen Wachstum und den abiotischen Faktoren konnte eine Unabhängigkeit der Chlorophyceae gegenüber Silikat festgestellt werden, denn sie kamen erstens selbst bei geringen Mengen von Silikat vor und zweitens nahm der Silikatgehalt gleichzeitig mit dem Biovolumen zu (Abb. 15, 16 & Abb. A3 & A9). Im Gegensatz dazu benötigen die Chlorophyceae, wie alle anderen Algen auch, zum Aufbau ihrer Biomasse Phosphat und anorganischen Stickstoff (Strasburger 1991), wodurch die DIN-Konzentration beim Wachstum abgenommen hat. Beim Phosphat konnte im Kleinen Haff und der Oderbucht allerdings keine Abhängigkeit erkannt werden ( $r= 0,08$ ). Dies hat die Ursache in der Nachlieferung aus den Zuflüssen, dem Sediment und der internen Mineralisierung. So wurden im Kleinen Haff und in der Oderbucht keine Werte beim anorganischen gelösten Stickstoff oder Phosphat gefunden, die auf eine Limitierung schließen würden (vgl. Kapitel 3.6.). Ein Faktor zur Limitierung der Algen könnte jedoch eine andere Algenklasse sein. Dieses konnte anhand von Daten nicht bewiesen werden, da die Chlorophyceae im Kleinen Haff teilweise zeitgleich mit den Bacillariophyceae (z. B. Apr 1989, Jun 1997), Dinophyceae (z. B. Jun 1995, Jun 2001) oder den Cyanobakterien (z. B. Jul 1987, Jun 1993) ein hohes Biovolumina aufwiesen (Anhang: Abb.: A1-A4). Ein anderer zur Limitierung beitragender Faktor könnte die Lichtbedingung sein, da die Algengruppe bevorzugt im späten Frühling bzw. im Frühsommer, wenn höhere Sonneneinstrahlung vorliegt, wächst. Im Sommer herrschten für die Chlorophyceae aufgrund des hohen Biovolumens der Cyanobakterien vermutlich zu geringe Lichtbedingungen, obwohl wie oben beschrieben, in einigen Jahren gleichzeitig hohe Biovolumina nachgewiesen wurden. Diese Chlorophyceae waren allerdings bereits am Abbau ihres Biovolumens und nicht wie bei den Cyanobakterien am Aufbau. Da die Chlorophyceae hauptsächlich im späten Frühling bzw. im Frühsommer auftraten, kann davon ausgegangen werden, dass sie Temperaturen von 10-20 °C bevorzugen. Lebensfähig und zum gewissen Teil auch wachstumsfähig waren die meisten Chlorophyceae aber auch bei geringeren Temperaturen. So wurde z. B. von November 1993 bis Januar 1994 ein

Wachstum von *Scenedesmus* spec. bei 1,6 °C festgestellt. Zu dieser Zeit herrschten, zusätzlich zur niedrigen Temperatur, sehr geringe Lichtwerte. Somit ist die Annahme, dass die Lichtbedingungen als Limitierungsfaktor in Frage kommen, ebenfalls zweifelhaft. Die meisten Chlorophyceae waren wie zur Temperatur und zum Licht, auch gegenüber dem Salzgehalt sehr tolerant. Es war keine Seltenheit, dass die Arten sowohl im Kleinen Haff mit einer Durchschnittssalinität von 1,5 PSU als auch in der Oderbucht mit einem Durchschnitt von 6,8 PSU, vorkamen. So wurde z. B. *S. quadricauda* (KHM: BV > 1 mm<sup>3</sup>/l, OB4: BV > 0,5 mm<sup>3</sup>/l) bei einer Salinität von 0,6-5,4 PSU identifiziert, was eine größere Toleranz gegenüber Salz zeigt.

Zusammenfassend ist im Abschnitt über die Chlorophyceae zu sagen, dass diese Algengruppe äußerst variabel ist.

#### **3.9.4. Klasse der Dinophyceae**

Bei den Proben der Dinophyceae konnten sowohl im Kleinen Haff als auch in der Oderbucht fünf Hauptvertreter nachgewiesen werden: 1. *Amphidinium crassum*, 2. *Heterocapsa rotundatum*, 3. *Peridinium* spec./ *Proto-peridinium* spec., 4. *Prorocentrum balticum* und 5. *Prorocentrum minimum*. Da diese Algen relativ zeitgleich mit den Bacillariophyceae auftraten, ist es schwierig Rückschlüsse auf die Nährstoffe, die sie zum Wachstum (DIN, PO<sub>4</sub>-P) benötigen, zu ziehen.

Bei der Salinität wiesen sie eine hohe Toleranz auf. So vermehrten sich die Dinophyceae im oligohalinen Kleinen Haff und in der mesohalinen Oderbucht. Bei der Temperatur schienen sich gerade die Frühjahrsformen auch sehr gut an das kalte Wasser angepasst zu haben. So konnte z. B. *Amphidinium crassum*, die hauptsächlich im Frühjahr vorkam, in einer Temperaturspanne von 0,2 °C bis 18 °C existieren, wobei sie aber nur zwischen 7,5 °C bis 15 °C größere Biovolumina bildete (Anhang: Tab. T5). *P. minimum*, die hauptsächlich im Herbst auftrat, schienen etwas höhere Temperaturen zu bevorzugen, da sie sich hauptsächlich bei 10 °C bis 19 °C (z. B. Sep 1994 und Sep/Okt 1998) (Anhang: Tab. T5) vermehrten.

Während der Herbstentwicklung an der Station OB4 war zu erkennen, dass die Dinophyceae ebenfalls Silikat unabhängig sind, da zu diesem Zeitpunkt in der Oderbucht keine erneute Bacillariophyceae- Entwicklung erfolgte. Zu diesem Zeitpunkt des Jahres konnte festgestellt werden, dass mit einer Steigerung der Dinophyceae- Biovolumen keine Senkung in der Silikatkonzentration erfolgte. Hingegen benötigten sie, wie alle Algen

ebenfalls anorganischen Stickstoff und Phosphat. Aufgrund von zu vielen Faktoren, wie z. B. Eintrag, Austrag, Mineralisation etc. konnte aber nicht in allen Fällen eine Nährstoffabnahme mit Steigerung der Biomasse nachvollzogen werden. So scheint die Ursache für das Wachstum dieser Algenklasse im Endeffekt sehr vielfältig zu sein, jedoch lassen die Daten über die genaue Ursache keinen Aufschluss zu. So können auch hier Faktoren, wie Licht, Zooplankton und viele andere dazu geführt haben.

### **3.9.5. Klasse der Cryptophyceae**

Bei der Untersuchung der Klasse der Cryptophyceae, wurde deren größte Vermehrung hauptsächlich im Frühjahr festgestellt. Am häufigsten traten im Untersuchungszeitraum die Arten *Cryptomonas spec.*, *Plagioselmis prolunga* und *Teleaulax acuta* auf. Sie wiesen in allen abiotischen Bereichen große Toleranzbreiten auf (Anhang: Tab. T5). So wuchsen z. B. *T. acuta* im Kleinen Haff bereits bei einer Temperatur von 0,8 °C (Jan 2001), aber in der Oderbucht auch noch bei einer Temperatur von 20 °C (Aug 1991). Ebenso wies diese Algenklasse eine große Lichttoleranz auf, denn sie vermehrten sich sowohl bei einer im Januar durchschnittlich gemessenen Sonneneinstrahlung von 1,5 Stunden pro Tag als auch im August bei 7,5 Stunden täglich.

Bei den Nährstoffen konnte man in Bezug auf den gelösten anorganischen Stickstoff und das Phosphat, wie auch schon bei den Algenklassen zuvor, nicht immer eine Abhängigkeit erkennen. Grund dafür ist u.a. die bereits erwähnte Eintragung und interne Mineralisierung von anorganischem Stickstoff und Phosphat. Das lässt darauf schließen, dass auch in diesem Fall andere Faktoren, wie z. B. das Wachstum anderer Algenklassen oder der Fraß durch Zooplankton in der Entwicklung ausschlaggebend sein könnten.

Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass aufgrund des großen Artenspektrums innerhalb der einzelnen Klassen keine konkreten Aussagen zu limitierenden Faktoren getroffen werden konnte. Vielmehr ist jede Alge von vielen abiotischen und biotischen Faktoren abhängig. Zudem hat jede Art ihren eigenen bevorzugten Bereich, der sich aber aufgrund verändernder Faktoren ebenfalls ändern kann. Zu diesem Thema schrieb Schmidt (1999), dass in der ersten Phase des Jahres die Wassertemperatur und das Licht die Hauptkontrollfaktoren beim Algenwachstum sind. Später im Jahr ist es auch das Zooplankton, das die Algen in ihrem Wachstum hindern.



### 3.10. Korrelationen zwischen den Biovolumina der einzelnen Algenarten und den abiotischen Parametern

Ziel dieses Kapitels ist es einen Vergleich zwischen den einzelnen Algenarten vorzunehmen und gegebenenfalls Zusammenhänge in deren Wachstum herauszuarbeiten. Um den Vergleich zu erarbeiten wurde sich einer Matrixkorrelation bedient. Bei dieser wurden, nach Pearson (Kapitel 2.2.), die auftretenden Algenarten der Stationen KHM und OB4 sowie die abiotischen Parameter (Nährstoffe, Sonneneinstrahlung, Temperatur und Salzgehalt) miteinander korreliert. Bei dieser Korrelation wird nicht die Höhe des Wertes sondern lediglich die Zu- und Abnahme beachtet. Aufgrund der gegebenen Daten können bei der Auswertung nicht alle auftretenden Algen berücksichtigt werden, denn sie wurden z. T. in Gruppen wie „*µ*-Algen“ oder in Gruppen mit zwei Algen (Bsp.: *Asterionella formosa*/ *Diatoma elongatum*) zusammengefasst. Somit sind diese Gruppen zu unspezifisch, um Rückschlüsse daraus zu ziehen.

#### Station KHM

An der Station KHM zeigen die Ergebnisse eine Korrelation zwischen den Algen *Coscinodiscus rothii* und *Binuclearia lauterbornii* ( $r=0,84$ ) (Tab. 9 & Anhang: Tab. T6). Während des Untersuchungszeitraumes traten sowohl im Kleinen Haff als auch der Oderbucht beide Algenarten bei einer Salinität von 0,5-2,5 PSU und bei einer sehr breiten Temperaturspanne von circa 4-25 °C auf. Jedoch unterschieden sich die Arten zum Teil in der Jahreszeit. Während *C. rothii* das gesamte Jahr über, mit einer Hauptverbreitung im Sommer und Herbst vorkam, war *B. lauterbornii* hingegen nur im Sommer und Herbst vorzufinden (Anhang: Tab. T3).

*Planktothrix agardhii* und *Scenedesmus spinosus* hatten ihr größtes Auftreten im Sommer und Herbst. Sie korrelierten an der Station KHM mit einem Koeffizienten von 0,75 sehr gut miteinander (Tab. 9 & Anhang: Tab. T6). Jedoch kristallisierten sich auch einige Unterschiede heraus. Zum einen erreichte *S. spinosus* an der Station KHM kein Biovolumen über 1 mm<sup>3</sup>/l, wie *P. agardhii*. Zum Zweiten kam diese Art seltener als *P. agardhii* vor. Zum Dritten war der Temperatur- und Salinitätsbereich bei *P. agardhii* sehr breit und daher unspezifisch (Anhang: Tab. T5), hingegen trat *S. spinosus* nur bei Salinitäten von 1 bis 3 PSU im Kleinen Haff auf. Daraus lässt sich schließen, dass *S. spinosus* eine geringe Salinitätstoleranz als *P. agardhii* hat und ihre Verbreitungsräume daher die eutrophen Süß- und Brackwassergebiete mit geringen Salinitäten sind. *P. agardhii* tritt im Unterschied dazu auch in mesotrophen Bereichen auf (Pankow 1990).

Weitere Korrelationen (0,64) traten im Kleinen Haff zwischen den Algen *Scenedesmus spec.* und *Stephanodiscus hantzschii* auf (Tab. 9 & Anhang: Tab. T6). Beide Arten entwickeln zum Sommer hin ihre größte Verbreitung, wobei sie mit einem Biovolumen größer 1 mm<sup>3</sup>/l (KHM) bzw. 0,5 mm<sup>3</sup>/l (OB4) auch bei Temperaturen ab 3 °C (*Scenedesmus spec.*) bzw. 10 °C (*S. hantzschii*) bis über 20 °C gefunden worden sind. Die Salinität betrug bei beiden Arten rund 0,5 bis 6,0 PSU (Anhang: Tab. T5). Aber während *Scenedesmus spec.* ihre Verbreitung im eutrophen Süß- und Brackwasser findet (www.algaebase.org), kommt *S. hantzschii* vor allem im Süßwasser vor und ist daher oligohalob<sup>8</sup> (www.algaebase.org). Sie wird aber auch mit dem Frischwasser in die Ostsee eingeschwemmt.

Eine weitere Korrelation konnte zwischen *Aphanizomenon baltica* und *Microcystis flos-aquae*, welche ihr Biovolumen in den Monaten Juni bis November bildeten (Anhang: Tab. T3), gefunden werden. Ihr Korrelationskoeffizient liegt bei 0,52 (Tab. 9 & Anhang: Tab. T6). Beide Arten kamen im Kleinen Haff und der Oderbucht bei Salinität von 1,5-5 PSU (*A. baltica*) bzw. 0,4-6 PSU (*M. flos-aquae*) vor, sowie bei Temperaturen um die 18 °C (*A. baltica*) und bei *M. flos-aquae* zwischen 18 und 27°C vor (Anhang: Tab. T5).

Tab. 9: Korrelationskoeffizient r zwischen den Algenbiovolumina an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) von 1987 bis 2004 - vollständig: Anhang: Tab. T6 (Datenquelle: LUNG)

1987-2004	<i>Coscinodiscus rothii</i>	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	<i>Aphanizomenon baltica</i>	<i>Planktothrix agardhii</i>
<i>Microcystis flos-aquae</i>			0,52	
<i>Binuclearia lauterbornii</i>	0,84			
<i>Scenedesmus spec.</i>		0,64		
<i>Scenedesmus spinosus</i>				0,75

### Station OB4

Im Gegensatz zum Kleinen Haff traten in der Oderbucht zum Teil andere Korrelationen auf.

Hier korrelierten vor allem *Aphanizomenon baltica* und *Planktothrix agardhii* mit einem Faktor von 0,81 miteinander (Tab. 10 & Anhang: Tab. T7). Beide Arten kamen vom Frühjahr bis Ende des Jahres vor, wobei *A. baltica* erst bei einer Temperatur von 12 °C, *P.*

<sup>8</sup> oligohalob: Affinität zum Frischwasser

*agardhii* bereits ab 2,5 °C in der Oderbucht aufgetreten ist. Ihr Temperaturmaximum liegt bei 25 °C. An der Station OB4 kamen sie im Untersuchungszeitraum bei einer Salinität von 5-8 PSU vor. Jedoch kamen sie im Kleinen Haff bei einem Biovolumen größer 1 mm<sup>3</sup>/l und an der Station OB4 größer 0,5 mm<sup>3</sup>/l bei einer Salinität von 1,5 PSU bis 5,3 PSU (*A. baltica*) bzw. 0,5 bis 8 PSU (*P. agardhii*) vor (Anhang: Tab. T5). Somit lässt sich auch hier keine größere Gemeinsamkeit der beiden Arten feststellen. Gleichwohl sind die eutrophen Gewässer ihr bevorzugtes Reservoir (<http://www.algaebase.org>).

Mit einem Koeffizienten von 0,51 korrelierten die beiden Cyanobakterien *Microcystis spec.* und *Woronichinia compacta* an der Station OB4. Sie traten an dieser Station im Sommer bzw. Frühherbst auf. Dieser relativ hohe Koeffizient kam durch das einmalige Auftreten (Sep 1991) von *Microcystis spec.*, mit einem etwas höheren Biovolumen von 0,1 mm<sup>3</sup>/l an dieser Station zu Stande. Zur selben Zeit hatte auch *W. compacta* mit 4,7 mm<sup>3</sup>/l einen Höhepunkt in der Entwicklung. Insgesamt betrachtet war das Auftreten von *W. compacta*, wie es bei vielen Cyanobakterien üblich ist, nicht nur auf den Sommer beschränkt und weist dementsprechend eine sehr breite Temperaturspanne von 5 bis 25 °C auf. Auch beim Parameter Salinität zeigte diese Art eine sehr große Toleranz, denn sie trat im Untersuchungszeitraum an den beiden Stationen KHM und OB4 bei 0,6 bis 8 PSU auf (Anhang: Tab. T5). *Microcystis spec.* hatte hingegen einen geringeren Salinitätsbereich.

Eine dritte Korrelation bestand zwischen *Fragilaria ulna* und *Diatoma elongatum*, die in der Oderbucht mit einem Faktor von 0,48 miteinander korrelierten (Tab. 10 & Anhang: Tab. T7). Sie gehörten in diesem Gewässer zum Frühjahrsplankton, so dass ihre Verbreitung bei Temperaturen von 4,0 °C (*F. ulna*) bzw. 7,0 °C (*D. elongatum*) bis 13°C begünstigt wurde. Auch bei diesen Algen konnte eine größere Spannweite bei den Parameter Salz und Temperatur verzeichnet werden (Anhang: Tab. T5). Das zeigt sich vor allem in dem relativ weiten Verbreitungsgebiet der beiden Algen. So bezieht sich das Vorkommen von *D. elongatum* auf die gesamte Ostsee sowie Brack- und Binnengewässer und das der *F. ulna* auf die mesoeuryhaline Küstengebiete der gesamten Ostsee (Pankow 1990).

Als Viertes korrelierten die Kieselalge *Skeletonema subsalsum* und die Grünalge *Scenedesmus quadricauda* miteinander ( $r=0,43$ ) (Tab. 10 & Anhang: Tab. T7). Auch wenn *S. quadricauda* das ganze Jahr in Erscheinung treten konnte, wie z. B. in wärmeren Wintern, war diese Algenart hauptsächlich eine Früh- und Herbstform, ebenso wie *S. subsalsum*. Während das aufgetretene Temperaturmaximum bei beiden Algen bei 21 °C lag, so verzeichnete die Mindesttemperatur bei der Grünalge von 3 °C und bei der

Kieselalge von 5 °C. Die Salinitäten wiesen bei beiden Phytoplanktonarten eine Spanne von 0,6-6 PSU auf (Anhang: Tab. T5).

Tab. 10: Korrelationskoeffizient r zwischen den Algenbiovolumina an der Station Oderbucht 4 (OB4) von 1986 bis 2004  
- vollständig: Anhang: Tab. T7 (Datenquelle: LUNG)

1986-2004	<i>Diatoma elongatum</i>	<i>Aphanizomenon baltica</i>	<i>Microcystis spec.</i>	<i>Skeletonema subsalsum</i>
Fragilaria ulna	0,48			
Planktothrix agardhii		0,81		
Woronichinia compacta			0,51	
Scenedesmus quadricauda				0,43

Abschließend betrachtet kann folgendes Resümee gezogen werden: die Korrelationen der Biovolumina haben nicht die erhofften Ergebnisse erbracht. So wiesen gleiche Algenarten zum Teil sehr unterschiedliche Koeffizienten an den Stationen KHM und OB4 auf, so dass man innerhalb einer so langen Zeitspanne keine Allgemeingültigkeit nachweisen konnte. Aufgrund dessen wird in den folgenden Kapiteln die Phytoplanktonverteilung anhand von Jahresereignissen, wie z. B. unterdurchschnittlich kalte bzw. überdurchschnittlich warme Jahre, ermittelt.

### 3.11. Vergleich kalter und warmer Jahre in der Entwicklung des Phytoplanktons

In diesem Kapitel soll anhand der temperaturüber- und temperaturunterdurchschnittlichen Jahre die Entwicklung der Algen genauer untersucht werden, um eventuell Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten, welche die Temperatur bewirkt, zu erschließen. Ebenfalls wird kurz auf Jahre mit durchschnittlichen Temperaturen eingegangen.

Zur Charakterisierung dieser Jahre wurde die Lufttemperatur gewählt, da diese mit einem Koeffizienten größer 0,9 mit der Wassertemperatur beider Stationen sehr gut korrelierte (Kapitel 3.4.) So ergab es sich, dass bestimmte Jahre sehr kalt bzw. heiß waren (Anhang: Tab. T2).

## Station KHM

### Heiße Jahre

1989 und 1990 waren, wie bereits im Kapitel 3.4. erwähnt, überdurchschnittlich warme Jahre. Das Jahr 1988 wies ebenfalls überdurchschnittlich hohe Temperaturen auf, so dass es mit 1,9 °C über dem Durchschnitt fast zu den heißen Jahren gehörte. Da die Temperaturen abgesehen vom April 1988 nicht stark von den Temperaturen der Jahre 1989 und 1990 abwichen, wurde das Jahr 1988 bei dieser Betrachtung mit einbezogen.

In den Wintermonaten 1987/88 wurde ein durchschnittliches Biovolumen von rund 10 mm<sup>3</sup>/l ermittelt, das vor allem durch *Skeletonema subsalsum* hervorgerufen wurde. In den Wintermonaten 1988/89 und 1989/90 betrug das Biovolumen bedeutend weniger als im Winter zuvor (Anhang: Abb. A13). Ein Grund, der diesen Unterschied erklären kann, ist die Windrichtung. Im Winter 1987/88 wurde durch den Südwind Frischwasser in das Kleine Haff eingetragen, wodurch eine Salinität von 0,8-1,3 PSU erreicht wurde. Hingegen wurde in den Wintern 1988/89 und 1989/90 Salzwasser eingetragen, in dessen Folge eine Salinität von 2 bis 3 PSU gemessen werden konnte. Aus diesem Grund konnte in den salzreicheren warmen Wintern auch ein prozentual größerer Anteil an der durch *Chroomonas spec.* gebildeten Cryptophyceae gemessen werden (1987/ 1988: 2,1 %; 1988/ 1989: 33,2 %; 1989/ 1990: 42,9). Auffällig war hingegen in den Frühjahrsmonaten 1988 die Abnahme von der im Winter im Biovolumen dominierenden *Skeletonema subsalsum*, die normalerweise erst zum Frühjahr ihre höchste Entwicklung aufwies. Vermutlich wurde in diesem Fall der Frühjahrspeak in der Messung verpasst, da der Zeitraum zwischen den Messungen fast zwei Monate betrug - am 9. Februar 1988 und dann erst wieder am 30. März 1988. Zusätzlich kamen im Frühjahr 1988 und 1990 bereits Cyanobakterien, wie z. B. *Woronichinia compacta* und fädige Blaualgen vor, die normalerweise auch erst eine Saison später auftraten. Dies ist höchstwahrscheinlich auf die hohen Temperaturen, die im April dieser Jahre bereits über 10 °C betrug, zurückzuführen. Im Gegensatz dazu wurden im Frühjahr 1989, wie auch in den meisten anderen Jahren, zu diesem Zeitpunkt lediglich 5 °C gemessen, obwohl die Lufttemperaturen für diesen Zeitpunkt ebenfalls hohe Werte aufwiesen (Anhang: Tab. T2). Das Wasser hat sich in diesem Jahr langsamer erwärmt. Eine Erklärung liefert die Möglichkeit einer zu diesem Zeitpunkt vorherrschenden kalten Wasserströmung. Der Faktor Temperatur ist somit auch hier Auslöser dafür, dass das Biovolumen der Cyanobakterien zu den anderen Jahren variierte (Tab. 11). Auch genauere Untersuchungen zeigen mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,6 für die Jahre 1988 bis 1990 sowie für alle untersuchten Jahre (1987 bis 2004) die Abhängigkeit des Biovolumens

der Cyanobakterien von der Temperatur. Es bestätigt sich insofern die Annahme, dass das Biovolumen der Cyanobakterien mit steigender Temperatur zunimmt (Anhang: Abb. A13-A15).

In den Sommermonaten 1988 und 1989 traten vermehrt *Microcystis spec.* auf, die aufgrund der sinkenden Salinitäten an der Station KHM durch Flusswasser, wie z. B. der Oder, eingetragen worden sind (Tab. 11). Der Sommer 1990 weist zu seinen hohen Salzgehalten auch typische Ostseealgen auf, wie z. B. *Aphanizomenon baltica*, so dass hier ein Ostseezufluss vorlag.

Tab. 11: Cyanobakterienarten und prozentualer Anteil des Cyanobakterienbiovolumens am Gesamtbiovolumen und die höchste Wassertemperatur und der höchste Salzgehalt [PSU] während der Monate Juni bis August 1988 bis 1990 (Datenquelle: LUNG)

	<b>Sommer 1988</b>	<b>Sommer 1989</b>	<b>Sommer 1990</b>
Temperatur [°C]	19,7	21,3	20,4
Salinität [PSU]	0,5	1,4	2,6
%-ualer Anteil am Gesamtbio- volumen [%]	30	78	56
Cyanobakterien-Arten	<i>Microcystis spec.</i>	<i>Microcystis spec.</i>	<i>A. baltica</i> , <i>P. gardhii</i> , <i>W. compacta</i>

Die Herbstmonate 1988 bis 1990 bestätigten den oben genannten Zusammenhang zwischen Temperatur und dem Biovolumen der Cyanobakterien. In dieser Zeit hatten die Cyanobakterien durch die relativ hohe existierende Temperatur im Vergleich zu kälteren Jahren ebenfalls ein hohes Biovolumen (Anhang: Abb. A13- A15 & Tab. T2). In jedem dieser drei Jahre nahm in den Herbstmonaten der Salzgehalt durch Salzwassereinstrom aus der Ostsee zu (Anhang: Tab. T1). Daraus erschließt sich, dass *Microcystis spec.*, *Aphanizomenon baltica*, *Planktothrix agardhii* und *Woronichinia compacta* sich bei höherem Salzgehalt ebenfalls vermehren konnten und zeigt, dass sie gut an wechselnde Bedingungen angepasst sind. So wurden im gesamten Zeitraum der Algenuntersuchung von 1986 bis 2004 diese Arten bei Salinitäten in der Spanne von 0,6 bis 8 PSU an der Station OB4 gefunden (Anhang: Tab. T4).

#### Sehr kalte Jahre

Die Jahre 1993, 1996 und 1997 waren, wie eingangs bereits aufgeführt, sehr kalte Jahre (Anhang: Tab. T2). In diesen Jahren konnte im Vergleich zu den heißen Jahren ein geringeres Biovolumen der Algen und eine andere Artenzusammensetzung als in den warmen Jahren verzeichnet werden (Anhang: Abb. A13-A15). Jedoch kam es durch

Eisgang auf dem Kleinen Haff auch in diesem Winter zu fehlenden Messungen. Die Wetterbedingungen erlaubten Messungen nur im Februar 1993 und im Februar 1997, bei denen hohen Salinitäten (1993: 3,9 PSU und 1997: 2,4 PSU) und geringe Biovolumina von 1,1 mm<sup>3</sup>/l bis maximal 1,5 mm<sup>3</sup>/l (Anhang: Abb. A14) ermittelt wurden. In beiden Wintern betrug das Biovolumen der Bacillariophyceae rund 0,3 mm<sup>3</sup>/l, welches im Februar 1993 durch *Nitzschia acicularis* und im Februar 1997 durch zentrische Diatomeen gebildet wurde. Im Winter 1992/1993, der wärmer war als die anderen beiden Winter (Anhang: Tab. T2), bildeten die Chlorophyceae (*Scenedesmus spec.*) mit 0,5 mm<sup>3</sup>/l 55 % des Gesamtbiovolumens und die Cryptophyceae ein geringeres Volumen (0,1 mm<sup>3</sup>/l) aus. Es ist für Chlorophyceae sehr ungewöhnlich ein so hohes Biovolumen in einem kalten Winter zu entwickeln, weil sie gewöhnlich erst zum Mai/ Juni ihren Entwicklungshöchststand aufweisen. Das bestätigen ebenfalls die Werte der Jahre 1988 bis 1990, wo zur Winterzeit weniger Chlorophyceae biovolumen gemessen wurde. Außerdem weist der hohe Salzgehalt (3,9 PSU) eher auf Salzwasser, als auf Frischwassereinfuhr hin, obwohl das Vorkommen der Chlorophyceae typisch für Frischwasser ist (Wasmund et al. 1999). Aufgrund fehlender Daten im Dezember 1992 und Januar 1993 bleibt jedoch nur die Vermutung, dass entweder doch ein großer Frischwasserzufluss stattfand, wobei die vorliegenden Werte zu dieser Jahreszeit selbst dann sehr ungewöhnlich sind, oder es sich gegebenenfalls um eine falsche Bestimmung der Alge handelt.

Im Februar 1997 traten hingegen die kaltwasserliebenden Cryptophyceae mit 78 % des Gesamtbiovolumens auf. So wurde dieses Biovolumen von 1 mm<sup>3</sup>/l durch *Teleaulax acuta* dominiert.

Im Frühjahr 1993, 1996 und 1997 war ein leichter, den relativ hohen Salzgehalt an der Station KHM jedoch nicht stark verringernder, Frischwassereinstrom vorhanden. Das Biovolumen stieg in dieser Zeit im Vergleich zum Winter um das 10fache. Nur das Frühjahr 1996, wo durch die kalten Temperaturen (Dez: -4,6 °C, Jan: -3,8 °C, Feb: -4,4 °C, Mrz: -1,4 °C) aufgrund von einer Eisschicht bis Mai keine Probe genommen werden konnten, war im Biovolumen gering (Mai: 6,4 mm<sup>3</sup>/l). Somit konnte wieder festgestellt werden, dass die kalten Temperaturen ausschlaggebende für das geringe Biovolumen waren. Allerdings war die Diversität trotz des geringen Biovolumens sehr groß (Tab. 12).

Tab. 12: Algenarten (Biovolumen >0,001 mm<sup>3</sup>/l) an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) im Frühjahr 1993, 1996 und 1997 (Datenquelle: LUNG)

	<b>1993</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>
<b>Bacillariophyceae</b>	<i>Asterionella formosa</i> <i>Nitzschia acicularis</i>	<i>Diatoma elongatum</i>	<i>Coscinodiscus rothii</i> <i>Thalassiosira baltica</i>
<b>Cyanobacteria</b>	/	/	/
<b>Chlorophyceae</b>	<i>Scenedesmus spec.</i>	<i>Scenedesmus spec.</i> <i>Chlamydomonas spec.</i>	<i>Scenedesmus spec.</i>
<b>Dinophyceae</b>	<i>Heterocapsa rotundatum</i>	/	<i>Heterocapsa rotundatum</i>
<b>Cryptophyceae</b>	<i>Teleaulax acuta</i>	<i>Teleaulax acuta</i>	<i>Teleaulax acuta</i>

In den Sommermonaten der kalten Jahre hatten die Cyanobakterien, im Gegensatz zu den heißen Jahren 1988 bis 1990, keine Dominanz. Hier wird erneut gezeigt, dass die Cyanobakterien hohe Temperaturen benötigen bzw. bevorzugen. Die Bacillariophyceae, zum Teil auch die Chlorophyceae, bildeten in dieser Saison eine starke Fraktion (Anhang: Abb. A14). In der Klasse der Bacillariophyceae traten vor allem *Skeletonema spec.* und *Coscinodiscus rothii* und bei den Chlorophyceae *Scenedesmus spec.* auf. Es war ebenfalls ersichtlich, dass das Biovolumen der Cyanobakterien im Verlauf der kalten Jahre schneller als in den warmen Jahren sank. Dieser Umstand ist auch dafür verantwortlich, dass sich die Cyanobakterien in den Herbstmonaten der warmen Jahre vermehren konnten, währenddessen in den Jahren 1993, 1996 und 1997 zu diesem Zeitpunkt bereits eine starke Abnahme im Biovolumen der Cyanobakterien zu verzeichnen war (Anhang: Abb. A13 & A14). Dafür konnten hier jedoch die kaltwasserliebenden Bacillariophyceae ihr Biovolumen zu einem zweiten Peak steigern. Da wie im Kapitel 3.6. bewiesen wurde die Nährstoffe zu keiner Zeit limitierend waren, kann der Grund für den Unterschied im Biovolumen der Klassen nur die starke Präsenz der Cyanobakterien in den warmen Jahren sein. Sie waren im Herbst 1988 bis 1990 so stark vertreten, dass die Bacillariophyceae dadurch keine größere Biomasse entwickeln konnten. Außerdem war ihr bevorzugter Bereich in den Herbstmonaten 1993, 1996 und 1997 mit einer Temperatur um die 10 °C nicht mehr gegeben.

In der Algenzusammensetzung an der Station KHM ist im Sommer 1997 kein größerer Unterschied zu anderen kälteren Jahren erkennbar, obwohl die Oder zu diesem Zeitpunkt Hochwasser führte. Man hatte hier vor allem mehr Chlorophyceae und Cyanobakterien erwartet, was aber durch die schnellen Abfluss durch die Swina verhindert wurde (Fenske et al. 2001), so dass die Oderflut keinen großen Einfluss auf die Station Kleines Haff Mitte hatte.



### Temperaturdurchschnittliche Jahre

In der Periode von 1976 bis 2004 können die Jahre 1976, 1980, 1984 sowie die Jahre 2001 und 2004 aufgrund der vorliegenden Temperaturwerte als durchschnittliche Jahre bezeichnet werden (Anhang: Tab. T2).

Wie bereits im Kapitel 2.2. erläutert, liegen für die Jahre bis 1986 keine Algendaten vor. Aus diesem Grund können für die Analyse der Algenentwicklung bei durchschnittlichen Temperaturwerten nur die Jahre 2001 und 2004 herangezogen werden. Allerdings kann von den Ergebnissen dieser zwei Jahre kein Rückschluss auf andere temperaturdurchschnittliche Jahre erfolgen, da sich die Algenzusammensetzung über die Zeit zum Teil sehr verändert hat (Anhang: Abb. A16 – A19). Betrachtet man die Wintermonate 2001 und 2004 und auch zum Teil noch die Frühjahrsmonate, war auffällig, dass die Cryptophyceae mit *Teleaulax acuta* stark vertreten war (Anhang: Abb. A15). Ab dem Frühjahr konnten auch hier die Bacillariophyceae nachgewiesen werden. 2001 repräsentieren vor allem *Stephanodiscus neostreae*, *Fragilaria ulna* und zentrische Diatomeen das Bacillariophyceaeplankton, während es im Jahr 2004 vor allem von *Thalassiosira* spec. und zentrische Diatomeen gebildet wurde. Das Sommerplankton ist, wie bereits in den heißen und sehr kalten Jahren nachgewiesen werden konnte, durch Cyanobakterien dominiert, die aufgrund der steigenden Temperatur ein starkes Biovolumen entwickelt hatten. Die vorkommenden Cyanobakterien- Arten wiesen im Sommer 2001 eine hohe Diversität auf. So kamen *Planktothrix agardhii*, *Woronichinia* spec., *Pseudoanabaena limnetica*, *Microcystis* spec. und *Anabaena spiroides* vor. Im Sommer 2004 hingegen wurde das Biovolumen der Cyanobakteria nur durch *Microcystis aeruginosa* und *Microcystis flos-aquae* gebildet. Der Umstand, dass trotz ähnlicher Temperaturen eine unterschiedlich Artenzusammensetzung auftritt, ist jedoch nicht mit einem unterschiedlichen Einstrom erklärbar, da der niedrige Salzgehalt in beiden Jahren auf ein Flusswassereintrag hinweist (Abb. 2). Auch bei Betrachtung der Nährstoffe, Sonneneinstrahlung und anderen abiotischen Parametern ist kein großer Unterschied erkennbar, der eine Erklärung für die unterschiedlich auftretende Diversität bietet. Insofern lassen sich lediglich Vermutungen über die Unterschiede anstellen. Eine Begründung für diesen Umstand könnte bereits direkt im Fluss (Oder) liegen, aus denen die Algen in das Kleine Haff eingetragen wurden. Hier könnten aus der Oder genommenen Proben Aufschluss geben, ob sie ebenfalls hauptsächlich *Microcystis* spec. aufweisen. Ein anderer Grund könnte der Fraß durch Zooplankton sein, die einige Algenarten bevorzugen (Heerkloß et al. 1993).

Im Herbst 2004 wurden weiterhin fast nur die *Microcystis*- Arten an der Station Kleines Haff Mitte bestimmt, wobei sich deren Biovolumen um die Hälfte reduziert hat (Anhang: Abb. A15). Im Herbst 2001 wurden die Cyanobakteria fast vollständig von den Bacillariophyceae verdrängt. Auch hier kann die Entwicklung auf den übergeordneten Faktor Temperatur zurück zuführen sein. Genauso gut können aber ebenfalls die Strömung, das Licht und viele anderen Parameter ihren Einfluss gehabt haben.

#### **Station Oderbucht 4**

##### Heiße Jahre

An der Station OB4 waren trotz ähnlicher Temperaturen in den Jahren 1988 bis 1990 jeweils große Unterschiede in der Algenzusammensetzung ersichtlich (Anhang: Abb. A20). Zum Beispiel hatte im gesamten Jahr 1989 keine Chlorophyceae- Art ein Biovolumen größer  $0,001 \text{ mm}^3/\text{l}$ . Ausschlaggebend dafür könnte der durchgängig hohe Salzgehalt gewesen sein (Anhang: Tab. T1), der bei 7,5 bis 9,7 PSU lag. Die Chlorophyceae sind jedoch typische Frischwasseralgen (Strasburger 1991), so dass die Salinität über ihrem Toleranzbereich gelegen haben kann und sie aus diesem Grund nicht mehr auftraten. Erst im Herbst 1990, als aufgrund von Frischwassereinfluss eine Salinitätssenkung vorlag, traten die ersten Chlorophyceae mit einem höheren Biovolumen auf. Die selbe Ursache kann auch das geringe Biovolumen der Cyanobakterien hervorgerufen haben.

Eine weitere Besonderheit der sogenannten heißen Jahre wies das Frühjahr 1990 an der Station OB4 auf. Zu dieser Zeit wurde kein Biovolumina der Bacillariophyceae gefunden, die während dieser Saison normalerweise ihr höchstes Biovolumen entwickelten. Es kann aber auch der Fall sein, dass aufgrund einer fehlenden Messung der Phytoplanktongemeinschaft und des Chlorophyll a- Gehaltes im April diese Entwicklung verpasst wurde. Hinzu kommen die sehr außergewöhnlich hohen Salinitäten (ca. 9 PSU), durch einen sehr starken Einstrom von salzreichem Wasser aus dem Westen. Es kann hier eine Unterdrückung durch den hohen Salzgehalt vorgelegen haben, denn laut Wasmund et al. (1999) findet in der Ostsee eine negative Korrelation zwischen dem Salzgehalt und dem Biovolumen der Bacillariophyceae statt. Zum selben Zeitpunkt verringerten sich in den Frühjahrsmonaten die Nährstoffkonzentrationen. Dies kann zum einen auf eine Blüte hinweisen, könnte aber ebenso durch den starken Einstrom nährstoffärmeren Ostseewasser bedingt sein. Aufgrund der bekanntlich großen Toleranz von Brackwasserorganismen (Strasburger 1991) kann davon ausgegangen werden, dass eine Blüte vorhanden war, die aber aufgrund der fehlenden Messung nicht nachgewiesen werden konnte. Im Sommer des

Jahres 1990 waren die Bacillariophyceae durch zentrische Diatomeen und *Cyclotella spec.* vertreten. Darüber hinaus war die sehr geringe Entwicklung der Cyanobakterien (*Woronichinia compacta* 0,3 mm<sup>3</sup>/l (Anhang: Tab. T7)), die aber normalerweise bei hohen Temperaturen, wie in jenem Sommer, sehr gut wachsen, außergewöhnlich. Auch hier können verschiedene Faktoren diesen Umstand bedingt haben. Zum einen war der Salzgehalt mit einem Wert um 1,5 bis 2 PSU aufgrund eines Ostwindes im Gegensatz zum Frühjahr geringer. Die Wassertemperaturen lagen mit 18 °C nicht im Extrembereich und die Nährstoffe als auch die Sonneneinstrahlung waren ebenfalls im ausreichenden Maß vorhanden. Wie bereits bei den Bacillariophyceae ist auch hier möglich, dass zwar eine größere Entwicklung im August stattfand, aber aufgrund fehlender Proben nicht nachweisbar war. Eine andere Möglichkeit besteht jedoch darin, dass eine sehr große Population an Zooplankton vorhanden war, welche die Cyanobakterien und andere Algenklassen durch Fraß dezimiert haben. Unter anderem publizierte Herrkloß et al. (1993), dass durch gewisse Cyanobakterien- Arten die Entwicklung des Zooplanktons gehemmt wird, was somit die Möglichkeit einer verpassten Messung erhöht.

#### Sehr kalte Jahre

In den sehr kalten Jahren war, im Vergleich zu den heißen Jahren 1988 bis 1990 auffallend, dass die Biomasse vor allem im Winter geringer war (Anhang: Abb. A20 & A21). Während der Jahre 1993, 1996 und 1997 war zu verzeichnen, dass niedrigere Salzgehalte höhere Biovolumina bedingten (Tab. 13). Zudem war die Diversität, wie auch schon an der Station KHM in den kalten Jahren hoch.

Tab. 13: Gesamtbiovolumen und Salinität in den Frühjahren 1993, 1996 und 1997 an der Station OB4 (Datenquelle: LUNG)

	Salinität [PSU]	Gesamt- biovolumen [mm <sup>3</sup> /l]	Arten
<b>Frühjahr 1993</b>	5,2	4,4	<i>Nitzschia acicularis</i> , <i>Chroococcale Zellen</i> , <i>Gymnodium albulum</i> , <i>Teleaulax acuta</i>
<b>Frühjahr 1996</b>	4,1-5,4	19,9	<i>Asterionella formosa</i> / <i>D. elongatum</i> , <i>zentrische Diatomeen</i> , <i>Skeletonema costatum</i> , <i>Chlamydomonas spec.</i> , <i>Scenedesmus spec.</i> , <i>Peridinales</i>
<b>Frühjahr 1997</b>	6,3-7,4	1,4	<i>Diatoma elongatum</i> , <i>zentrische Diatomeen</i> , <i>Teleaulax acuta</i>

Im folgendem soll nun auf die Sommermonate eingegangen werden.

Vergleicht man die kalten Jahre, so ist erkennbar, dass die Cyanobakterien nur im Sommer 1997 ein größeres Biovolumen bildeten (Anhang: Abb. A21). In jenem Sommer sank der Salzgehalt an der Station OB4 bis auf 4,2 PSU ab, welches auf den durch das Hochwasser bedingten starken Odereinfluss durch die Swina zurückzuführen war (Abb. 1). In den Sommermonaten wurden vor allem *Microcystis aeruginosa* und *M. flos-aquae* festgestellt, die wahrscheinlich mit dem Oderwasser eingetragen worden sind. Die Algendiversität war, im Vergleich zu den sehr kalten Jahren 1993 und 1996, in den Sommermonaten 1997 höher (Tab. 10).

Eine große Besonderheit stellt der Sommer 1996 dar, in dem nur *Aphanizomenon baltica* mit einem Biovolumen von 0,001 mm<sup>3</sup>/l auftrat (Tab. 14). Ursache für diese Begebenheit könnte die sehr niedrige Temperatur sein. Diese stieg am Anfang der Saison nur auf 10 °C und im August lediglich auf 15 °C an. Hinzu kam der durch einen Westfernttransport verursachte hohe Salzgehalt am Anfang der Saison. Ebenso war im Juni und Juli eine unterdurchschnittliche Sonnenscheindauer von 5,8 h/d zu verzeichnen. All diese genannten Faktoren, sprich die geringe Sonneneinstrahlung, die geringe Wassertemperatur und der hohe Salzgehalt können zur Verhinderung der Cyanobakterien- Entwicklung in ihrem gewohnten Maße beigetragen haben. Es ist jedoch auch hier zu berücksichtigen, dass der Fraßdruck durch das Zooplankton ein weiterer Faktor für das geringe Wachstum der Cyanobakterien gewesen sein kann.

Tab. 14: Algenarten (BV > 0,001 mm<sup>3</sup>/l) an der Station OB4 im Sommer 1993, 1996 und 1997 (Datenquelle: LUNG)

	1993	1996	1997
<b>Bacillariophyceae</b>	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	/	<i>Coscinodiscus rothi</i> , <i>Skeletonema subsalsum</i> , <i>Stephanodiscus hantzschii</i> , <i>Thalassiosira spec.</i> , <i>Melosira spec.</i>
<b>Cyanobakteria</b>	<i>Woronichinia compacta</i> , <i>Anabaena spiroides</i>	/	<i>Limnothrix redekei</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>M. flos-aquae</i> , <i>Snowella spe.</i> , <i>Woronichinia compacta</i>
<b>Chlorophyceae</b>	<i>Oocystis spec.</i>	<i>Carteria spec.</i>	<i>Scenedesmus spec.</i>
<b>Dinophyceae</b>	<i>Heterocapsa rotundatum</i>	<i>Heterocapsa rotundatum</i>	/
<b>Cryptophyceae</b>	<i>Teleaulax acuta</i>	<i>Plagioselmis prolonga</i>	<i>Plagioselmis prolonga</i> , <i>Teleaulax acuta</i>

### Temperaturdurchschnittliche Jahre

Einleitend ist darauf hinzuweisen, dass, ebenso wie für die Station KHM gilt, keine Rückschlüsse von den temperaturdurchschnittlichen Jahren 2001 und 2004 auf andere Jahre in der gleichen Temperaturspanne gezogen werden können, da sich wie in Kapitel 3.12. erläutert die Algenzusammensetzung geändert hat (Anhang: Abb. A23- A26).

An der Station OB4 wurde der Winter, vergleichbar mit der Station KHM, in diesen Jahren nur von Cryptophyceae (*T. acuta* und *P. prolonga*) repräsentiert. Der Salzgehalt lag in beiden Wintern im Durchschnitt bei 6,5 bis leicht erhöht. Da bei den Cryptophyceae wahrscheinlich ein Trend zu erkennen ist, wurde hier im Kapitel 3.8. schon näher eingegangen. Das Cryptophyceae- Biovolumen war im Vergleich zu den sehr kalten und heißen Jahre auch in den Frühjahrsmonaten hoch (Anhang: Abb. A20 –A22). Zum Sommer dominierten die Cyanobakteria mit den Arten *W. compacta* und zum Teil auch *A. spiroides*. Im Herbst 2001 wurde dieses Biovolumen noch gesteigert (Anhang. Abb. A22), so dass es einen Wert von 0,5 mm<sup>3</sup>/l erreichte. Da die Cyanobakterien wärmere Temperaturen bevorzugen, kann die Temperatur jedoch nicht Auslöser für die Zunahme gewesen sein, da diese 2001 schneller abkühlte, als im Jahr 2004 (Tab. 15). Im Gegensatz haben die Cryptophyceae, die kaltes Wasser bevorzugen, im Herbst 2001 bereits ein Biovolumen von 0,1 mm<sup>3</sup>/l aufgebaut. Dieses Wachstum steht wahrscheinlich mit dem Salzgehalt in Zusammenhang, der im Herbst 2001 abnahm und im Herbst 2004 zunahm.

Tab. 15: Wassertemperatur im Sommer und Herbst 2001 und 2004 an der Station OB4 (Datenquelle: LUNG)

	<b>Juni</b>	<b>Juli</b>	<b>August</b>	<b>September</b>	<b>Oktober</b>	<b>November</b>
<b>2001</b>	13,1	19,0	20,6	16,4	12,6	6,9
<b>2004</b>	15,1	19,7	20,7	17,9	10,8	9,1

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Untersuchungen ergeben haben, dass Algenbiovolumina und –zusammensetzungen sehr verschieden waren und dieses durch viele Faktoren verursacht wurde.

### **3.12. Veränderung der Artengemeinschaft**

Um zu untersuchen, ob es einen Zusammenhang zwischen der Veränderung der Artengemeinschaft und der Temperatur gibt, wird im nun folgenden Kapitel ein Vergleich der Algenzusammensetzung in den überdurchschnittlich warmen und den unterdurchschnittlich kalten Jahren für die Station KHM und die Station OB4 angestellt. Für die Untersuchung wurde sich der Korrelationsanalyse nach Pearson bedient. Bei dieser

Matrixkorrelation wurden, wie bereits im Kapitel 3.10., aufgrund von der unspezifischen Gruppeneinteilung einiger Algen, nicht alle in der Arbeit aufgeführten Algen berücksichtigt. Abschließend werden die Artenänderungen näher betrachtet.

### Veränderungen der Artengemeinschaft an der Station KHM

In den heißen Jahren 1988 bis 1990 konnte nur eine geringe Anzahl miteinander korrelierender Algen gefunden werden (Tab. 16).

Zwei der miteinander korrelierenden Algen waren mit einem Faktor von 0,96, die beiden Cyanobakterien- Arten *Aphanizomenon baltica* und *Microcystis spec.* (Tab. 16). Beide Arten entwickelten im Sommer 1989 ihr größtes Biovolumen, wobei *Microcystis spec.* 31,1 mm<sup>3</sup>/l und *A. baltica* 0,7 mm<sup>3</sup>/l aufwies.

Auch die Algen *Diatoma elongatum* und *Amphidinium crassum* korrelierten miteinander, wobei *A. crassum* häufiger und in einem größeren Biovolumen vorkam. Den Algen ist gemein, dass sie kältere Temperaturen bevorzugen. So bildeten sie hauptsächlich in den Winter- und Frühjahrsmonaten Biovolumina aus.

Innerhalb der temperaturüberdurchschnittlichen Jahre entwickelte *S. quadricauda* mit Zunahme der Salinität auch ihr Biovolumen ( $r= 0,6$ ) (Tab. 16).

Tab. 16: Korrelationskoeffizient r zwischen den Algenbiovolumina an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) in den heißen Jahren 1988-1990 - vollständige: Anhang: Tab. T8 (Datenquelle: LUNG)

<b>1988, 1989, 1990</b>	Salz	<i>Diatoma elongatum</i>	<i>Aphanizomenon baltica</i>
Microcystis spec.			0,96
Scenedesmus quadricauda	0,62		
Amphidinium crassum		0,75	

Im Unterschied zu den heißen Jahren, gab es in den kalten Jahren zum einen eine höhere Anzahl von Korrelationen und zum zweiten korrelierten andere Algenarten miteinander.

Auffällig war, dass selbst die ansonsten positive Korrelation von *S. quadricauda* mit dem abiotischen Faktor Salz, in den kalten Jahren zu einer negativen Korrelation gleicher Größenordnung geworden ist (Tab. 17).

Ein dritter Unterschied zu den heißen Jahren war ebenfalls, dass die Korrelationen nicht in erster Linie durch Cyanobakterien (50 %), sondern in den Jahren 1993, 1996 und 1997 durch Bacillariophyceae geprägt wurden (Tab. 17).

Besonders auffällig war hier der zwischen *D. elongatum* und *Chlamydomonas spec.* bestehende Korrelationskoeffizient von 1 (Signifikanz:  $p= 2,0 \cdot 10^{-38}$ ,  $n= 27$ ) (Tab. 17). Laut dem Ergebnis steigt bzw. sinkt das Biovolumen dieser beiden Arten linear zueinander, was anhand der Daten aber nicht ersichtlich wurde. Vielmehr kommt das Ergebnis aufgrund des hohen Biovolumens im April 1996 zu Stande. Zu diesem Zeitpunkt wurde bei *D. elongatum* ein Volumen von 3,0 mm<sup>3</sup>/l und bei *Chlamydomonas spec.* eines von 1,7 mm<sup>3</sup>/l ermittelt. Während der anderen Messungen wurden nur Werte um die 0,001 mm<sup>3</sup>/l gemessen.

Tab.17: Korrelationskoeffizient r zwischen den Algenbiovolumina an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) in den sehr kalten Jahren 1993, 1996 und 1997- vollständige: Anhang: Tab. T9 (Datenquelle: LUNG)

1993, 1996, 1997	Salz	Wassertemp	SiO4-Si	<i>Coscinodiscus rothii</i>	<i>Diatoma elongatum</i>	<i>Skeletonema subsalsum</i>	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	Aphanizomenon baltica	<i>Planktothrix agardhii</i>	<i>Woronichinia compacta</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	<i>Heterocapsa rotundatum</i>
<i>Coscinodiscus rothii</i>	-0,56	0,58	-0,53									
<i>Planktothrix agardhii</i>												
<i>Woronichinia compacta</i>						0,55	0,51	0,47				
<i>Oocystis spec.</i>										0,71		
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	-0,60			0,55								
<i>Scenedesmus spec.</i>									0,83			
<i>Scenedesmus spinosus</i>											0,79	
<i>Chlamydomonas spec.</i>					1,00							
<i>Teleaulax acuta</i>								0,52				0,52

Betrachtet man im gesamten Untersuchungszeitraum die Phytoplanktonzusammensetzung genauer (Anhang: Tab. T3), so zeigt sich bei der Untersuchung, dass sie in ihrem Auftreten an der Station KHM eine große Variabilität aufwies.

Untersuchungen zur Algenzusammensetzung Anfang der 90er Jahre machten eine Veränderung ersichtlich. Algen, die über mehrere Jahre auftraten, verschwanden zu diesem Zeitpunkt und neue Algen erschienen (Anhang: Tab. T3).

Zum Beispiel trat die Algenart *Nitzschia acicularis* erstmals nach dem temperaturüberdurchschnittlichen Winter im Frühjahr 1992 auf (Anhang: Tab. T3). Obwohl sie eine Frühjahrsform ist, zeigen die Daten, dass für ihre Entwicklung warme Winter von

Bedeutung sind. Diese Aussage bekräftigt sich, da *N. acicularis* nach dem Frühjahr 1995 nicht mehr auftrat, da dann die sehr kalten Winter 1995/1996 und 1996/1997 mit teilweise dicker Eisdecke folgten. Verwunderlich ist vielleicht, warum *N. acicularis* im Frühjahr des sehr kalten Jahres 1993 auftrat, jedoch ist dies auf den von durchschnittlichen Temperaturen geprägten Winter 1992/1993 zurückzuführen.

Eine weitere Veränderung konnte bei *Scenedesmus quadricauda* beobachtet werden, die bis 1992 regelmäßig vorkam (Anhang: Tab. T3). Sie trat bis dato sowohl im Frühjahr als auch im Sommer und Herbst und teilweise auch in überdurchschnittlich warmen Wintern, wie z. B. 1987/1988, 1990/1991 und 1991/1992, auf. Nach dem sehr kalten Jahr 1993 konnte *S. quadricauda* nur noch einmal im Sommer 1994 gefunden werden. Das Jahr 1995 kann im Durchschnitt zwar nur als kühl bezeichnet werden (Anhang: Tab. T2), aber gerade die Frühjahrs- und Sommermonate waren kalt, so dass die Alge nicht auftrat. Die Jahre 1996 und 1997 waren wiederum sehr kalt, so dass die Alge anscheinend temperaturbedingt komplett verschwand.

Es waren auch noch weitere Algenarten in den Veränderungen Anfang der 90er inbegriffen, wie z. B. die erstmalig im Sommer 1990 vorkommende *Planktothrix agardhii*, die dann ab 1993 fast regelmäßig im Sommer und Herbst auftrat.

Es existierten auch Algen, die, wie *Prorocentrum minimum*, nur einmalig im Sommer 1993 oder, wie *Heterocapsa rotundatum*, mehrmalig (Frühjahr 1993, Herbst 1993, 1994) auftraten. Diese Algen wurden anscheinend mit der Strömung von der Ostsee in das Kleine Haff hineingetragen. Da diese Alge an OB4 beständiger war, liegt die Vermutung nahe, dass sich die Alge hier aufgrund des niedrigen Salzgehaltes oder der ständig ändernden Bedingungen nicht etablieren konnte.

Innerhalb der Klasse der Cryptophyceae ist ebenfalls eine Veränderung aufgetreten – allerdings anderer Art. Hier gab es Anfang der 90er Jahre eine taxonomische Neuarbeitung, so dass die Alge *Chroomonas* spec. in die Algen *Teleaulax acuta* und *Plagioselmis prolunga* umgeschrieben wurde. Zum Beginn des Untersuchungszeitraumes traten vor allem *Chroomonas* spec. und *Cryptomonas* spec. auf. Ab 1991 wurde *Chroomonas* spec. als *Teleaulax acuta* und *Plagioselmis prolunga* gezählt. Diese Algen kamen somit im gesamten Untersuchungszeitraum an der Station KHM sehr häufig vor (Anhang: Tab. T3). Die dominierende Algenart unter den Cryptophyceae war, basierend auf ihrem großen Biovolumen und häufigen Auftreten, *T. acuta*.



## Veränderungen der Artengemeinschaft an der Station OB4

In den heißen Jahren 1988 bis 1990 traten, übereinstimmend mit den Ergebnissen an der Station KHM, nur wenige Korrelationen zwischen den Algen auf (Tab. 18). Jedoch unterschieden sich die Korrelationen an der Station OB4 von denen an der Station KHM.

Im Gegensatz zur Station KHM waren die Korrelationen zwischen den Algen in den heißen Jahren nicht zum größten Teil durch Cyanobakterien vertreten, sondern durch Bacillariophyceae und Chlorophyceae (Tab. 18 & Anhang: Tab. T10). Allerdings wurde der größte Korrelationskoeffizient durch die Cyanobakterien *W. compacta* und *A. baltica* gebildet (Tab. 18). Während jedoch *W. compacta* sehr häufig in diesen Jahren in Erscheinung trat, war *A. baltica* nur im Herbst 1988 und im November 1990 existent. Daraus kann geschlossen werden, dass der Temperatur- und Salinitätsbereich, in dem *W. compacta* ein Biovolumen bildete, größer gewesen ist, als der von *A. baltica* (Anhang: Tab. T5).

Tab. 18: Korrelationskoeffizient  $r$  zwischen den Algenbiovolumina an der Station Oderbucht 4 (OB4) in den heißen Jahren 1988-1990  
-vollständige: Anhang: Tab. T10 (Datenquelle: LUNG)

1988, 1989, 1990	<i>Diatoma elongatum</i>	<i>Nitzschia acicularis</i>	<i>Aphanizomenon baltica</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	<i>Amphidinium crassum</i>
<i>Nitzschia acicularis</i>	0,47				
<i>Skeletonema costatum</i>	0,65	0,65			
<i>Woronichinia compacta</i>			0,74		
<i>Binuclearia lauterbornii</i>			0,47		
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	0,47				
<i>Amphidinium crassum</i>				0,53	
<i>Chroomonas spec.</i>					0,55

Die sehr kalten Jahre 1993, 1996 und 1997 wiesen, wie bereits an der Station KHM, auch an der Station OB4 eine viel höhere Anzahl an Korrelationen zwischen den Algenbiovolumina auf (Anhang: Tab. T11). Zur Mehrheit werden die Korrelationen hier durch Bacillariophyceae und Cyanobakterien verursacht. Ein Zusammenhang war zwischen den Jahren allerdings nicht zu erkennen. Jedoch kam es auch in diesen Jahren zu Korrelationen mit abiotischen Parametern, wie dem Salz. Unter anderem konnte eine negative Korrelation zwischen der Salinität und *F. ulna* beobachtet werden (Anhang: Tab. T11), was sich insofern bemerkbar machte, als dass das Biovolumen dieser Alge bei sinkenden Salinitäten zunahm.

Betrachtet man die Algenzusammensetzung in der Oderbucht Anfang der 90er Jahre, so konnte eine Veränderung nicht so eindeutig, wie an der Station KHM, festgestellt werden (Anhang: Tab. T4).

Die zur Klasse der Cryptophyceae gehörenden *Rhodomonas spec.* kam an der Station OB4 nur von 1991 bis 1993 vor. Aufgrund der höheren Salinitäten im Herbst 1991 liegt die Vermutung nahe, dass diese Algenart aus der westlichen Ostsee eingetragen wurde, sich aber im Endeffekt aufgrund stark schwankender Umweltbedingungen, wie z. B. bei geringen Salinitäten nicht entwickeln konnte. Die Untersuchungen haben ergeben, dass sie nur bei Salzgehalten von 6,5 bis 7,8 PSU in der Oderbucht auftrat.

*Heterocapsa rotundatum*, die zur Klasse der Dinophyceae zählt, wurde erstmals im Sommer 1993 in der Station OB4 bestimmt (Anhang: Tab. T4) und trat seitdem fast jährlich auf, besonders häufig seit dem Jahr 2000. Sie scheint durchschnittliche Temperaturen zu bevorzugen, da sie hauptsächlich bei 7,5 bis 14,7 °C auftrat (Anhang: Tab. T4), die vor allem ab dem Jahr 2000 in den Frühjahrs- und Herbstmonaten vorhanden waren.

Die Algenart *Amphidium crassum* wurde nur bis zum Winter 1991/1992 häufiger an der Station OB4 bestimmt und konnte dann nach einem Zeitraum von sechs Jahren erst wieder im Frühjahr und Sommer 1998 ein Biovolumen bilden.

Hingegen wurde *P. minimum* erst seit 1993 in den Proben bestimmt, die dann in einem Zyklus von zwei oder vier Jahren im Herbst vorkam. Das zyklische Auftreten ist jedoch nicht temperaturbedingt, da *P. minimum* sowohl nach stark temperaturüberdurchschnittlichen als auch stark temperaturunterdurchschnittlichen Sommern und bei großen Temperaturspannen im Herbst vorkam (10,9 °C im Okt 1998 bis 18,2 °C im Sep 2002). Auch in der Salinität konnte die Ursache nicht entdeckt werden, da sie nicht in jedem Herbst, der höhere Salinitäten aufwies, auftrat. Die Salinität lag während ihres Auftretens im September 1994 bei 7,2 PSU und bei 5,6 PSU im September 1998.

Bei der Untersuchung der Klasse der Chlorophyceae konnte festgestellt werden, dass die Algenarten unregelmäßig, teils auch sehr selten, auftraten, wodurch anhand der Daten keine Veränderungen in ihrer Zusammensetzung ersichtlich wurden. Es konnte bei diesen Algengruppen jedoch ein Zusammenhang zwischen ihrem Vorkommen und der Strömung festgestellt werden.

Als erstes Beispiel dient hier *Carteria spec.*. Die Vergrößerung ihres Biovolumens an der Station OB4 ging im Juli 1988, August 1992, Juli und September 1996 jeweils mit einer Zunahme des Salzgehaltes einher, so dass sie mit dem Salzwasser bei Westströmung in die

Oderbucht eingetragen wurde. Daraus lässt sich schließen, dass diese Algenart abhängig von höheren Salinitäten ist, da *Carteria* spec. bei Salinitäten kleiner 6 PSU in der Oderbucht und auch im Kleinen Haff, wo die Salinitäten noch geringer waren, während der gesamten Untersuchungsperiode nicht auftrat.

Eine weitere Chlorophyceae, *Chlamydomonas* spec., kam in der Oderbucht vom Frühjahr bis Herbst 1998 sowie im Frühjahr 2000 vor. Da die Salinität bei ihrem ersten Auftreten niedrig war (4,1 PSU bis 4,8 PSU) und die Alge zeitgleich im Kleinen Haff vorkam, lässt das auf einen Eintrag aus dem salzarmen Oderhaff schließen.

Bei Betrachtung der Änderung der Algenzusammensetzung in der Gruppe der Cyanobakterien wurde aufgrund der Windrichtungen und den ändernden Salzgehalten ebenfalls ein Einfluss durch das Oderhaff sowie durch die westliche und östliche Ostsee ersichtlich. Dies deutet bereits auf eine hohe Variabilität der Cyanobakterien in ihrem Auftreten hin. Stets konnten die Cyanobakterien, mit Ausnahme von *Woronichinia compacta*, während und kurz im Anschluss an sehr kalte Jahre an der Station OB4 kein großes Biovolumen entwickeln (Anhang: Tab. T4). *W. compacta* hingegen ist eine sehr gut anpassungsfähige Algenart, da sie in einer hohen Spannbreite von Temperatur und Salinität ihr Biovolumen steigern kann. Das war daran zu erkennen, dass diese Alge im Zeitraum von 1986 bis 2004 sowohl an der Station KHM als auch OB4 bei einer Temperatur von 5,5 bis 24,7 °C und einer Salinität von 0,6 bis 8,0 PSU auftrat. Daraus kann abgeleitet werden, dass es sich bei *W. compacta* sowohl um eine eurytherme<sup>9</sup> als auch euryhaline<sup>10</sup> Art handelt.

Auch in der Klasse der Bacillariophyceae kommen euryhaline und eurytherme Arten vor. Hier sind *Coscinodiscus rothii* und *Diatoma elongatum* zu erwähnen (Anhang: Tab. T5). Ihr Auftreten ist aber an der Station OB4, trotz ihrer breiten Toleranz in Bezug auf die Umweltschwankungen, seltener als im Kleinen Haff. In Bezug auf die Strömung sind hier keine Zusammenhänge mit dem Auftreten dieser beiden Algenarten ersichtlich. Während zum Beispiel *D. elongatum* nur im Frühjahr in der Oderbucht in Erscheinung trat, war sie an der Station KHM ebenfalls im Winter und Sommer präsent (Anhang: Tab. T3 & T4). Besonders auffällig war der Zyklus bei *D. elongatum* in der Oderbucht. Sie trat in der Regel zwei Jahre hintereinander im Frühjahr auf und war danach für zwei bis drei Jahre nicht in Erscheinung getreten (Anhang: Tab. T4). Auch im Kleinen Haff zeigt sich bei *D. elongatum* ein ähnlicher Zyklus.

---

<sup>9</sup> eurytherm: gegen Schwankungen der Temperatur im Milieu unempfindlich

<sup>10</sup> euryhalin: gegen Schwankungen des Salzgehaltes im Milieu unempfindlich

Die Alge *C. rothii* ist im Kleinen Haff hauptsächlich eine Sommer- und Herbstalge. In der Oderbucht trat sie hingegen nur im Sommer 1996 und 1997 auf. Jenen Sommern waren sehr kalte Winter und Frühjahre vorausgegangen. Allerdings kam diese Art ebenso im Herbst 2002 vor, in dem die Temperaturen durchschnittlich warm waren (Anhang: Tab. T2), so dass auch die Temperatur nicht die alleinige Ursache für das Auftreten ist.

Einige Algen, wie z. B. *S. hantzschii* und *N. acicularis* sind erstmals im Frühjahr 1992 an OB4 bestimmt worden. Beide Arten konnten nicht lange in der Bucht nachgewiesen werden, konnten sich also demnach nicht etablieren. *S. hantzschii* wurde bereits 1997 und *N. acicularis* 1998 nicht mehr gefunden. Ein Grund könnten die kalten Jahre 1996 und 1997 sein und dass diese Temperaturen für das Auftreten beider Arten zu gering waren.

Auch die Alge *Skeletonema subsalsum* trat wie auch *S. hantzschii* nach dem Sommer 1997 an der Station OB4 nicht mehr auf.

Die Klasse der Cryptophyceae war in den 80er Jahren, wie schon im Kleinen Haff, hauptsächlich durch *Chroomonas* spec. vertreten, die 1991 in *T. acuta* bzw. *P. prolunga* umgeschrieben wurde. Auch hier kamen somit diese beiden Algen im gesamten Untersuchungszeitraum vor.

Aufgrund der sich stetig verändernden Algenzusammensetzung zeigt sich, dass in den 90er Jahren ein Aspektwechsel, der im Kleinen Haff stärker als in der Oderbucht war, stattgefunden hat. Es hat den Anschein, dass durch die sehr kalten Jahre einige Arten nicht mehr auftraten und dafür jedoch neue Arten in den genommenen Phytoplanktonproben gefunden wurden (Anhang: Tab. T3 & T4). Grund für den stärkeren Aspektwechsel im Kleinen Haff könnte die Morphologie des Oderhaffs sein. Es ist, wie bereits im Kapitel 2.1. beschrieben, relativ flach und von der Ostsee bis auf drei Zuflüsse abgegrenzt. Das hat zur Folge, dass Umweltfaktoren hier stärker wirken und der Austausch mit der Ostsee geringer als in der Oderbucht ist. Die Oderbucht ist hingegen tiefer und hat mehr Wasservolumen, so dass die Umweltschwankungen, wie z. B. die Temperatur, in ihrer Auswirkung reduziert werden.

Es gab ebenfalls Algenarten, die entweder nur im Kleinen Haff oder der Oderbucht vorkamen (Tab. 19). Der Grund hierfür liegt wahrscheinlich im Salzgehalt, der in der Oderbucht höher war. Das zeigt auf, dass diese Arten eine geringere Salinitätstoleranz besitzen.

Laut Pankow dominieren oligo-<sup>11</sup> bis mesoeuryhaline<sup>12</sup> Süßwasserarten in der  $\beta$ -oligohalinen Zone des Kleinen Haffs und meso- und pleioeuryhaline<sup>13</sup> Süßwasseralgen und marine Organismen von verschiedener Salinitätstoleranz in der  $\beta$ -mesohalinen Zone der Oderbucht (Schmidt 1999).

Tab. 19: Auftreten (BV > 0,001 mm<sup>3</sup>/l) der Algenarten *Carteria spec.*, *Monoraphidium contortum*, *Skeletonema costatum*, *Scenedesmus spinosus* an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) und an der Station Oderbucht 4 (OB4) (Datenquelle: LUNG)

	<b>Station Kleines Haff Mitte (KHM)</b>	<b>Station Oderbucht 4 (OB4)</b>
<i>Carteria spec.</i>	-	+
<i>Monoraphidium contortum</i>	+	-
<i>Rhodomonas spec.</i>	-	+
<i>Skeletonema costatum</i>	-	+
<i>Scenedesmus spinosus</i>	+	-

<sup>11</sup> oligoeuryhalin: 0-5 PSU (Pankow 1990)

<sup>12</sup> mesoeuryhalin: 0-10 PSU (Pankow 1990)

<sup>13</sup> pleioeuryhalin: 0-20 PSU (Pankow 1990)

## **4. Diskussion**

Im folgenden Kapitel, werden basierend auf der Datengrundlage vom „Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie“, die Vor- und Nachteile sowie Schwierigkeiten beim Monitoring bzw. bei der Probenahme und Auswertung diskutiert. Außerdem dient das Kapitel dazu, erzielte Ergebnisse beim Phytoplankton zu erörtern. Weiterhin wird sich im Anschluss mit der Beantwortung der eingangs gestellten Fragen beschäftigt:

- Wie wird sich die Entwicklung des Phytoplanktons in den nächsten Jahren fortsetzen?
- Wird die Entwicklung im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie sein?

Abschließend werden Vorschläge, das Monitoring-Programm effektiver und genauer zu gestalten, unterbreitet.

### **4.1. Methodendiskussion**

#### **4.1.1. Schwierigkeiten bei der Probenahme**

Innerhalb der Untersuchungsjahre gab es im Monitoring- Programm des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern verschiedene Veränderungen und Weiterentwicklungen - so auch bei der Ortsbestimmung von den Stationen der Probenahme. Für das Monitoring- Programm ist es von großer Bedeutung, dass Stationen beibehalten werden, da nur so Veränderungen in den zu untersuchenden Parametern erkennbar sind. Im Kleinen Haff wurden zur Erleichterung der Ortsfindung die Stationen zu 80 % an vorhandene Schifffahrtstonnen gelegt (Telefoninterview, Frau Schöppe - LUNG), welche als optische Orientierungspunkte dienen. Die Station KHM stimmt mit der Position der Tonne H4 überein. An der Station OB4 hingegen, an der keine Schifffahrtstonne vorhanden ist, muss aufgrund der fehlenden optischen Orientierung auf andere Mittel zur Ortsbestimmung zurückgegriffen werden. Dies geschieht mit Hilfe des GPS<sup>14</sup> -Verfahrens. Das LUNG arbeitet seit 1993 mit dem GPS – Verfahren, welches durch die technischen Weiterentwicklungen nur minimale Fehler aufweist. Die Jahre zuvor wurde auf Monitoringfahrten die Radarpeilung benutzt, die einen Fehler von rund  $\pm 0,2-0,3$  sm aufwies. Auch diese Abweichung ist, abgesehen von einer möglichen Patchinessbildung, für die Planktonverteilung nicht relevant.

---

<sup>14</sup> GPS: Global Positioning System – satellitengestütztes System zur weltweiten Positionsbestimmung

An den entsprechenden Stationen erfolgte die Probenahme in einer Tiefe von 0,5 m, wobei hier ein Fehler von +0,5 m aufgrund von Wellengang aufgetreten sein konnte, so dass insgesamt die Probeentnahme in einer Tiefe von 0,5 bis 1,0 m lag (Telefoninterview, Frau Schöppe - LUNG). Zur Entnahme einer Wasserprobe, diente der Ruttner-Wasserschöpfer. 2001 wurde dieser Wasserschöpfer durch die CTD-Rosette ersetzt.

Ein größeres Problem entstand mit der Tageszeit der Probenahmen. Innerhalb des gesamten Monitoring-Zeitraumes wurde für die Probenahme nicht ein- und dieselbe Uhrzeit beibehalten. Vielmehr lagen die Beprobungen an den hier untersuchten Stationen zwischen 8 und 14 Uhr (Telefoninterview, Frau Schöppe - LUNG). Dadurch sind Fehler entstanden, die durch den Tagesgang hervorgerufen werden. So ist z. B. bei den Nährstoffen durch die Aufnahme durch Phytoplankton eine Abnahme in den Nachmittagsstunden vorhanden, die in diesem Gebiet allerdings durch die Zuflüsse nicht ersichtlich sein muss.

Die Probenahme der hydrochemischen und biologischen Daten des Phytoplanktons wurden in der Regel ein Mal pro Monat an der Station KHM und OB4 vom Landesamt für Umwelt, Natur und Geologie Mecklenburg-Vorpommern durchgeführt. Nur in den Wintermonaten weist die Datenreihe aufgrund der durch Eisgang bedingten fehlenden Messungen, immer wieder Lücken auf. In der dennoch im Großen und Ganzen vollständig vorliegenden hydrochemischen und biologischen Datenreihe, ist es nicht ersichtlich, ob die Phytoplanktonentwicklung während der Probenahme zum Zeitpunkt ihres maximalen Biovolumens gemessen worden ist oder in einem anderen Entwicklungsstadium. Die Ursache liegt darin, dass das maximale Biovolumen der Algen oft nur wenige Tage anhält und man anhand der Nährstoffe in diesem System keine Ableitungen über das Biovolumen machen kann. Der Grund liegt in einem Küstengewässer wie dem Kleinen Haff, in dem viele Zuflüsse und somit auch Nährstoffen eingetragen werden, wodurch eine Abnahme in der Nährstoffkonzentration nicht stets mit einer Zunahme im Phytoplanktonbiovolumen und umgekehrt übereinstimmt, so dass eine Aussage diesbezüglich unsicher ist. Das bedeutet demnach, dass für aussagekräftigere Schlussfolgerungen auf jeden Fall mehr Messungen notwendig sind.

#### **4.1.2. Datenauswertung**

Andere Fehlerquellen entstanden bei der Bestimmung des Phytoplanktons und dessen Biovolumens. Bei der Bestimmung des Phytoplanktons wurde auf Artengruppen zurückgegriffen.

Einige Algen unterschiedlicher Klassen wurden in Gruppen, wie z. B. *Carteria spec./ Chroomonas spec.* bzw. *Eutreptia spec./ Teleaulax acuta*, eingeteilt, da sie vom Bearbeiter nicht unterschieden werden konnten. Es wurde somit zwar der Fehler einer falschen Bestimmung verhindert, aber leider konnten diese Algengruppen nur in die Kategorie der sonstigen Algen eingeteilt werden. Um Fehlinterpretationen zu verhindern wurde diese Kategorie z. B. bei den Korrelationen zwischen den Algenbiovolumina außer Acht gelassen. Dadurch schränkt sich die Menge verlässlicher Daten für Untersuchungen auf Artebene deutlich ein. Allerdings entstanden dadurch ebenso ungenaue Forschungsergebnisse. Weiterhin wurden einige Algen keiner taxonomischen Gruppe zugeteilt, sondern lediglich in Größenklassen eingeteilt, wie z. B.  $\mu$ -Algen, kugelige Einzelzellen bzw. Nanoplankton. Diese Algen konnten innerhalb dieser Arbeit ebenfalls nur als sonstige Algen gehandelt werden, da sie keine näheren Aufschlüsse über die Klasse geben. Ein Grund für diese Einteilung in Größenklassen bzw. eingeschränkte Identifizierung der Art war z. B. eine unzureichende Vergrößerung, die keine spezifischen Aussagen zur Art bzw. Gattung zuließ (Heiskanen et al. 2005). Innerhalb einer Phytoplankton-Probe wurden 100 Organismen bestimmt. Laut einem Telefoninterview mit Frau Schöppe vom LUNG ist bei der Auszählung und Bestimmung der Algen ein Fehlerquotient von 20 % zu erwarten, wobei von einem statistischen Fehler von 10 % ( $\sqrt{100}$ ) (Lozán 1992) und einem systematischen Fehler in etwa der gleichen Größenordnung ausgegangen wird.

Auch innerhalb der Berechnung des Biovolumens traten Fehler auf, deren Größe bisher allerdings von den Mitarbeitern des LUNG noch nicht erfasst wurde. Es wurde von jeder Algenart das Biovolumen individuell gemessen. Dabei wurden allerdings die Vakuolengrößen, die bei den einzelnen Organismen verschieden sind, außer Acht gelassen. Zur Bestimmung des Artvolumens nach dem Prüfverfahren-SOP Nr.: 840-3-21<sup>15</sup> (Schöppe 2003) wurden aus Zeitgründen nur 20 bis 30 Organismen unter dem Mikroskop vermessen. Alle zwei Monate werden diese Organismen erneut vermessen, um Veränderungen im Biovolumen einer Art festzustellen. Bei Organismen, die in ihrem Biovolumen sehr variabel sind, wie z. B. *Scenedesmus spec.*, wurden laut Auskunft bei jeder Probe das Artenbiovolumen vermessen (Telefoninterview, Frau Schöppe - LUNG).

Bei Probenauswertungen ist es ebenfalls wichtig, dass diese, so es die Kapazitäten erlauben, durch ein und dieselbe Person vorgenommen werden. Innerhalb des in der Arbeit

---

<sup>15</sup> Prüfverfahren SOP-Nr.: 840-3-21: Phytoplankton- Untersuchung in Seewasserproben



dargestellten Monitoring-Programms gab es hingegen einen häufigeren Wechsel der Mitarbeiter. Zwischen 1986 und 1999 wurden die Daten von fünf Personen bearbeitet, darunter zwei Hilfskräfte. Innerhalb der erstellten Artenliste waren mit einem Mitarbeiterwechsel keine Veränderungen in den Arten ersichtlich. Bei der Vermessung des Biovolumens wurde höchstwahrscheinlich aufgrund der unterschiedlichen Sichtweise bzw. Einschätzung der einzelnen Mitarbeiter ein Fehler verursacht, der bisher nicht bestimmt wurde. Erst seit 1999 wurden die Proben von ein und demselben Mitarbeiter untersucht.

In der vorliegenden Arbeit wurde zur Ermittlung des Jahresdurchschnitts bei allen abiotischen und biotischen Daten mit dem Mittelwert gerechnet. Die Mittelwertberechnung erfolgte über die Ermittlung der Monatsmittelwerte zum Quartal- bzw. Saisonmittelwert. Über diesen Berechnungsweg wurde die hohe zeitliche Varianz der Probenahmeterminale etwas ausgeglichen.

In den Wintermonaten konnten, aufgrund der bereits erwähnten Witterungsbedingungen, nicht in jedem Monat Messungen durchgeführt werden. Wenn in den drei Monaten einer Saison nur eine statt der üblichen drei Messungen erfolgte, wurde dieser Wert als Stellvertreter dieser Saison benutzt, was jedoch zu Ungenauigkeiten bei der Datenauswertung führen konnte bzw. geführt hat.

Bei der Auswertung der Phytoplanktonentwicklung sind beim Vergleich der Jahressgänge Unterschiede sichtbar geworden. Die Algenentwicklung war in den Untersuchungsjahren aufgrund verändernder abiotischer und auch biotischer Faktoren, von denen sie abhängig bzw. gesteuert werden, sehr verschieden. Der Jahresgang des Phytoplanktons konnte sich in der Zeitabfolge der auftretenden Peaks und in der Höhe des Biovolumens der einzelnen Algeklassen unterscheiden. So zeigen die Abbildungen 26 bis 29, dass innerhalb von zwei aufeinanderfolgenden Jahren verschiedene Jahressgänge ermittelt werden können.

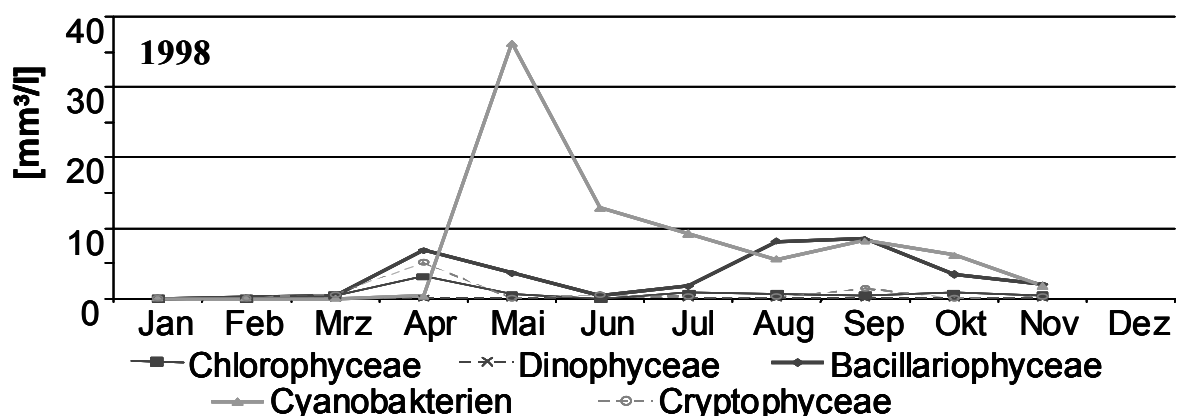


Abb.: 26: Jahressgang der Algenklassen Bacillariophyceae, Cyanobakterien, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae an der Station KHM im Jahr 1998 (Datenquelle: LUNG)

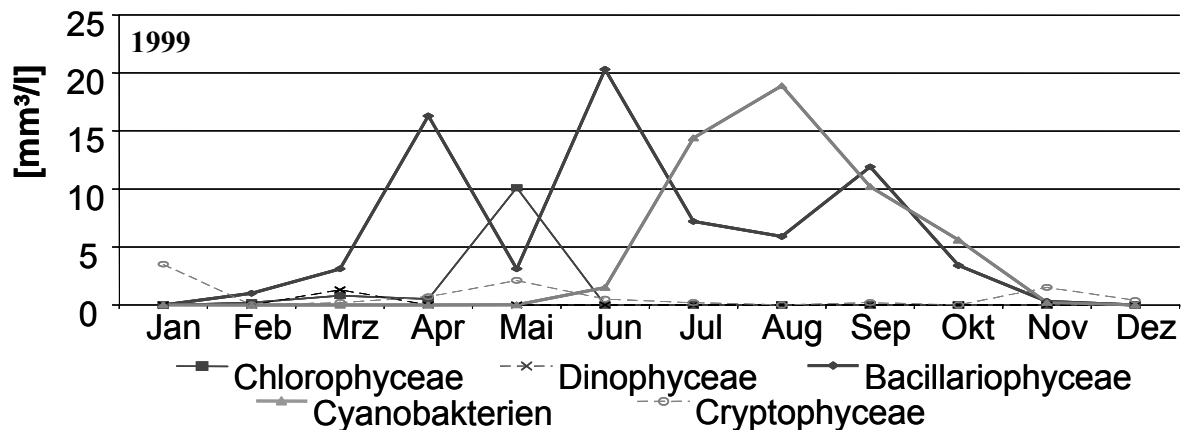


Abb. 27: Jahresgang der Algenklassen Bacillariophyceae, Cyanobakterien, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae an der Station KHM im Jahr 1999 (Datenquelle: LUNG)

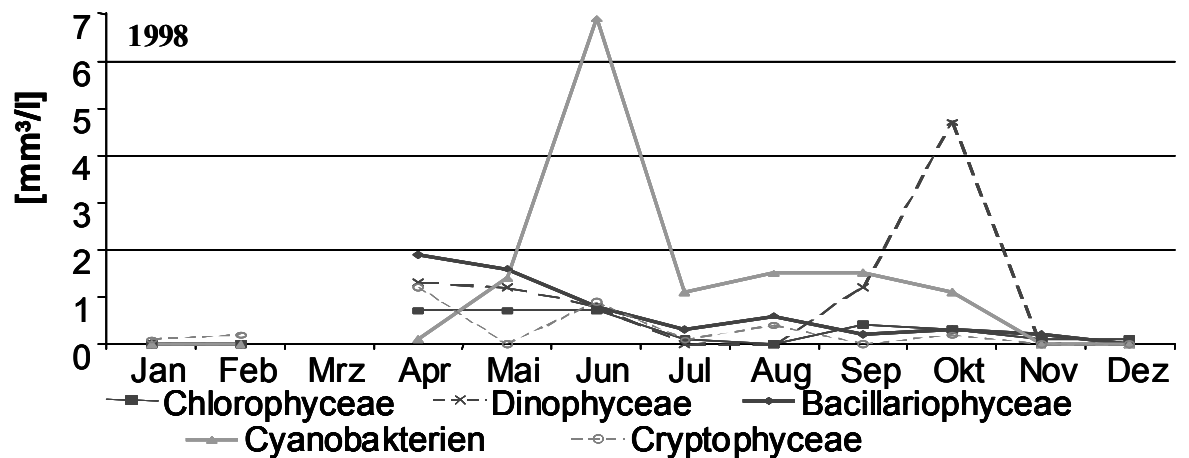


Abb. 28: Jahresgang der Algenklassen Bacillariophyceae, Cyanobakterien, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae an der Station OB4 im Jahr 1998 (Datenquelle: LUNG)

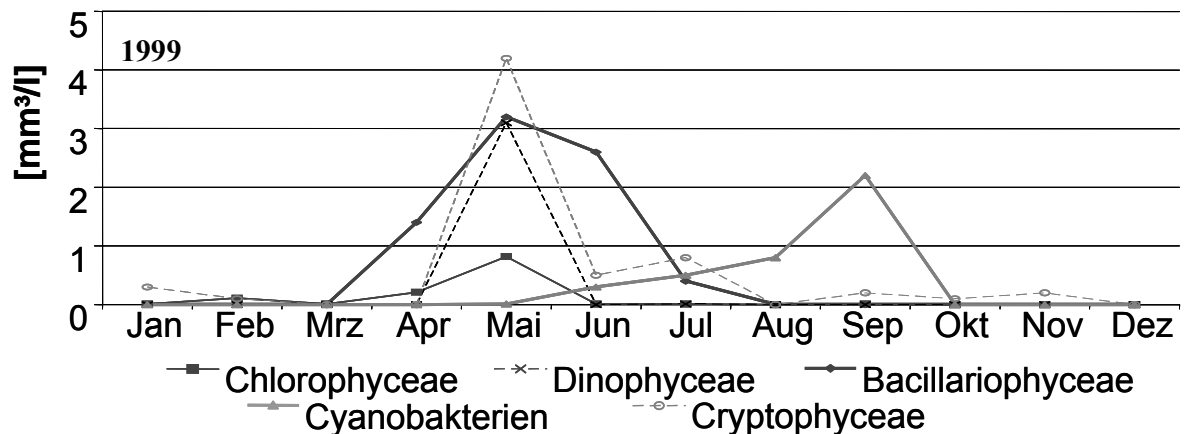


Abb. 29: Jahresgang der Algenklassen Bacillariophyceae, Cyanobakterien, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae an der Station OB4 im Jahr 1999 (Datenquelle: LUNG)

Der Tatsache geschuldet, dass innerhalb des Monitoring-Programms nur ein Mal pro Monat Proben genommen wurden, ist es sehr schwierig den idealen Jahresgang mit allen Biovolumenmaxima in den einzelnen Algenklassen zu erfassen. Auch eine Aussage über

langfristige Trends gestaltet sich aus diesem Grund nicht als einfache Aufgabe. Wertet man die Abbildungen 26 bis 29 aus, so könnte es sich einerseits zwar um eine tatsächliche Verschiebung der Algenklassen im Jahresgang handeln, andererseits ist so eine starke Veränderung bei zwei aufeinanderfolgenden Jahren ohne Extremereignisse (z. B. starke Kälte oder Hitzeperioden, starker Frisch- oder Salzwassereinstrom) sehr unwahrscheinlich. Es kann zu Fehlinterpretationen bei der Betrachtung des durchschnittlichen/ idealen Jahresganges kommen.

Es ist aufgrund seltener Probenahmen auch möglich, dass innerhalb der Langzeituntersuchungen die höchsten Biovolumina der Algen verpasst wurden und somit die angenommenen Trends anders verlaufen.

Laut Schmidt (1999) ist für die direkte Vergleichbarkeit von (Umwelt-)Daten die Anwendung standardisierter Methoden Voraussetzung. Sie sagt, dass eine Fehlinterpretation der vorhandenen Daten aufgrund dessen erfolgen kann, wenn Daten erst nach einigen Jahren, ausgewertet werden, Hintergrundinformationen (z. B. über die Probenahme) jedoch nicht mehr greifbar sind. Deshalb sind zur Gewährleistung genauerer Interpretationen der Daten zwei Punkte unerlässlich. Zum ersten sollten die Daten stets mit der gleichen Methode genommen und zum zweiten die Probenauswertung durch ein- und dieselbe Person durchgeführt werden oder zumindest sollten die Bearbeiter über denselben Kenntnisstand verfügen.

#### **4.2. Phytoplankton: Indikatoren für eine schlechte Gewässerqualität?**

In diesem Kapitel wird auf das Phytoplankton als Indikator für die Gewässerqualität eingegangen. Es zeichnet sich vor allem deshalb als Indikator zur Untersuchung der Wasserqualität aus, als das es Belastungsimpulse durch schnelle Wachstumsraten sehr gut anzeigt und daher unmittelbar auf Nährstoffeinträge mit Biomassezuwachs bzw. einer taxonomischen Änderung reagiert (Heiskanen et al. 2005).

Bestimmte Algenarten, die einem hohen trophischen Status bevorzugen, traten erst bei schlechter Wasserqualität in Erscheinung. Zu diesen Phytoplanktonarten, die in diesem Fall Indikatoren, oder auch Zeigerorganismen genannt werden, zählen Organismen mit einer geringen ökologischen Potenz, d.h. mit einer geringen Toleranz auf Veränderungen ihrer Lebensbedingungen (Odum 1999).

Blümel et al. (2003) stellte bei Untersuchungen fest, dass die Algen *Woronichinia compacta*, und *Chroomonas spec.* ihr Biovolumen bei Verschlechterung des Trophiegrades

steigern. Eine weitere Indikatorart ist laut Selig et al. (2003) und Pankow (1990) *Stephanodiscus hantzschii*, die bei anthropogenen Verschmutzungen vermehrt auftritt.

Innerhalb der Datenreihe vom LUNG war für die Stationen KHM und OB4 eine deutliche Abnahme im Biovolumen dieser oben genannten Algenarten zu erkennen (Abb. 30). Zudem war ein wesentlich höheres Biovolumen dieser Arten an der Station KHM ersichtlich, was auf einen höheren trophischen Status hinweist und mit der Nähe zur stark anthropogen belasteten Oder zusammenhängt. Diese Angaben werden vom LUNG (2001) und Bachor (2005) bestätigt, die davon ausgehen, dass im Kleinen Haff aufgrund der natürlichen Voraussetzungen, also einer relativ geschlossenen Morphologie, kein besserer Trophiestatus als eutroph zu erwarten ist. Weiterhin bestätigen sie, dass die externe Belastung im Kleinen Haff aufgrund der Nähe zur Oder größer als in der Oderbucht ist (Bachor 2005). Die Oderbucht weist aufgrund ihrer offenen Lage ein deutlich geringeres trophisches Niveau mit besserer Wasserqualität und ein geringeres Phytoplankton-biovolumen als das Kleinen Haff auf (LUNG 2001). Da das trophische Niveau des Gewässers mit den Nährstoffen zusammenhängt, müsste somit eine Steigerung im Biovolumen der besagten Indikatoren für einen hohen trophischen Grad (*W. compacta*, *Chroomonas spec.* und *S. hantzschii*) auch eine Zunahme der Nährstoffkonzentration implizieren.

Im Allgemeinen konnte eine Nährstoffabnahme beim anorganischen Stickstoff und Phosphat im Kleinen Haff sowie in der Oderbucht in den 90er Jahren festgestellt werden, jedoch ist beim Phosphat erneut eine leichte Zunahme in den letzten vier Jahren zu verzeichnen (Abb. 9-11). Da die oben genannten Indikatoren ein hohes trophisches Niveau bevorzugen und seit 1996 nur noch in wenigen Ausnahmen in den Proben nachgewiesen werden konnten (Abb. 30), könnte die Abnahme der Nährstoffe die Ursache sein. Allerdings konnte bei genauen Untersuchungen nicht festgestellt werden, dass ein Auftreten der Indikatoren in jedem Fall mit einer Nährstoffzunahme einhergeht (Abb. 9-11, 14 & 30). Ebenso gab die Menge des Oderzuflusses und deren Konzentration keinen hundertprozentigen Hinweis auf eine Biovolumensteigerung innerhalb dieser oben genannten Arten (Abb. 1,9 & 11). Zudem verfügten *W. compacta*, *Chroomonas spec.* und *S. hantzschii* in Bezug auf den Salzgehalt und die Temperatur über eine breite ökologische Potenz während des Untersuchungszeitraumes (Anhang: Tab. T5), was, wie bereits gesagt, für Indikatoren nicht typisch ist. Es ist somit anhand der Daten von der Station KHM und OB4 nicht bewiesen, ob sich diese Arten wirklich als Indikatoren auszeichnen.

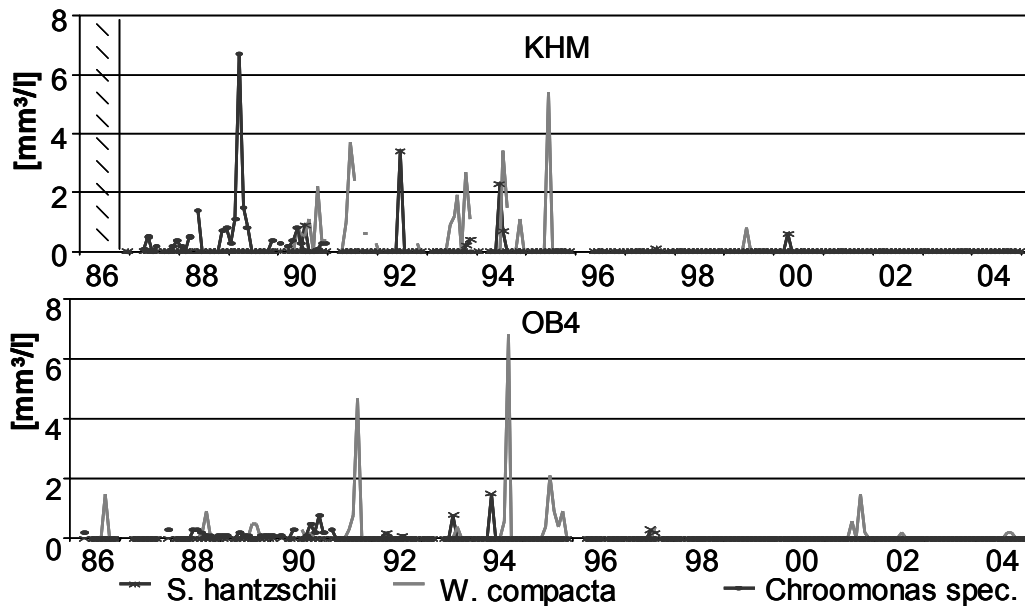


Abb.30: *Woronichinia compacta*, *Stephanodiscus hantzschii* und *Chroomonas spec.* an der Station KHM und OB4 im Untersuchungszeitraum 1986 (OB4) bzw. 1987 (KHM) bis 2004 (Datenquelle: LUNG)

Auch innerhalb der Chlorophyceae hat sich, wie Abb. 31 zeigt, der prozentuale Anteil der Chlorophyceae zum Gesamtbiovolumen ab Mitte der 90er Jahre verringert, was gemäss Blümel et al. (2005) auf eine Verbesserung des trophischen Grades zurückzuführen ist. Allerdings ist in Abb. 31 auch erkennbar, dass es Ende der 90er Jahre erneut zu einer kurzzeitigen Verschlechterung kam, worauf die Zunahme des prozentualen Anteils der Chlorophyceae hinweist. Zu dem Zeitpunkt einer prozentualen Steigerung wiesen die Nährstoffkonzentrationen an den Stationen KHM und OB4 keine Erhöhung auf (Abb. 9-11), so dass in den Nährstoffen nicht die Ursache liegen kann. Allerdings konnte anhand des Oderzuflusses und seiner DIN-Konzentration in einigen Fällen eine Erhöhung des prozentualen Chlorophyceae-Anteils nachgewiesen werden (Abb. 31 & 32), wie auch bei der Erhöhung Ende der 90er Jahre.

Da, wie schon gesagt, eine Nährstoffzunahme die Ursache für eine Verschlechterung der Wasserqualität ist, müsste eine Steigerung des prozentualen Anteils der Chlorophyceae am Gesamtbiovolumen der Algen mit einer Nährstoffzunahme zusammenhängen. Anhand der vorliegenden Daten der Stationen KHM und OB4 und der Daten der Oder konnte dies nicht in jedem Fall festgestellt werden. Es ist somit, wie auch schon bei den anderen zuvor behandelten Algenarten, nicht bewiesen, ob dieser prozentuale Faktor als Indikator für eine schlechte Wasserqualität im Kleinen Haff und der Oderbucht dienen kann.

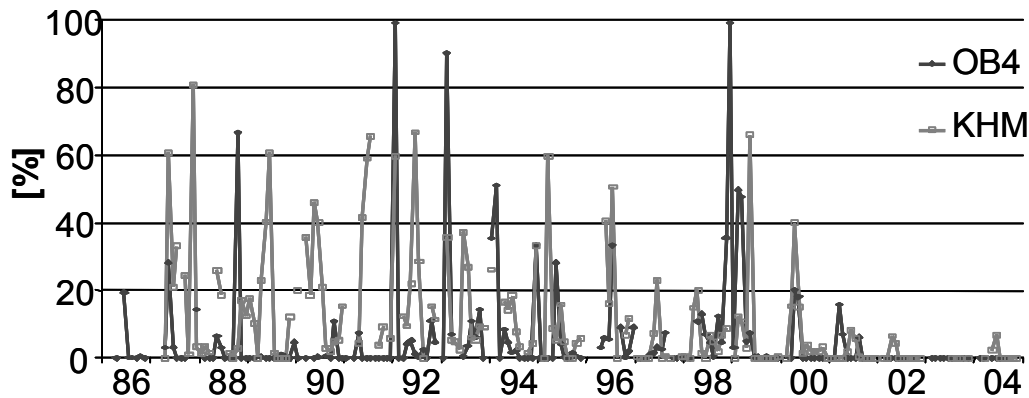


Abb. 31: prozentualer Anteil der Chlorophyceae an der Station KHM und OB4 im Untersuchungszeitraum 1986 (OB4) bzw. 1987 (KHM) bis 2004 (Datenquelle: LUNG)

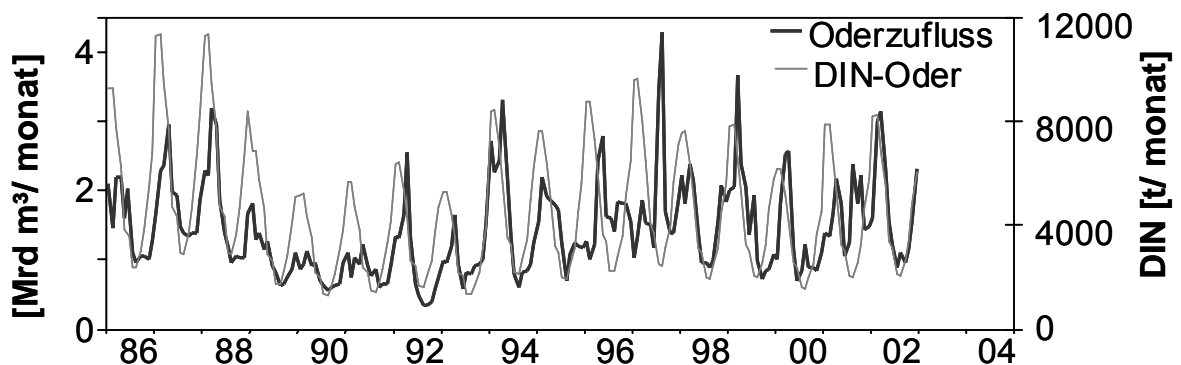


Abb. 32: Oderzufluss und seine DIN-Konzentration von 1986 bis 2004

Betrachtet man jedoch das Gesamtbild der Nährstoffe und des Algenbiovolumens, so ist eine Verringerung bei beiden in den letzten vier Jahren, teils auch schon seit Mitte der 90er Jahre, erkennbar, womit man auf eine Verbesserung der Wasserqualität schließen kann. Auch der Rückgang im sommerlichen Phytoplanktonbiovolumen an den Stationen KHM und OB4 bestätigt diese Einschätzung (Anhang: Abb.: A18 & A25) (Bachor 2005). Das Kleine Haff befindet sich jetzt in einem eutrophen Zustand, in dem allerdings das Algenwachstum lichtlimitiert ist. Der trophische Zustand wird laut Bachor (2005) im eutrophen Bereich bleiben, allerdings kann noch ein Zustand erreicht werden, in dem das Algenwachstum durch eine geringe Nährstoffkonzentration limitiert wird, was somit laut Modellberechnungen auch dem Referenzzustand, also dem Zustand vor der Industrialisierung vor rund 100 Jahren, entsprechen würde (Wielgat & Schernewski 2001). Ob sich diese Verbesserung in den nächsten Jahren fortsetzen kann, wird im nächsten Kapitel näher beleuchtet.

#### **4.3. Wie wird sich die Entwicklung im Kleinen Haff und der Oderbucht in Bezug auf die Klimamodelle gestalten?**

Laut den Daten vom DWD war der Sommer 2003 der heißeste Sommer seit Beginn der Wetteraufzeichnung im Jahr 1891 (Schönwiese et al. 2003). In diesem Jahr waren in Deutschland überdurchschnittlich viele heiße Tage (Ückermünde: 2003- 58 Tage > 20 °C) vorhanden. In Ückermünde traten hingegen in warmen Sommern, wie 1986, rund 40 Tage und in kalten Sommern, wie 1998, weniger als zehn Tage Temperaturen über 20 °C auf (Datenquelle: DWD). In Ückermünde betrug die Temperaturenabweichungen im Sommer 2003 2 °C von den durchschnittlichen Sommerwerten (Anhang:, Tab. T2, Schär & Jendritzky 2004). Zudem gab es von Februar bis August 2003 eine langanhaltende Trockenphase, die in Ückermünde mit 147 ml weniger Niederschlag vom durchschnittlichen Jahresmittelwert abwich.

Verschiedene Klimamodelle (siehe Zebisch et al. 2005) sagen voraus, dass extreme Hitzewellen, wie sie im Sommer 2003 vorkamen, in Zukunft keine Ausnahme bilden werden (Zebisch et al. 2005).

Das Klimamodell des IPCC<sup>16</sup> gibt an, dass in 100 Jahren alle fünf Jahre extreme Hitzesommer wie 2003, teils mit noch heißeren Temperaturen auftreten werden (Schär & Jendritzky 2004, Stott et al. 2004). Verschiedene Klimamodelle und Szenarien („umweltorientiert“, „ökonomisch-orientiert“ mit einem weiteren Verbrauch fossiler Brennstoffe) weisen darauf hin, dass bis 2080 eine Temperaturerwärmung von 1,6 °C bis 3,8 °C zu erwarten ist (Zebisch et al. 2005).

Für Deutschland werden laut dem Klimamodell HadCm3<sup>17</sup> heißere Sommer mit weniger Niederschlägen und für die Winter mildere Temperaturen mit viel Niederschlägen vorausgesagt (Zebisch et al. 2005). Das bedeutet ebenfalls, dass in den Wintermonaten häufiger mit Hochwassern zu rechnen ist (Grieser & Beck, 2002; Schönwiese & Janoschitz 2005). Jedoch werden gleichzeitig Hochwasserspitzen aufgrund verringerter Schneeeakkumulation reduziert (Eisenreich 2005). Weiterhin ist im Klimamodell HadCM3 eine Tendenz zum Rückgang des Abflusses in Fließgewässern im Norden und Nordosten Deutschlands ersichtlich (Zebisch et al. 2005).

---

<sup>16</sup> IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change; 1988 von WMO (World Meteorological Organization) und UNEP (United Nations Environment Programm) gegründet

<sup>17</sup> HadCm3: ist ein coupled atmosphere-ocean general circulation model (AOGCM), welches im Hadley Centre entwickelt und von Gordon et al. (2000) und Pope (et al. 2000) beschrieben wurde (<http://www.metoffice.com/research/hadleycentre/models/HadCM3.html>)

Für das in der Arbeit betrachtete Untersuchungsgebiet würde dieser Klimawandel besonders für das flache Kleine Haff dramatische Folgen haben. Für die einzelnen Jahreszeiten könnte sich der Wandel wie folgt darstellen:

#### Wintermonate

Aufgrund der milden Temperaturen würde es zu weniger bis gar keinem Eisgang (Bronstert 1996) mehr auf dem Oderhaff kommen. Dies würde eine bessere Entwicklung des Phytoplanktons ermöglichen. Außerdem würden hauptsächlich kaltwasserliebende Cryptophyceae und Bacillariophyceae, die heutzutage hauptsächlich im Frühjahr vorkommen, auftreten. Es werden Arten mit einer breiteren Salztoleranz begünstigt sein, denn es kann aufgrund von vermehrten Hochwassern zu größeren Frischwasserzuflüssen in das Brackwassergebiet kommen. Zudem wird das Vorkommen jener Algen begünstigt, die sich gut an die winterlich bedingten geringen Lichtintensitäten anpassen können. Hierbei sind vor allem die Algen *Teleaulax acuta*, *Diatoma elongatum* und *Skeletonema subsalsum* zu nennen. Aber auch die Cyanobakterie *Woronichinia compacta* wäre denkbar, da sie im Untersuchungszeitraum bereits in einigen Wintermonaten auftrat (Anhang: Tab. T3). Das Algenwachstum wäre in diesen Monaten lediglich aufgrund der geringen Lichtintensität limitiert.

#### Frühjahrsmonate

Die Temperatur- und Lichtintensität nimmt in den Frühjahrsmonaten zu. In diesem Stadium traten im Untersuchungszeitraum Bacillario-, Dino- und Chlorophyceae auf. Bei den vorhergesagten erwarteten wärmeren Temperaturen, würden hier bereits vermehrt Cyanobakterien auftreten können, die zu einer Minderung anderer Algenklassen beitragen könnten.

#### Sommermonate

Die heißen Temperaturen und die daraus resultierende hohe Verdunstung und die verringerten Frischwasserzuflüsse im Jahr, verursacht durch geringe Niederschläge (HadCM3-Modell) (Zebisch et al. 2005), haben einen Anstieg des Salzgehaltes zur Folge. Zudem würde es laut Dietrich (2004) zu einer verstärkten Sedimentaufwirbelung aufgrund der verringerten Tiefe, die durch den reduzierten Zufluss verursacht wird, kommen. In Folge dessen wird eine Eutrophierung aufgrund von Nährstoffzufuhr aus dem Sediment erfolgen. Das Biovolumen der Algen nimmt dadurch zu. Da die Cyanobakterien laut



Wasmund (1997) Temperaturen ab 16 °C bevorzugen, würde ihre Blüte aufgrund der allgemein höheren Temperaturen zu einem früheren Zeitpunkt auftreten. Limitierung würde nur durch unzureichende Lichtintensität stattfinden. Eine weitere Folge des Klimawandels wäre eine Artenverschiebung, denn mit einem zunehmenden Salzgehalt könnten sich oligo- bis mesoeuryhaline Süßwasserarten im Kleinen Haff nicht etablieren.

### Herbstmonate

Für die Herbstmonate wäre zu erwarten, dass die Cyanobakterien länger als bisher im Herbst auftreten könnten. Diese Aussage kommt deshalb zu Stande, weil sie bereits während der heißeren Jahre im Untersuchungszeitraum länger vorkamen (Kapitel 3.11.).

Eine weitere Auswirkung mit den absinkenden Temperaturen im Herbst wäre, aufgrund des erhöhten Salzgehaltes durch die hohe Verdunstung im Sommer, das Auftreten salzwasserangepasste Bacillariophyceae und Dinophyceae. Diese Algen treten, wie auch schon im Frühjahr, aufgrund der tieferen Temperaturen in Erscheinung.

Zusammenfassend ist zu festzustellen, dass die mit dem Klimawandel einhergehenden Veränderungen größere Auswirkungen auf das Kleine Haff als die Oderbucht haben werden, da Letzteres eine größere Wassermenge aufweist und durch die offene Lage stets Wasser aus anderen Gebieten der Ostsee erhält. Jedoch wird die hohe Verdunstung in den Sommermonaten auch hier eine Erhöhung des Salzgehaltes mit sich bringen.

#### **4.4. Die Entwicklung der Gewässerqualität in den nächsten Jahren - wird sie den Forderungen der Wasserrahmenrichtlinie nachkommen?**

Die in der Klimaprognose aufgezeigte bevorstehende Eutrophierung in flachen und warmen Gewässern, wie dem kleinen Haff (Dietrich 2004) und somit Verschlechterung der Wasserqualität kann durch eine Senkung der Nährstofffrachten in der Oder reduziert werden. Ansatzpunkte für eine Nährstoffreduzierung wäre die Verbesserung der Kläranlagen in Polen als Haupteinzugsgebiet der Oder (eine große Menge an Abwässer gelangt unbehandelt in die Oder (Tuner et al. 1998)), eine Reduktion der häuslichen und industriellen Abwässer besonders im Raum Stettin, welche immer noch auf der Liste der „Hot Spots“ der Helcom aufgeführt wird (Helcom 2004), und die Verringerung des Düngemiteleinsatzes in der Landwirtschaft. Zudem wird die Einleitung der Nährstoffe in

die Flüsse durch Dräne<sup>18</sup> verstärkt bzw. vereinfacht, denn es wurde in dränierten Flächen ein Trend zu höheren Abfluss- und Stickstoffspenden festgestellt (Scholz 1997). Um den Forderungen der WRRL Folge zu leisten, könnten durch Reduzierung der Dräne auch hier die Nährstofffrachten gemindert werden.

Im Hinblick der Klimaprognose ist es für flache Gewässer, wie dem Oderhaff, besonders wichtig, als Schutzgebiete (Natura 2000<sup>19</sup> mit FFH- Richtlinie<sup>20</sup>) deklariert zu werden, da die anthropogenen Verschmutzungen das Anpassungspotential vieler biologischer Systeme übersteigt und somit generell die Vielfalt und Stabilität von Arten, Lebensgemeinschaften und Ökosystemen gefährdet ist. Da die Organismen schon aufgrund des Klimawandels große Anpassungen bewältigen müssen, würden sie anthropogene Veränderungen möglicherweise überfordern, so dass sie bei zunehmender Verschmutzung nicht mehr auftreten können. Da die größte Verschmutzung allerdings durch die Oder bzw. durch das Einzugsgebiet der Oder verursacht wird, sollten ebenso Schutzgebiete entlang des Oberlaufes ausgewiesen werden.

Eine Verschlechterung der Wasserqualität würde bei Beibehaltung bzw. Erhöhung der Nährstofffrachten innerhalb der Oder eintreten. Dieser Fall würde nicht im Sinne der WRRL sein, da durch die erhöhten Nährstofffrachten eine verstärkte Eutrophierung und somit eine Verschlechterung des Trophiestatus im Oderhaff erfolgen würde. Eine Erhöhung der Nährstofffrachten kann zum Beispiel bei Erweiterung der landwirtschaftlichen Produktion mit Hilfe von EU-Subventionen eintreten.

Da beim Nährstofftransport eine mehrere Jahrzehnte vorhandene Verzögerung auf dem unterirdischen Transportpfad vorliegt (Dannowski et al. 2000), sind Veränderungen nicht sofort ersichtlich. Aus diesem Grund ist trotz entsprechender Maßnahmen der Eintragsreduzierung aus dem landwirtschaftlichen Bereich (z. B. Reduzierung des Düngereinsatzes, Flächenstilllegung), eine Frachthalbierung der Nährstoffe innerhalb einer Zehnjahresspanne, wie sie von der EU-WRRL vorgegeben wird, schwierig (Dannowski et al. 2000).

---

<sup>18</sup> Dräne: Entwässerungsgraben

<sup>19</sup> Natura 2000: Bezeichnung für ein zusammenhängendes ökologisches Netz besonderer europäischer Schutzgebiete ([http:// www.ffh-talk.de/](http://www.ffh-talk.de/))

<sup>20</sup> FFH-Richtlinie: Fauna-Flora-Habitat- Richtlinie (Richtlinie 79/409/EWG vom 2.April 1979 -Erhaltung der wildlebenden Vogelarten und Richtlinie 92/43/EWG vom 21.Mai 1992 - Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen)-<http://www.bfn.de> & <http://www.um.mv-regierung.de>

Dadurch, dass die Auswirkungen von Umweltbelastungen so zeitverzögert auftreten, wird deutlich, wie wichtig Stellenwert die Weiterführung des Monitoring-Programms im Oderästuar hat. Allerdings könnten Verbesserungen im Monitoring-Programm eine effektivere Arbeit möglich machen. Im folgenden Kapitel soll daher auf Vorschläge, zur Verbesserung des Monitoring-Programms eingegangen werden.

#### **4.5. Vorschläge zur Verbesserung des Monitoring-Programms**

Innerhalb des Monitoring-Programms konnten durch die DIN-Vorschriften bereits große Verbesserungen hinsichtlich der Vereinheitlichung erzielt werden, allerdings gibt es weitere Möglichkeiten das System des Monitorings noch besser zu gestalten.

Die Voraussetzung eines guten Monitoring-Programms basiert auf einem sehr guten Systemverständnis für den untersuchenden Wasserkörper. Aus diesem Grund sollten alle paar Jahre vor allem in den Frühjahrs- und Sommermonaten häufigere Probenahmen erfolgen, da hier gewöhnlich die größten Biovolumina entwickelt wurden. Somit könnte die Entwicklung von Blüten besser nachvollzogen und die Abfolge der Arten während einer Blütenentwicklung bestimmt werden. Innerhalb des üblichen Monitoring-Programms, in dem nur ein Mal pro Monat Proben entnommen werden, wäre dieses Wissen über die Artenabfolge hilfreich, um eine Feststellung über das Entwicklungsstadium einer Blüte zu treffen. Durch vermehrte Probenahmen konnten Wasmund et al. (1998) die Artenabfolge der Frühjahrsblüte für die Arkona See angeben.

Das Wissen über die Artenabfolge ist gerade für die stark von Zuflüssen bestimmten Gebiete wie dem Kleinen Haff und der Pommerschen Bucht von Bedeutung, da man hier nicht – im Gegensatz zur Ostsee - anhand der Nährstoffdaten die Entwicklung der Blüte bestimmen kann.

Eine zweite Veränderung, die zur Verbesserung des Monitoring- Programms beitragen würde, wären eine feste Terminabfolge der Monitoring-Fahrten. In dem in der Arbeit dargestellten Untersuchungszeitraum kam es mehrfach vor, dass in einem Monat die Beprobung in den ersten Tagen eines Monats auftrat und im darauffolgenden Monat am Ende bzw. umgekehrt durchgeführt wurde. Somit lagen entweder fast zwei Monate (LUNG- Monitoring-Programm Herbst 1992, Herbst 1994 etc.) oder zwei Wochen (LUNG- Monitoring-Programm Winter 1992, Winter 1993 etc.) zwischen den Messungen. Aber gerade in den Wintermonaten sind, aufgrund der geringen Entwicklung der Algen, Messungen in einem Abstand von zwei Wochen nicht notwendig.

Drittens wäre eine zusätzliche Hilfe bei der Auswertung von Monitoring-Daten die Heranziehung von Modellberechnungen, mit denen man z. B. die Strömung und eventuell auch die Bildung von Patchiness nachvollziehen könnte.

Ein vierter Vorschlag, der die Effektivität des Monitoringsystems steigern würde, wäre die Einrichtung von Dauerstationen. Im Kleinen Haff ist dies aufgrund der geringen Tiefe nicht sinnvoll. In der Oderbucht hingegen wäre eine Station denkbar. Eine Dauerstation würde über den Vorteil verfügen, dass dauerhafte Aufzeichnungen von abiotischen Faktoren gemacht werden könnten. Dies wiederum würde eine bessere Auswertung der Daten ermöglichen.

## 5. Zusammenfassung

Die in dieser Arbeit untersuchten Gebiete des Oderästuars - Oderbucht mit der Station OB4 und das Kleine Haff mit der Station KHM – gehören zu den Küstengewässern der südlichen Ostsee.

In das Oderästuar werden durch den Oderzufluss vermehrt Nährstoffe eingetragen, die verstärkt zu einer Eutrophierung, also zu erhöhtem Phytoplanktonwachstum, geringer Sichttiefe, Verringerung des Sauerstoffgehaltes etc., beitragen. So weist speziell das Oderhaff aufgrund seiner geschlossenen Morphologie eine schlechte Wasserqualität auf. Um die Verschmutzung in den Gewässern zu senken und einen guten ökologischen Zustand zu erreichen, wurde die Wasserrahmenrichtlinie zur „Schaffung eines Ordnungsrahmens für die Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik“ im Jahr 2000 erlassen.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Entwicklung des Phytoplanktons, das als Indikator für die Wasserqualität dient, in bezug auf das Biovolumen und der Artenzusammensetzung im Kleinen Haff (mit Daten von der Station KHM) und der Oderbucht (mit Daten von der Station OB4) über einen Zeitraum von rund 20 Jahren (OB4: 1986-2004, KHM: 1987-2004) zu untersuchen. Die Auswertung erfolgte anhand der Monitoring-Daten vom „Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern“ sowie den meteorologischen Daten vom „Deutschen Wetterdienst“. Anhand der Untersuchungen wurden Veränderungen der Phytoplanktongemeinschaft dargestellt und es wurde darauf eingegangen, ob das Oderästuar bereits eine Besserung im Sinne der WRRL aufweist.

Ergebnisse dieser Arbeit sind:

Das Biovolumen ist an der Station KHM höher als an der Station OB4, was auf eine schlechtere Wasserqualität im Kleinen Haff hindeutet.

Zwischen den beiden Stationen existiert keine direkte Beziehung, da zwischen den Biovolumina an KHM und OB4 keine Korrelation vorhanden ist.

Nach einer erneuten Zunahme im Gesamtbiovolumen der Algen ist seit 2000 eine deutliche Abnahme an beiden Stationen erkennbar, die auf reduzierte Nährstoffkonzentrationen zurückzuführen ist.

An der Station KHM war eine Abnahme im Biovolumen der Algenklassen Chlorophyceae und Dinophyceae ab Mitte der 90er Jahre zu verzeichnen. Die Abnahme der Biovolumina der Dinophyceae war durch die fehlenden Salzwassereinträge aus der Ostsee in das Haff in den Frühjahrsmonaten begründet. In der Klasse der Cryptophyceae ist während der

Wintermonate seit Ende der 90er Jahre eine Zunahme im Biovolumen zu verzeichnen. Der Grund für diese Tendenz ist anhand der vorliegenden Daten nicht ersichtlich. Die Cyanobakterien und die Bacillariophyceae sind, wie bereits zum Ende der 80er Jahre, auch seit Ende der 90er Jahre wieder in einem höheren Biovolumen vertreten. Die Cyanobakterien sind stark von der Temperatur beeinflusst, so dass sie in den kalten Jahren kürzer und in einem geringeren Biovolumen auftraten als in den heißen Jahren, wo sie zum einen mit einem hohen Biovolumen und zudem noch lange im Herbst in Erscheinung traten.

An der Station OB4 ist eine Abnahme im Biovolumen der Algenklassen der Cyanobakterien, Chlorophyceae und Dinophyceae aufgetreten. Die Abnahme der Chlorophyceae seit Mitte der 90er Jahre kann mit der Abnahme des Chlorophyceaebiovolumens im Kleinen Haff zusammenhängen, so dass keine Chlorophyceae in die Oderbucht eingetragen werden konnten. Die Cryptophyceae nahmen auch hier vor allem in den Wintermonaten seit Ende der 90er Jahre ohne ersichtlichen Grund (anhand der abiotischen Parameter) zu. Die Entwicklung der Bacillariophyceae ist an dieser Station schwer nachzuvollziehen, da während des Untersuchungszeitraumes zu häufig Schwankungen im Biovolumen auftraten. Der Jahresgang der Phytoplanktonklassen war an beiden Stationen verschieden. So entwickelten die Bacillariophyceae im Kleinen Haff im Frühjahr sowie im Herbst ein großes Biovolumen, in der Oderbucht hingegen nur im Frühjahr. Ursachen lagen hier in der größeren Tiefe der Bucht.

Bei Korrelationsuntersuchungen traten an den Stationen nicht die selben Korrelationen zwischen den Biovolumina der Arten und den Werten der abiotischen Faktoren auf, so dass keine Allgemeingültigkeit nachgewiesen werden konnte.

Bei einem Vergleich zwischen heißen (1988-1990) und sehr kalten Jahren (1993, 1996, 1997) waren wiederum andere Korrelationen zwischen den Algenbiovolumina an den beiden Stationen vorhanden. Zudem traten innerhalb der sehr kalten Jahre mehr Korrelationen zwischen den Biovolumina der Algen auf, als in den heißen Jahren. Während der heißen Jahre traten in Korrelationen zudem gehäuft Cyanobakterien auf, während es in den kalten Jahren vor allem die Bacillariophyceae waren.

In der Artenzusammensetzung der Algen kann man in den 90er Jahren einen Aspektwechsel erkennen, der sich durch Veränderungen in der Artenzusammensetzung auszeichnete. Ursachen liegen hier zum Teil in den sehr kalten Jahren der 90er Jahre. Zudem trat diese Artenänderung verstärkt im Kleinen Haff auf, was auf die durch die flache Morphologie bedingte geringe Pufferkapazität zurückzuführen ist.

Trotz der Ergebnisse gestaltet sich eine konkrete Evaluation zum Zustand der biologischen Diversität und Abundanz im Oderästuar als schwierig (Schernewski et al. 2006). Das Kleine Haff befindet sich zum jetzigen Zeitpunkt in einem eutrophen Zustand, in dem allerdings das Algenwachstum lichtlimitiert ist. Der eutrophe Zustand wird erhalten bleiben, allerdings kann eine den Forderungen der WRRL entsprechende Verbesserung zur Nährstofflimitation stattfinden (Wielgat & Schernewski 2005), da es dem Referenzzustand entsprechen würde.

Diese Veränderungen können aber aufgrund der Retentionszeiten der Nährstoffe erst nach vielen Jahren beobachtet und gemessen werden (Dannowski et al. 2000).

Eines lässt sich jedoch mit Gewissheit sagen: Die Gewässer im Oderästuar reagieren, wie die Untersuchung gezeigt hat, auf jegliche Arten der Umweltverschmutzung, die kurz- und langfristig betrachtet, die Gewässer arg gefährden. Um die Natürlichkeit des Oderästuars zu erhalten bzw. seine Wasserqualität zu verbessern, müssen deshalb anthropogene Verschmutzungen dringend reduziert werden. Alle Beteiligten sollten es als eine Notwendigkeit betrachten, Maßnahmen zu ergreifen, welche das Oderästuar als Brackwassergebiet schützen und erhalten.

## Literaturverzeichnis

Bachor A.: Nährstoff- und Schwermetallbilanzen der Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns unter besonderer Berücksichtigung ihrer Sedimente - Diss. Bachor 1-233 (2005) Univ. Greifswald

Bangel H., Schernewski G., Bachor A., Landsberg-Uczciwek M.: Spatial patterns and long-term development of the water quality in the Oder Estuary - Marine Science Reports 57 (2004) 17-65, ISSN: 0939-396X

Bangel H., Schernewski G., Wielgat M.: Spatial, seasonal and long-term changes of phosphorus concentration in the Oder estuary - Erweiterte Zusammenfassungen der Deutschen Gesellschaft für Limnologie (DGL/SIL) 466-470; Jahrestagung 2001 in Kiel; Proceedings of the biannual conference of the German Society of Limnology in Kiel 2001

Behrendt H., Huber P.-H., Opitz D., Schmoll O., Scholz G, Uebe R.: Nährstoffbilanzierung der Flussgebiete Deutschlands, UBA Texte 75/99, Berlin (1999)

Blümel C., Eggert A., Rieling T., Schubert M., Selig U., Bahnwart M., Bauer S., Domin A., Krause C.: Entwicklung von leitbildorientierten Bewertungsgrundlagen für innere Küstengewässer der deutschen Ostseeküste nach der EU-WRRL - Forschungsbericht zum BMBF Projekt Elbo 1-158 (2005)

Bronstert A.: River flooding in Germany: influenced by climate change? - Phys. Chem. Earth, 20, 45-450 (1996) IN: Zebisch M., Grothmann T., Schröter D., Hasse C., Fritsch U., Cramer W., Klimawandel in Deutschland, Vulnerabilität und Anpassungsstrategien Klimasensitiver Systeme - Climate Change Umwelt Bundes Amt 1-195 (2005)

Buckmann K., Duwe K., Fey A., Gebhardt U., Hellmann B., Post J., Weidauer A.: Simulation und Messung von Zirkulations- und Transportprozessen im Greifswalder Bodden, Oderästuar und angrenzenden Küstengewässern - GOAP Synthese Bericht 12-41, Greifswalder Geographische Arbeiten 16 (1998)

Carstensen J., Heiskanen A-S., Kauppila P., Neumann T., Schernewski G., Gromisz S.: Developing reference conditions for phytoplankton in the Baltic coastal waters - European Commission Institute for environment and Sustainability Inland and Marine Waters Unit 1-35 (2005)

Dannowski R., Steidl J., Quast J.: Das Odereinzugsgebiet: Untersuchungen zum Stoffretentions- und umsetzungsverhalten (2000)

Dietrich O.: Spreewald - das Integrationskonzept Spreewald und Ergebnisse zur Entwicklung des Wasserhaushaltes (2004) IN: Zebisch M., Grothmann T., Schröter D., Hasse C., Fritsch U., Cramer W.: Klimawandel in Deutschland, Vulnerabilität und Anpassungsstrategien Klimasensitiver Systeme - Climate Change Umwelt Bundes Amt 1-195 (2005)



Fenske C., Westphal H., Bachor A., Breitenbach E., Buchholz W., Jülich W-D., Hensel P.: The consequences of the Odra flood (summer 1997) for the Odra Lagoon and the beaches of Usedom: What can be expected under extreme conditions? - Int.J. Hyg. Environ. Health 2003, 417-433 (2001)

Grieser J.& Beck C.: Statistical time series decomposition into significant components and application to European temperature - Theor. Appl. Climatol. 71, 171-183 (2002); IN: Jonas M., Staeger T., Schönwiese C-D., Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen Schwerpunkt Deutschland - Climate Change 1-250 Umwelt Bundes Amt (2005)

Grieser J., Beck C.: Extremniederschläge in Deutschland - Zufall oder Zeichen - Klimastatusbericht 2002, DWD, Offenbach

Heerkloss R., Schiewer U., Wasmund N., Kühner E.: A long-term study of zooplankton succession in enclosures with special reference to *Eurytemora affinis* (Poppe), Calanoida, Copepoda - Meeresbiolog. Beitr. 25-35 (1993) 1

Heiskanen A-S., Carstensen J., Gasiunaite Z., Henriksen P., Jaanus A., Kauppila P., Lysiak-Pastuszek E., Sagert S.: Monitoring strategies for Phytoplankton in the Baltic Sea coastal waters - European Commission, Institute for environment and Sustainability Inland and Marine Waters Unit 1-45 (2005)

Helcom (ed.): Environment of the Baltic Sea Area 1994-1998 - Baltic Marine Environment Protection Commission 1-188 (2002)

Helcom (ed.): The Third Baltic Sea Pollution Load Compilation - Baltic Sea Environment Proceedings No. 70, 1-181 (1998) - Baltic Marine Environment Protection Commission ISSN: 0357-2994

Helcom (ed.): The Fourth Baltic Sea Pollution Load Compilation (PLC-4) - Baltic Marine Environment Protection Commission (2004)

Helcom (ed.): Declaration on the Protection of the Marine Environment of the Baltic Sea (1988) - [http://www.helcom.fi/ministerial\\_declarations/en\\_GB/declarations](http://www.helcom.fi/ministerial_declarations/en_GB/declarations)

Helcom (ed.): Environment of the Baltic Sea area 1994-1998 - Baltic Sea Environment Proceedings No 82B (2002)

<http://www.ffh-talk.de/>: FFH und Natura 2000

<http://www.algaebase.org>: Taxonomie, Vorkommen, Merkmale der Algenarten (1996)

<http://www.bfn.de>: Verfahren zur Auswahl und Bewertung von FFH-Gebieten

<http://www.metoffice.com/research/hadleycentre/models/HadCM3.html>: AOGCM-atmosphere-ocean general circulation model (2002)

<http://www.um.mv-regierung.de>: Europäisches ökologisches Netz-Natura 2000

IMWM- Institute of Meteorology and Water Management: Polish Water Resources. Monthly Bulletins. Warsaw, 1990-2000, IN: Wielgat M., Schernewski G., A model application to derive the "pre-industrial" water quality of the Szczecin Lagoon (southern Baltic Sea) - Coastline Reports No. 5 (2005), ISSN 0928-2734

Jonas M., Staeger T., Schönwiese C-D.: Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen Schwerpunkt Deutschland - Climate Change 1-250 Umwelt Bundes Amt (2005)

Krzyminski W., Kruk-Dowgiallo L., Zawadzka-Kahlau E., Dubrawski R., Kaminska M., Lysiak-Pastuszek E.: Typology of Polish marine waters - Coastline Reports 4 (2004), 39-48, ISSN: 0928-2734

LAWA- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: Arbeitshilfe zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (2001)

LaWa - Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland, chemische Gewässergüteklassifikation - Kulturbuchverlag Berlin (1998)

Lozán J.L.: Angewandte Statistik für Naturwissenschaftler - Verlag Paul Parey Berlin/Hamburg (1992)

Lozán J.L., Kausch H., Bernhart H.H., Friedrich G., Hamm A., Schirmer M.: Warnsignale aus Flüssen und Ästuaren, wissenschaftliche Fakten - Parey Buchverlag im Blackwell Wissenschafts-Verlag Berlin (1996)

LUNG-Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern: DIN-Vorschrift zum Monitoring (2006)

LUNG-Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern: Gewässergütebericht 1998/1999 – Ergebnisse der Güteüberwachung der Fließ-, Stand- und Küstengewässer und des Grundwassers in Mecklenburg-Vorpommern (2001)

Meyer H., Lampe R., Jonas P., Buckmann K.: Nährstoffe im Oderästuar- Transporte und Inventare - GOAP-Abschlussbericht 1-25 (1998)

Neumann T., Fennel W., Kremp C.: Experimental Simulation with an Ecosystem Model of the Baltic Sea : A Nutrient Load Reduction Experiment. Global Biogeochemical Cycles 16(3): 7-19 (2002)

Odum E.P.: Ökologie-Grundlagen, Standorte, Anwendungen (Fundamentals of ecology) - Thieme-Verlag Stuttgart 1999

Pankow H., Kell V., Wasmund N., Zander B.: Ostsee-Algenflora - Gustav Fischer Verlag Jena 1990

Podsetchine V., Schernewski G., Tejakusuma I.: Simulation of water flow, transport and temperature in the Oder (Szczecin) Lagoon - Marine Science Reports 57 (2004) 85-97, ISSN: 0939-396X

Rheinheimer G., Nehring D.: Meereskunde der Ostsee - Springer Verlag Berlin (1996)

Rödiger S.: Die Makrofauna des Oderhaffs - Vorschläge für ein Monitoring nach der EU-WRRL - Marine Science Reports 57 (2004) 127-178, ISSN: 0939-396X

Schär C., Jendritzky G.: Hot news from summer 2003 - Nature 432, 559-560 (2004)

Schernewski G., Hoffmann J., Löser N., Dreisewerd M., Stavenhagen P., Grunow B.: Measuring the progress and outcomes of Integrated Coastal and Ocean Management: The German Oder Estuary case study - Report to the UNESCO Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) 1-40 (2006)

Schernewski G., Wielgat M.: Eutrophication of the shallow Szczecin Lagoon (Baltic Sea): modelling, management and the impact of weather; Edited: Wessex Institut of Technology - C.A. Brebbia, Wessex Institut of Technology, 87-98 UK (2001), ISSN 1462-6098, ISBN 1-85312-897-1

Schmidt I.: Langzeitdatenreihen aus dem westlichen Arm des Oderästuars. Möglichkeiten und Grenzen des Informationsgewinns - DLG- Tagungsbericht 671-675 (Schwedt), 1997

Schmidt I.: Beziehung zwischen Wassertemperatur und Phytoplankton im südlichen Greifswalder Bodden - Acta hydrophys., Berlin 34 (1990) 2/3, 131-170

Schmidt I.: Langzeitdatenreihe aus dem westlichen Teil des Oderästuars- Ergebnisse der Bearbeitung von Monitoringdaten der WWD Küste/ Stralsund aus dem Zeitraum 1972-81, 194-227 (1999)

Schmidt I.: The Importance of Phytoplankton Biomass as an Ecosystem Parameter in Shallow Bays of the Baltic. Relation between Biomass and System Characteristics - Limnologia 29 (1999) 301-307

Scholz G.: Quantifizierung des Einflusses von Dränen auf die Stickstoffbelastung von Fließgewässern in Mecklenburg-Vorpommern. Diplomarbeit der Humboldt Universität Berlin (1997) IN: Bachor A. Nährstoff- und Schwermetallbilanzen der Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns unter besonderer Berücksichtigung ihrer Sedimente - Diss. Bachor (2005) Univ. Greifswald

Schönwiese C.D., Janoschitz R.: Klimatrends in Deutschland 1901-2000 - Bericht Nr.3, Inst. Atmosphäre u. Umwelt, Univ. Frankfurt/Main (2005); IN: Schönwiese C-D., Jonas M., Staeger T., Schönwiese C-D., Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen Schwerpunkt Deutschland - Climate Change 1-250 Umwelt Bundes Amt (2005)

Schönwiese C.D. et al.: Statistische-klimatologische Analyse des Hitzsommers 2003 in Deutschland - IN DWD, Klimastatusbericht 2003, S. 123-132, 2004; IN: Jonas M., Staeger T., Schönwiese C-D., Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen Schwerpunkt Deutschland - Climate Change 1-250 Umwelt Bundes Amt (2005)

Schöppe C.: Prüfverfahren-SOP- SOP-Nr.:80-3-21 Phytoplankton-Untersuchungen in Seewasserproben - Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (2003)

Sehlig U., Blümel C., Eggert A., Rieling T., Schubert M., Schubert H.: Zwischenbericht 2003 Elbo: Entwicklung von leitbildorientierten Bewertungsgrundlagen für Übergangsgewässer nach der EU- Wasserreahmenrichtlinie; Institut für Aquatische Ökologie der Universität Rostock 1-63 (2003)

Sommer U.: Biologische Meereskunde - Springer Verlag Berlin Heidelberg (1998)

Stankiewicz M.: Agenda Item 6 - Management programmes for coastal lagoons and wetlands; Helsinki Commision PITF 19 (2002)

Stott P.A.,et al. : Human contributions to the European heatware of 2003 - Nature 432, 610-614 (2004)

Strasburger E.,Noll F.,Schenck H.,Schimper A.F.W.,Sitte P.,Ziegler H.,Ehrendorfer F.,Bresinsky A.: Lehrbuch der Botanik 33. Auflage - Gustav Fischer Verlag Stuttgart, Jena, New York (1991)

Tejakusuma I.: Investigations into the hydrography and dynamics of suspended particulate matter and sediments in the Oder Lagoon, southern Baltic Sea; IKZM-Oder Berichte 1, 1-129 (2004)

Turner R.K., Adger W.N., Lorenzoni I.: Towards integrated modelling and analysis in coastal zones: principles and practices - LOICZ reports & studies No. 11, 122 (1998); IN: Schernewski G., Dannowski R., Humborg C., Mahlburg S., Müller C., Pollehne F., Steidl J., Walbaum V., Interdisziplinäre Forschung zum Küstenzonenmanagment: Erfahrungen und Perspektiven am Beispiel der Oder - Interdisziplinäre Forschung zum Küstenzonenmanagment, Bodden, 9, 73-85 (2000)

Wasmund N.: Occurrence of Cyanobacterial Bloom in the Baltic Sea in Relation to Environmental Conditions - Int. Revue ges. Hydrobiol. 82: 169-184 (1997)

Wasmund N., Göbel J., Schöppe C.: Meeresumwelt 1999-2002- Marine Lebensgemeinschaften Kapitel 2.5.1 (219-236)- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrologie (BSH) (2003)

Wasmund N., Nausch G., Postel L., Witek Z., Zalewski M., Gromisz S., Lysiak-Pastuszak E., Olenina I., Kavolyte R., Jasinskaite A., Müller-Karulis B., Ikauniece A., Andrushaitis A., Ojaveer H., Kallaste K., Jaanus A.: Meereswissenschaftliche Berichte No 38, (2000)- Trophic status of coastal and open areas of the south-eastern Baltic Sea based on nutrient phytoplankton data from 1993-1997 - Institut für Ostseeforschung Warnemünde

Wasmund N., Nausch G., Matthäus W.: Phytoplankton spring blooms in the southern Baltic Sea---spatio-temporal development and long-term trends - Journal of Plankton Research Vol.20 no.6 pp.1099-1117, (1998)

Wasmund N., Uhlig S.: Phytoplankton trends in the Baltic Sea. In: ICES Journal of Marine Sciences, Vol. 60: S. 177-186 (2003)

Wasmund N., Zalewski M., Busch S.: Phytoplankton in large river plumes in the Baltic Sea; ICES Journal of Marine Science, 56 Supplement: 23-32. (1999)

Wielgat M., Schernewski G.: A model application to derive the "pre-industrial" water quality of the Szczecin Lagoon (southern Baltic Sea) - Coastline Reports No. 5 (2005), ISSN 0928-2734, 1-18

Wielgat M., Schernewski G.: Models as tools in coastal water management: eutrophication of the large, shallow Szczecin Lagoon - IHP/OHP-Berichte 13, 147-154 (2002)

Zebisch M., Grothmann T., Schröter D., Hasse C., Fritsch U., Cramer W.: Klimawandel in Deutschland, Vulnerabilität und Anpassungsstrategien Klimasensitiver Systeme - Climate Change Umwelt Bundes Amt 1-195 (2005)

## Anhang

Tab. T1: Abweichungen vom Mittelwert der Salinität (KHM: 1,5 PSU; OB4: 6,7 PSU) in den Jahren 1976 bis 2004 **sehr hohe Salinität  $x \geq 1,5$** ; hohe Salinität  $1,49 \geq x \geq 0,5$ ; **Ø  $-0,49 \geq x \leq 0,49$** ; niedrige Salinität  $-0,5 \geq x \geq -1,49$ ; **sehr niedrige Salinität  $x \leq -1,5$** ; Lücken-fehlende Daten (Datenquelle: LUNG)

	Jahr	Winter	Frühjahr	Sommer	Herbst		Jahr	Winter	Frühjahr	Sommer	Herbst
<b>KHM</b>	[PSU]	[PSU]	[PSU]	[PSU]	[PSU]	<b>OB4</b>	[PSU]	[PSU]	[PSU]	[PSU]	[PSU]
1976	<b>0,19</b>	1,25	<b>-0,15</b>	<b>-0,32</b>	<b>-0,02</b>	1976	0,92	<b>0,38</b>	<b>1,63</b>	0,98	0,68
1977	-0,97		-0,89	-0,99	-1,02	1977	-0,54		<b>-2,12</b>	<b>0,42</b>	<b>0,08</b>
1978	<b>-0,36</b>	<b>-0,05</b>	-0,55	-0,85	<b>0,01</b>	1978	<b>-0,03</b>	<b>0,23</b>	-1,12	<b>0,22</b>	0,55
1979	-0,60	<b>0,15</b>	-1,10	-1,12	<b>-0,32</b>	1979	<b>0,06</b>		-0,67	<b>0,02</b>	0,83
1980	<b>-0,40</b>	0,75	<b>-0,50</b>	-0,95	-0,89	1980	<b>-0,27</b>		<b>-0,08</b>	<b>-1,62</b>	0,88
1981	-0,61	<b>-0,05</b>	-0,85	-0,89	-0,65	1981	-0,95	<b>-0,47</b>	-0,92	<b>-0,22</b>	<b>-2,18</b>
1982	-0,77		-1,10	-1,02	<b>-0,19</b>	1982	<b>0,35</b>	-1,32	<b>1,58</b>	0,95	<b>0,18</b>
1983	0,75	<b>1,85</b>	0,58	<b>-0,12</b>	0,68	1983	1,03	0,58	1,35	0,52	<b>1,65</b>
1984	0,98	<b>2,35</b>	1,20	<b>0,21</b>	<b>0,15</b>	1984	1,12	<b>1,78</b>	0,58	1,15	0,95
1985	<b>0,02</b>	0,85	<b>0,15</b>	<b>-0,49</b>	<b>-0,45</b>	1985	<b>0,21</b>	<b>0,28</b>	-0,72	<b>0,08</b>	1,18
1986	<b>-0,09</b>	1,05	-0,55	-0,75	<b>-0,09</b>	1986	<b>0,26</b>	1,08	<b>0,23</b>	-0,62	<b>0,35</b>
1987	-0,76		-0,90	-0,95	<b>-0,42</b>	1987	-0,60		<b>-2,67</b>	<b>-0,22</b>	1,08
1988	-0,68	<b>-0,39</b>	-0,99	-1,02	<b>-0,32</b>	1988	-0,83	-1,25	<b>-1,85</b>	<b>-0,05</b>	<b>-0,18</b>
1989	-0,68	<b>-0,39</b>	-0,99	-1,02	<b>-0,32</b>	1989	1,33	<b>1,98</b>	1,15	0,98	1,22
1990	<b>1,52</b>	1,25	<b>2,28</b>	1,08	1,48	1990	<b>0,44</b>	<b>0,45</b>	<b>2,15</b>	-1,45	0,62
1991	0,96	<b>2,25</b>	0,85	<b>0,25</b>	<b>0,50</b>	1991	<b>0,17</b>	<b>0,12</b>	-0,58	0,85	<b>0,28</b>
1992	0,86	1,45	0,71	<b>-0,09</b>	1,35	1992	<b>0,04</b>	<b>0,18</b>	<b>-0,48</b>	<b>0,25</b>	<b>0,22</b>
1993	1,18	<b>2,45</b>	1,45	0,55	<b>0,25</b>	1993	<b>-0,04</b>	0,98	<b>-1,52</b>	<b>0,08</b>	<b>0,32</b>
1994	<b>0,02</b>	0,75	<b>-0,40</b>	-0,82	0,55	1994	<b>-0,37</b>	<b>-1,82</b>	<b>-0,38</b>	<b>0,12</b>	0,62
1995	0,59	<b>1,55</b>	<b>0,48</b>	<b>-0,12</b>	<b>0,45</b>	1995	0,53	1,02	1,18	<b>0,18</b>	<b>-0,28</b>
1996	<b>-0,28</b>		<b>0,05</b>	<b>-0,39</b>	<b>-0,50</b>	1996	-0,77		<b>-1,97</b>	<b>0,02</b>	<b>-0,35</b>
1997	<b>0,22</b>	0,95	0,71	<b>-0,25</b>	-0,55	1997	<b>-0,06</b>	<b>0,22</b>	<b>0,15</b>	<b>-1,68</b>	1,08
1998	<b>-0,25</b>	<b>-0,05</b>	<b>-0,19</b>	-0,52	<b>-0,25</b>	1998	-0,68	0,62	<b>-1,97</b>	-0,62	-0,75
1999	<b>-0,41</b>	<b>0,20</b>	-0,59	-0,99	<b>-0,25</b>	1999	-0,77	<b>-0,22</b>	-1,35	-1,45	<b>-0,05</b>
2000	<b>0,24</b>	1,10	<b>0,18</b>	<b>-0,22</b>	<b>-0,12</b>	2000	<b>0,19</b>	0,85	-0,98	1,02	<b>-0,12</b>
2001	<b>-0,20</b>	<b>0,48</b>	<b>-0,02</b>	-0,55	-0,69	2001	<b>-0,37</b>	-0,57	-0,98	<b>0,28</b>	<b>-0,22</b>
2002	<b>-0,50</b>	<b>0,00</b>	-0,79	-0,85	<b>-0,35</b>	2002	-0,97	0,72	<b>-3,52</b>	-0,68	<b>-0,38</b>
2003	<b>0,33</b>			<b>0,00</b>	0,65	2003	<b>0,05</b>		<b>-0,17</b>	<b>0,08</b>	<b>0,23</b>
2004	<b>0,42</b>		<b>0,35</b>	<b>-0,25</b>	1,15	2004	<b>0,17</b>	0,63	<b>-0,47</b>	<b>0,12</b>	<b>0,38</b>

Tab. T2: Abweichungen von dem Mittelwert der Lufttemperatur in den Jahren 1976 bis 2004 **heiß**  $x \geq 2$  ; sehr warm  $1,9 \leq x \leq 1,5$  ; warm  $1,49 \geq x \geq 0,5$  ;  $\emptyset$   $0,49 \geq x \geq -0,49$  ; kühl  $-1,49 \leq x \leq -0,5$  ; kalt  $-1,9 \leq x \leq -1,5$  ; **sehr kalt**  $x \leq -2$  ;  
Lücken-fehlende Daten(Datenquelle: DWD)

	Jahr	Winter	Frühjahr	Sommer	Herbst
1976	<b>0,2</b>	<b>-0,4</b>	-0,6	1,7	<b>0,2</b>
1977	0,6	<b>-0,4</b>	<b>0,2</b>	0,7	1,9
1978	0,8	1,3	<b>0,2</b>	0,6	1,2
1979	-0,5	<b>-3,3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	0,6
1980	<b>-0,2</b>	-1,1	-1,3	0,6	1,0
1981	1,5	0,5	<b>2,7</b>	1,2	1,6
1982	1,3	<b>-2,1</b>	1,6	<b>2,0</b>	<b>3,7</b>
1983	1,7	1,8	1,4	<b>2,2</b>	1,5
1984	<b>-0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	-0,5	
1985	1,5		<b>3,9</b>	0,6	<b>0,1</b>
1986	0,7	-1,1	0,7	1,4	1,7
1987	-0,6	<b>-2,3</b>	-1,3	-0,6	1,7
1988	1,9	<b>2,8</b>	1,9	1,5	1,2
1989	<b>2,7</b>	<b>3,9</b>	<b>2,9</b>	1,6	<b>2,3</b>
1990	<b>2,8</b>	<b>4,9</b>	<b>3,7</b>	1,5	1,1
1991	1,0	0,7	0,7	1,4	1,3
1992	-1,2	0,6	-1,3	-1,2	<b>-2,8</b>
1993	<b>-2,2</b>	<b>-0,3</b>	-0,8	<b>-4,0</b>	<b>-3,7</b>
1994	-1,2	<b>0,0</b>	-1,6	-1,3	-1,8
1995	-1,2	1,1	<b>-2,5</b>	-1,6	-1,6
1996	<b>-3,8</b>	<b>-5,6</b>	<b>-4,4</b>	<b>-2,8</b>	<b>-2,2</b>
1997	<b>-2,1</b>	<b>-2,4</b>	<b>-2,5</b>	-1,1	<b>-2,5</b>
1998	-1,4	1,7	-1,3	<b>-3,2</b>	<b>-2,6</b>
1999	-0,9	<b>-0,1</b>	-1,3	-1,8	-0,5
2000	-0,7	1,2	<b>-0,4</b>	<b>-3,3</b>	<b>-0,1</b>
2001	<b>-0,2</b>	<b>0,1</b>	-0,9	0,5	<b>-0,3</b>
2002	0,6	1,2	<b>0,3</b>	1,8	-1,1
2003	-0,5	<b>-3,0</b>	<b>0,0</b>	<b>2,0</b>	-1,0
2004	<b>-0,1</b>	<b>-0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>-0,3</b>	<b>-0,3</b>















Tab. T5: Zusammenfassung des Salinitäts- [PSU] und Temperaturbereiches [°C] bei den Algen der Station Kleines Haff Mitte (KHM) mit einem Biovolumen >1,0 mm<sup>3</sup>/l und der Station Oderbucht 4 (OB4) mit einem Biovolumen > 0,5 mm<sup>3</sup>/l (Datenquelle: LUNG)

Art	Salinität [PSU]	Temperatur [°C]
<b>Bacillariophyceae</b>		
<i>Coscinodiscus rothii</i>	0,4-7,4	9,3-24,7
<i>Diatoma elongatum</i>	1,5-7,6	2,5-17,5
<i>Fragilaria ulna</i>	3,2-4,3	10,1-11,5
<i>Nitzschia acicularis</i>	1,6-5,3	4,8-20,1
<i>Skeletonema costatum</i>	5,0-7,6	6,6-8,0
<i>Skeletonema subsalsum</i>	1,0-5,9	4,8-20,1
<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	0,6-6,5	10,2-20,0
<b>Cyanobacteria</b>		
<i>Aphanizomenon baltica</i>	1,5-5,3	17,9-18,3
<i>Aphanizomenon flos-aqua</i>	1,5	18,3
<i>Microcystis flos-aquae</i>	0,4-6,1	17,9-26,6
<i>Planktothrix agardhii</i>	0,6-7,9	9,1-24,7
<i>Woronichinia compacta</i>	0,6-8,0	5,5-24,7
<b>Chlorophyceae</b>		
<i>Binuclearia lauterbornii</i>	0,5-1,5	4,8-19,7
<i>Carteria</i> spec.		
<i>Chlamydomonas</i> spec.	1,5-4,1	4,5-12,9
<i>Oocystis</i> spec.		
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	0,6-5,4	6,2-21,3
<i>Scenedesmus</i> spec.	0,6-5,4	3,2-22,9
<i>Scenedesmus spinosus</i>		
<b>Dinophyceae</b>		
<i>Amphidinium crassum</i>	2,9-5,4	7,5-14,7
<i>Heterocapsa rotundatum</i>	2,4-7,5	12,5-16,9
<i>Prorocentrum balticum</i>	0,5	9,5
<i>Prorocentrum minimum</i>	5,6-7,6	10,9-18,2
<b>Cryptophyceae</b>		
<i>Chroomonas</i> spec.	0,4-7,5	2,6-13,3
<i>Cryptomonas</i> spec.	0,5-5,4	6,9-22,9
<i>Plagioselmis prolunga</i>	1,3-2,4	8,1-12,9
<i>Rhodomonas</i> spec.	7,0	16,0
<i>Teleaulax acuta</i>	1,0-7,4	0,8-21,1



Tab. T6: Korrelationen der Algenbiovolumina und der abiotischen Parameter an der Station KHM von 1987 bis 2004 -grau: Korrelation mit vorhandener Signifikanz; Lücken- keine Biovolumina während der Messung der Sonnenscheindauer (Datenquelle: LUNG)

	Sonne	Salz	Wassertemp	SiO4	PO4	DIN	Coscinodiscus rothii	Diatoma elongatum	Fragilaria ulna	Nitzschia acicularis	Skeletonema subsalsum	Stephanodiscus hantzschii	Thalassiosira baltica	Aphanizomenon baltica	Aphanizomenon flos-aqua	Microcystis flos-aquae	Planktothrix agardhii	Woronichinia compacta	Binuclearia lauterbornii	Oocystis spec.	Scenedesmus quadricauda	Scenedesmus spec.	Scenedesmus spinosus	Chlamydomonas spec.	Amphidinium crassum	Heterocapsa rotundatum	Prorocentrum balticum	Chroomonas spec.	Cryptomonas spec.	Plagioselmis prolunga	
Salz	-0,45																														
Wassertemp	0,77	-0,47																													
SiO4	-0,37	0,41	-0,28																												
PO4	0,06	0,06	0,25	0,24																											
DIN	-0,35	-0,03	-0,60	0,06	-0,23																										
<i>Coscinodiscus rothii</i>	0,18	-0,25	0,19	-0,23	0,02	-0,08																									
<i>Diatoma elongatum</i>	0,05	0,06	-0,02	-0,04	-0,04	0,08	-0,03																								
<i>Fragilaria ulna</i>	0,09	-0,07	0,01	0,02	-0,10	0,03	0,01	0,00																							
<i>Nitzschia acicularis</i>	0,09	0,13	-0,06	-0,06	-0,06	0,02	-0,02	-0,01	-0,01																						
<i>Skeletonema subsalsum</i>	-0,03	-0,06	-0,12	0,02	0,07	0,26	-0,04	-0,03	-0,02	-0,02																					
<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	0,13	-0,07	0,15	-0,04	-0,05	-0,07	-0,04	-0,02	-0,02	0,01	0,01																				
<i>Thalassiosira baltica</i>	0,02	-0,07	-0,07	-0,04	-0,07	0,18	-0,03	-0,02	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02																			
<i>Aphanizomenon baltica</i>	0,17	-0,14	0,29	-0,13	-0,03	-0,14	-0,01	-0,03	-0,02	0,00	-0,01	0,33	-0,02																		
<i>Aphanizomenon flos-aqua</i>	0,14	0,18	0,10	0,10	0,37	-0,21	-0,03	-0,04	-0,04	-0,04	0,13	-0,03	-0,02	-0,05																	
<i>Microcystis flos-aquae</i>	0,22	-0,23	0,26	-0,18	0,01	-0,16	0,11	-0,03	-0,03	-0,02	-0,04	-0,03	-0,02	0,52	-0,05																
<i>Planktothrix agardhii</i>	0,10	-0,10	0,22	0,07	0,10	-0,22	-0,03	0,04	-0,03	-0,02	-0,01	0,02	-0,03	-0,05	-0,07	-0,04															
<i>Woronichinia compacta</i>	0,13	0,09	0,20	0,19	0,12	-0,21	-0,04	0,22	-0,04	-0,03	0,05	0,06	-0,03	-0,03	0,00	-0,06	0,16														
<i>Binuclearia lauterbornii</i>	-0,14	-0,12	0,07	-0,11	0,05	0,04	0,84	-0,02	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,01	-0,02	-0,17	-0,02	-0,03	-0,03													
<i>Oocystis spec.</i>	0,03	-0,04	0,07	-0,08	0,02	-0,09	0,03	-0,02	-0,02	-0,01	0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,03	-0,02	-0,03	0,03	-0,01												
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	0,07	0,29	0,10	-0,04	0,22	-0,09	0,33	0,02	-0,02	-0,02	0,00	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	-0,03	-0,03	0,04	0,38	0,05											
<i>Scenedesmus spec.</i>	0,18	0,04	0,13	-0,07	0,07	-0,08	-0,06	0,10	0,03	0,08	0,05	0,64	-0,01	0,32	-0,02	-0,06	0,00	0,30	-0,03	-0,03	-0,05										
<i>Scenedesmus spinosus</i>	-0,06	0,01	0,07	0,03	0,07	-0,12	-0,04	-0,03	-0,02	-0,02	-0,01	-0,03	-0,02	-0,03	-0,06	-0,02	0,75	-0,05	-0,02	-0,02	-0,03	-0,05									
<i>Chlamydomonas spec.</i>	0,00	-0,05	0,00	0,02	-0,08	0,10	-0,01	0,34	0,36	-0,01	-0,02	-0,02	-0,01	-0,02	-0,03	-0,02	-0,03	-0,03	-0,01	-0,01	-0,02	0,02	-0,02								
<i>Amphidinium crassum</i>	-0,06	0,15	-0,03	-0,06	0,03	-0,07	-0,02	0,12	-0,01	-0,01	0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,03	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	-0,01	0,30	-0,01	-0,02	-0,01							
<i>Heterocapsa rotundatum</i>	0,05	0,13	-0,02	-0,09	-0,08	-0,03	-0,03	-0,02	-0,02	0,29	-0,02	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04	-0,03	-0,03	0,02	-0,01	0,08	-0,02	-0,01	-0,02	-0,02	-0,01						
<i>Prorocentrum balticum</i>		-0,10	-0,02	-0,02	0,00	0,26	-0,02	0,03	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,01	-0,02	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01				
<i>Chroomonas spec.</i>		0,08	-0,14	0,07	0,06	0,04	-0,05	-0,01	-0,03	-0,02	0,00	-0,03	-0,02	-0,03	-0,01	-0,04	-0,05	-0,03	-0,01	-0,02	0,09	0,02	-0,03	-0,02	-0,02	0,05	-0,03	0,00			
<i>Cryptomonas spec.</i>	0,26	-0,17	0,21	0,01	0,05	0,03	-0,04	-0,03	-0,03	-0,02	-0,04	0,11	-0,02	-0,04	0,14	-0,05	0,08	0,16	0,19	0,05	0,00	-0,02	-0,04	-0,03	-0,02	-0,03	0,13	0,03			
<i>Plagioselmis prolunga</i>	0,23	-0,05	0,13	-0,10	-0,12	-0,12	-0,03	-0,02	0,31	-0,01	-0,03	0,07	-0,02	0,12	-0,06	0,01	0,01	-0,03	-0,02	-0,02	-0,03	0,09	-0,03	0,01	-0,02	-0,03	-0,01	-0,04	-0,04		
<i>Teleaulax acuta</i>	-0,10	0,03	-0,21	0,18	-0,12	0,05	-0,06	0,02	0,03	0,01	-0,04	-0,03	-0,02	-0,03	-0,08	-0,05	-0,05	-0,04	-0,03	-0,03	-0,04	-0,05	-0,04	-0,02	-0,02	0,08	-0,02	-0,05	-0,05	0,00	



Tab. T7: Korrelationen der Algenbiovolumina und der abiotischen Parameter an der Station OB4 von 1986 bis 2004, - gau: Korrelation mit vorhandener Signifikanz; Lücken- keine Biovolumina während der Messung der Sonnenscheindauer (Datenquelle: LUNG)

	Sonne	Salz	Wassertemp	SiO4	PO4	DIN	<i>Diatoma elongatum</i>	<i>Fragilaria ulna</i>	<i>Nitzschia acicularis</i>	<i>Coscinodiscus rothii</i>	<i>Skeletonema costatum</i>	<i>Skeletonema subsalsum</i>	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	<i>Aphanizomenon baltica</i>	<i>Aphanizomenon flos-aqua</i>	<i>Microcystis flos-aquae</i>	<i>Microcystis spec.</i>	<i>Planktothrix agardhii</i>	<i>Woronichinia compacta</i>	<i>Binuclearia lauterbornii</i>	<i>Carteria spec.</i>	<i>Chlamydomonas spec.</i>	<i>Oocystis spec.</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	<i>Scenedesmus spec.</i>	<i>Amphidinium crassum</i>	<i>Heterocapsa rotundatum</i>	<i>Prorocentrum balticum</i>	<i>Prorocentrum minimum</i>	<i>Chroomonas spec.</i>	<i>Plagioselmis prolonga</i>	<i>Teleaulax acuta</i>				
Sonne																																				
Salz	-0,26																																			
Wassertemp	0,71	-0,04																																		
SiO4	-0,34	-0,27	-0,34																																	
PO4	-0,12	-0,25	-0,06	0,28																																
DIN	-0,15	-0,57	-0,45	0,48	0,50																															
<i>Diatoma elongatum</i>	0,19	-0,13	-0,01	-0,17	0,00	0,10																														
<i>Fragilaria ulna</i>	0,11	-0,34	-0,04	-0,06	-0,02	0,24	0,48																													
<i>Nitzschia acicularis</i>	0,00	-0,15	-0,09	0,04	0,02	0,16	-0,02	-0,01																												
<i>Coscinodiscus rothii</i>	-0,04	0,02	0,01	-0,07	0,04	-0,06	-0,02	-0,01	-0,01																											
<i>Skeletonema costatum</i>	-0,01	0,00	-0,07	-0,06	0,00	0,13	0,33	-0,02	0,16	-0,01																										
<i>Skeletonema subsalsum</i>	-0,05	-0,10	-0,03	0,00	-0,02	0,00	0,03	-0,02	0,03	-0,02	-0,02																									
<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	0,14	-0,16	0,07	-0,05	0,00	0,09	-0,02	-0,02	0,08	-0,01	0,01	0,03																								
<i>Aphanizomenon baltica</i>	0,13	-0,10	0,13	-0,09	-0,02	-0,05	-0,01	-0,02	0,13	-0,01	-0,02	-0,02	-0,01																							
<i>Aphanizomenon flos-aqua</i>	0,05	0,08	0,21	0,00	0,05	-0,08	-0,04	-0,04	0,04	-0,02	-0,02	-0,05	-0,03	-0,04																						
<i>Microcystis flos-aquae</i>	0,19	-0,14	0,21	-0,10	0,00	-0,08	-0,02	-0,02	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	0,01	-0,02																					
<i>Microcystis spec.</i>	-0,03	0,02	0,07	0,16	0,04	-0,05	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,01																				
<i>Planktothrix agardhii</i>	0,06	-0,11	0,12	-0,02	0,00	-0,08	-0,03	-0,02	0,10	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	0,81	-0,03	-0,02	-0,01																			
<i>Woronichinia compacta</i>	0,03	0,07	0,23	0,03	0,00	-0,12	-0,04	-0,03	-0,02	-0,02	-0,03	-0,03	-0,02	-0,02	0,01	-0,03	0,51	-0,03																		
<i>Binuclearia lauterbornii</i>	-0,12	-0,01	-0,06	0,03	-0,01	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	0,00	-0,02	0,23	-0,01	-0,01	-0,10	0,00	-0,01	0,00	-0,02																	
<i>Carteria spec.</i>	0,04	0,03	0,14	-0,05	0,08	-0,06	-0,02	-0,02	-0,02	0,12	-0,02	-0,02	0,01	0,02	-0,01	-0,02	-0,01	-0,02	-0,03	0,00																
<i>Chlamydomonas spec.</i>	0,13	-0,28	-0,03	0,05	0,02	0,23	-0,01	0,19	0,03	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	0,34	-0,03	-0,02	-0,01	0,30	-0,03	-0,01	-0,02															
<i>Oocystis spec.</i>	0,04	-0,02	0,11	0,01	0,04	-0,06	-0,02	-0,02	-0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,41	-0,01	0,18	-0,01	0,00	-0,01	0,00	0,00	-0,01	-0,01														
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	0,09	-0,15	-0,02	0,08	0,02	0,08	0,22	-0,03	-0,01	-0,02	-0,03	0,43	0,23	-0,02	-0,05	-0,03	-0,02	-0,03	-0,03	-0,02	-0,03	0,01	-0,02													
<i>Scenedesmus spec.</i>	0,20	-0,29	0,08	-0,10	0,08	0,14	-0,04	-0,03	0,09	-0,02	0,00	-0,01	0,06	0,12	0,14	-0,03	-0,02	0,11	-0,04	-0,01	-0,03	0,04	0,10	-0,04												
<i>Amphidinium crassum</i>	0,13	-0,01	0,00	-0,01	-0,01	0,02	-0,03	-0,02	0,00	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	0,23	-0,03	-0,02	-0,01	0,12	-0,02	-0,02	-0,02	0,18	-0,01	0,15	0,11											
<i>Heterocapsa rotundatum</i>	0,11	-0,02	0,09	-0,15	-0,11	-0,08	-0,03	0,00	-0,03	0,00	-0,03	-0,04	-0,03	0,08	-0,08	-0,03	-0,02	-0,02	-0,03	-0,01	0,01	0,04	-0,03	-0,05	0,00	0,27										
<i>Prorocentrum balticum</i>		0,12	0,07	0,07	0,04	-0,06	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,02	-0,01	-0,01	-0,01	0,03	-0,01	-0,01	-0,02	-0,01	-0,02	-0,02	-0,01	-0,02	-0,02	-0,01	-0,03						
<i>Prorocentrum minimum</i>	-0,08	-0,05	0,10	0,05	0,01	-0,10	-0,03	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	-0,02	-0,02	0,00	-0,04	-0,02	-0,01	0,27	0,37	0,00	-0,02	0,03	0,14	-0,04	0,05	-0,02	-0,04	-0,02								
<i>Chroomonas spec.</i>		0,15	-0,09	0,22	0,11	0,02	-0,01	-0,04	-0,03	-0,03	-0,04	-0,04	-0,04	-0,03	-0,02	-0,04	-0,02	-0,02	-0,04	-0,02	0,13	-0,05	-0,03	0,16	-0,04	0,20	-0,08	0,01	-0,05							
<i>Plagioselmis prolonga</i>	0,27	-0,10	0,36	-0,14	-0,10	-0,23	0,02	0,12	-0,01	0,15	-0,07	-0,06	-0,04	0,24	-0,04	-0,02	-0,03	0,28	0,02	-0,02	0,01	0,01	-0,04	-0,06	-0,02	-0,03	0,13	-0,04	0,09	-0,13						
<i>Teleaulax acuta</i>	0,06	-0,11	0,03	0,00	-0,06	0,08	0,24	0,35	0,01	-0,03	-0,03	-0,03	-0,01	-0,03	-0,05	0,03	-0,02	-0,04	0,01	-0,02	0,00	0,15	0,02	-0,05	-0,04	-0,04	-0,05	-0,03	-0,05	-0,10	-0,02					
<i>Cryptomonas spec.</i>	-0,07	-0,20	-0,05	0,15	0,83	0,53	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01	0,08	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,01	-0,01	-0,02	-0,01	-0,02	-0,02	-0,01	-0,03	-0,01	-0,01	-0,03	-0,04	-0,03	-0,04	-0,03		



Tab. T9: Korrelationen der Algenbiovolumina und der abiotischen Parameter an der Station KHM innerhalb der temperaturunterdurchschnittlichen Jahre 1993, 1996 und 1997 -grau: Korrelation mit vorhandener Signifikanz; Lücken- traten keine Biovolumina während der Messung auf bzw. Daten der Sonnenscheindauer erst ab 1992 vorhanden (Datenquelle: LUNG)

1993, 1996, 1997	Sonne	Salz	Wassertemp	SiO4-Si	PO4-P	DIN	Coscinodiscus rothii	Diatoma elongatum	Fragilaria ulna	Nitzschia acicularis	Skeletonema subsalsum	Stephanodiscus hantzschii	Thalassiosira baltica	Aphanizomenon baltica	Aphanizomenon flos-aqua	Microcystis spec.	Microcystis flos-aquae	Planktothrix agardhii	Woronichinia compacta	Binuclearia lauterbornii	Oocystis spec.	Scenedesmus quadricauda	Scenedesmus spec.	Scenedesmus spinosus	Chlamydomonas spec.	Amphidinium crassum	Heterocapsa rotundatum	Prorocentrum balticum	Chroomonas spec.	Cryptomonas spec.
Sonne																														
Salz	-0,17																													
Wassertemp	0,69	-0,63																												
SiO4-Si	-0,54	0,20	-0,41																											
PO4-P	0,10	-0,26	0,40	0,06																										
DIN	-0,48	0,53	-0,80	0,33	-0,47																									
Coscinodiscus rothii	0,43	-0,56	0,58	-0,53	0,24	-0,42																								
Diatoma elongatum	-0,03	-0,06	0,01	0,11	-0,13	0,30	-0,11																							
Fragilaria ulna	0,17	-0,02	0,09	-0,24	-0,14	-0,21	0,12	-0,04																						
Nitzschia acicularis	0,20	0,33	-0,21	-0,09	-0,10	0,16	-0,12	-0,04	-0,04																					
Skeletonema subsalsum	-0,01	-0,11	0,18	-0,03	0,38	-0,30	-0,10	-0,10	0,02	-0,10																				
Stephanodiscus hantzschii	-0,32	-0,11	-0,11	0,35	0,05	-0,15	-0,10	-0,07	-0,06	-0,07	0,14																			
Thalassiosira baltica	0,04	0,05	-0,19	-0,13	-0,18	0,05	-0,11	-0,04	-0,04	-0,04	-0,09	-0,06																		
Aphanizomenon baltica	0,11	0,10	0,27	0,04	-0,21	-0,21	-0,11	-0,04	-0,04	-0,04	-0,01	-0,06	-0,04																	
Aphanizomenon flos-aqua																														
Microcystis spec.																														
Microcystis flos-aquae																														
Planktothrix agardhii	0,17	0,05	0,16	0,15	0,61	-0,29	-0,15	-0,06	-0,06	-0,06	0,42	-0,08	-0,06	-0,06																
Woronichinia compacta	-0,13	0,01	0,15	0,28	0,29	-0,33	-0,24	-0,09	-0,09	-0,09	0,55	0,51	-0,09	0,47				0,28												
Binuclearia lauterbornii	0,46	-0,29	0,36	-0,35	-0,03	-0,39	0,35	-0,15	0,27	0,26	-0,07	0,05	-0,15	-0,14				-0,20	0,00											
Oocystis spec.	-0,18	-0,07	0,00	0,17	0,26	-0,11	-0,11	-0,04	-0,04	-0,04	0,38	0,40	-0,04	-0,04				-0,06	0,71	0,27										
Scenedesmus quadricauda	0,28	-0,60	0,32	-0,29	-0,14	-0,12	0,55	0,19	0,20	-0,22	-0,21	-0,22	0,20	-0,20				-0,28	-0,44	0,40	-0,20									
Scenedesmus spec.	0,26	0,16	0,18	0,04	0,34	-0,27	-0,17	0,02	0,14	0,21	0,38	-0,12	-0,12	0,24				0,83	0,35	-0,11	-0,06	-0,26								
Scenedesmus spinosus	0,16	-0,34	0,08	0,01	-0,26	0,02	0,02	0,25	0,25	-0,17	-0,29	-0,15	0,25	-0,16				-0,22	-0,35	0,42	-0,16	0,79	-0,24							
Chlamydomonas spec.	0,02	-0,07	0,02	0,11	-0,13	0,28	-0,11	1,00	-0,04	-0,04	-0,09	-0,06	-0,04	-0,04				-0,06	-0,09	-0,15	-0,04	0,20	0,02	0,25						
Amphidinium crassum																														
Heterocapsa rotundatum	0,24	0,23	-0,01	-0,22	-0,11	0,09	-0,16	-0,06	-0,06	0,29	-0,12	0,09	-0,06	-0,06				-0,08	-0,06	-0,09	-0,06	-0,29	-0,04	-0,23	-0,06					
Prorocentrum balticum																														
Chroomonas spec.																														
Cryptomonas spec.	-0,07	0,38	-0,32	0,11	-0,13	0,40	-0,11	-0,01	-0,04	-0,02	-0,09	-0,06	-0,04	-0,04				-0,06	-0,09	-0,15	-0,04	-0,20	-0,09	-0,16	-0,04	-0,04				
Plagioselmis prolonga	0,12	0,08	0,07	-0,17	-0,16	-0,21	0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,09	-0,06	-0,04	-0,04				-0,06	-0,09	0,27	-0,04	0,20	0,00	0,25	-0,04	-0,06				
Teleaulax acuta	0,21	0,30	0,00	-0,03	-0,39	0,11	-0,28	-0,05	-0,12	0,06	-0,14	-0,12	0,14	0,52				-0,17	0,13	-0,31	-0,08	-0,33	-0,01	-0,24	-0,05	0,52			-0,10	



Tab. T11: Korrelationen der Algenbiovolumina und der abiotischen Parameter an der Station OB4 in den temperaturunterdurchschnittlichen Jahren 1993, 1996 und 1997 -grau: Korrelation mit vorhandener Signifikanz; Lücken- traten keine Biovolumina während der Messung auf (Datenquelle: LUNG)

	Sonne	Salz	Wassertemp	SiO4-Si	PO4-P	DIN	Diatoma elongatum	Fragilaria ulna	Nitzschia acicularis	Coscinodiscus rothii	Skeletonema costatum	Skeletonema subsalsum	Stephanodiscus hantzschii	Aphanizomenon baltica	Aphanizomenon flos-aqua	Microcystis flos-aquae	Microcystis spec.	Planktothrix agardhii	Woronichinia compacta	Binuclearia lauterbornii	Carteria spec.	Chlamydomonas spec.	Oocystis spec.	Scenedesmus quadricauda	Scenedesmus spec.	Amphidinium crassum	Heterocapsa rotundatum	Prorocentrum balticum	Prorocentrum minimum	Chroomonas spec.				
1993, 1996, 1997																																		
Sonne																																		
Salz	-0,51																																	
Wassertemp	0,65	-0,18																																
SiO4-Si	-0,21	-0,53	-0,20																															
PO4-P	0,17	-0,71	0,04	0,42																														
DIN	-0,15	-0,44	-0,61	0,48	0,43																													
Diatoma elongatum	0,08	0,07	-0,07	-0,16	-0,24	-0,07																												
Fragilaria ulna	0,42	-0,63	0,06	0,06	0,46	0,37	-0,07																											
Nitzschia acicularis	-0,03	-0,24	-0,29	0,34	0,13	0,60	-0,04	-0,07																										
Coscinodiscus rothii	0,12	0,17	0,18	-0,18	-0,25	-0,18	-0,05	-0,10	-0,05																									
Skeletonema costatum	-0,14	0,08	0,21	-0,06	0,20	-0,23	-0,07	-0,12	-0,07	-0,09																								
Skeletonema subsalsum	0,12	-0,33	0,28	0,16	0,25	-0,09	-0,06	-0,10	-0,06	-0,07	0,11																							
Stephanodiscus hantzschii	0,35	-0,24	0,45	0,10	0,39	-0,18	-0,06	0,04	-0,06	-0,08	-0,10	0,25																						
Aphanizomenon baltica	0,39	-0,25	0,48	-0,16	-0,15	-0,25	-0,12	0,32	-0,12	0,33	-0,21	0,25	0,08																					
Aphanizomenon flos-aqua																																		
Microcystis flos-aquae																																		
Microcystis spec.																																		
Planktothrix agardhii	0,44	-0,33	0,47	0,12	0,15	-0,08	-0,08	0,18	-0,08	0,01	-0,14	0,39	0,19	0,22																				
Woronichinia compacta	0,26	-0,31	0,39	0,19	0,36	-0,21	-0,06	0,35	-0,06	-0,08	0,54	-0,08	0,09	0,15				0,28																
Binuclearia lauterbornii	0,29	0,01	0,45	-0,11	0,02	-0,36	-0,11	0,09	-0,11	0,33	-0,19	-0,15	0,39	0,28				0,02	0,19															
Carteria spec.	0,10	0,21	0,25	-0,20	-0,26	-0,21	-0,06	-0,10	-0,06	0,98	-0,09	-0,08	-0,08	0,45				-0,12	-0,08	0,28														
Chlamydomonas spec.	0,23	-0,44	-0,19	0,07	0,60	0,58	-0,04	0,56	-0,04	-0,05	-0,07	-0,06	-0,06	-0,12				-0,08	-0,06	-0,11	-0,06													
Oocystis spec.	0,10	-0,02	0,31	-0,02	0,40	-0,20	-0,05	-0,10	-0,06	-0,07	0,31	-0,07	0,80	-0,17				-0,11	0,26	0,28	-0,07	-0,05												
Scenedesmus quadricauda	0,02	-0,14	0,03	0,13	0,17	0,01	-0,05	-0,11	-0,05	-0,07	-0,10	0,60	0,17	0,15				0,27	-0,09	-0,16	-0,08	-0,05		-0,08										
Scenedesmus spec.	0,43	-0,39	0,54	0,03	0,43	-0,20	-0,10	0,30	-0,10	-0,13	0,00	0,23	0,82	0,21				0,21	0,29	0,45	-0,13	-0,10	0,68	0,13										
Amphidinium crassum	0,11	0,14	0,01	-0,14	-0,24	-0,15	-0,04	-0,07	-0,04	-0,05	-0,07	-0,05	-0,06	0,33				-0,09	-0,06	-0,11	-0,06	-0,04	-0,06	-0,05	-0,10									
Heterocapsa rotundatum	0,06	0,14	0,19	-0,25	-0,31	-0,25	-0,07	-0,13	-0,07	0,06	0,07	-0,10	-0,11	0,38				-0,15	-0,10	0,29	0,05	-0,07	-0,10	-0,10	-0,18	0,23								
Prorocentrum balticum																																		
Prorocentrum minimum	-0,10	-0,01	0,16	0,01	0,33	-0,15	-0,04	-0,08	-0,04	-0,06	0,81	-0,06	-0,06	-0,13				-0,06	0,69	-0,11	-0,06	-0,04	0,42	-0,06	0,09	-0,04	-0,07							
Chroomonas spec.																																		
Plagioselmis prolonga	0,33	0,02	0,23	-0,08	-0,21	-0,24	-0,07	0,14	-0,07	0,35	-0,11	-0,09	0,00	0,56				0,09	0,22	0,22	0,31	-0,07	-0,09	-0,09	0,00	0,81	0,20					-0,07		
Teleaulax acuta	-0,09	-0,19	0,02	0,48	0,01	0,12	0,29	-0,20	0,29	-0,13	-0,15	0,06	0,12	-0,23				-0,03	-0,12	0,11	-0,08	-0,16	0,05	-0,12	0,06	-0,16	-0,29					-0,17		
Cryptomonas spec.	-0,11	0,00	-0,24	0,14	0,06	0,30	-0,07	-0,13	0,55	-0,10	-0,12	-0,10	-0,11	-0,22				-0,15	-0,10	0,09	-0,10	-0,07	-0,10	0,35	0,06	-0,07	-0,13					-0,08		

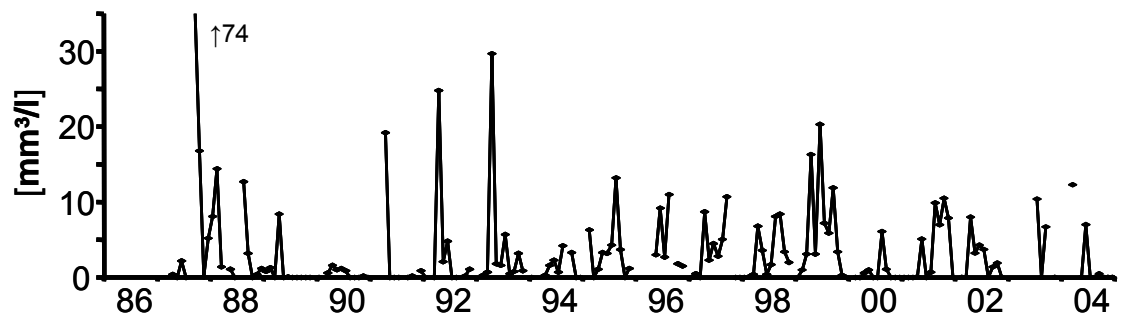


Abb. A1: Entwicklung der Bacillariophyceae an der Station im Kleinen Haff (KHM) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)

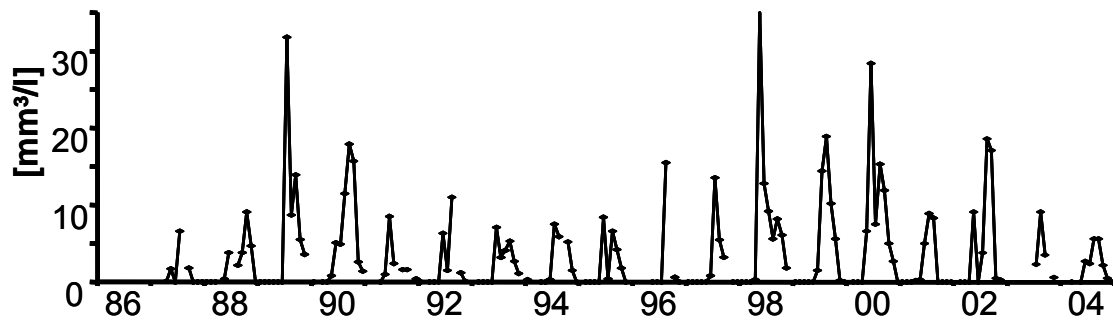


Abb. A2: Entwicklung der Cyanobakterien an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)

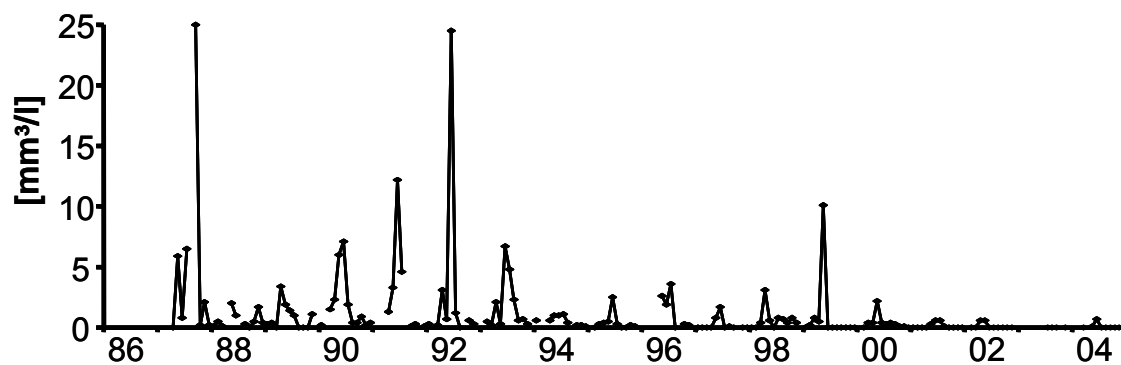


Abb. A3: Entwicklung der Chlorophyceae an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)

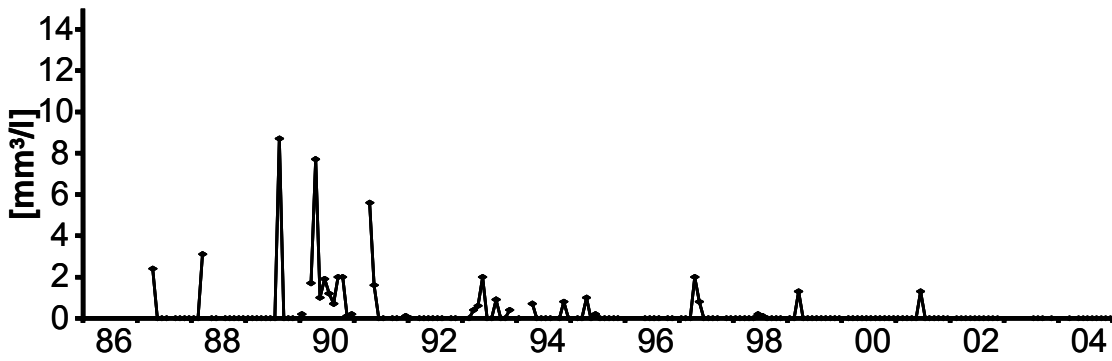


Abb. A4: Entwicklung der Dinophyceae an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)

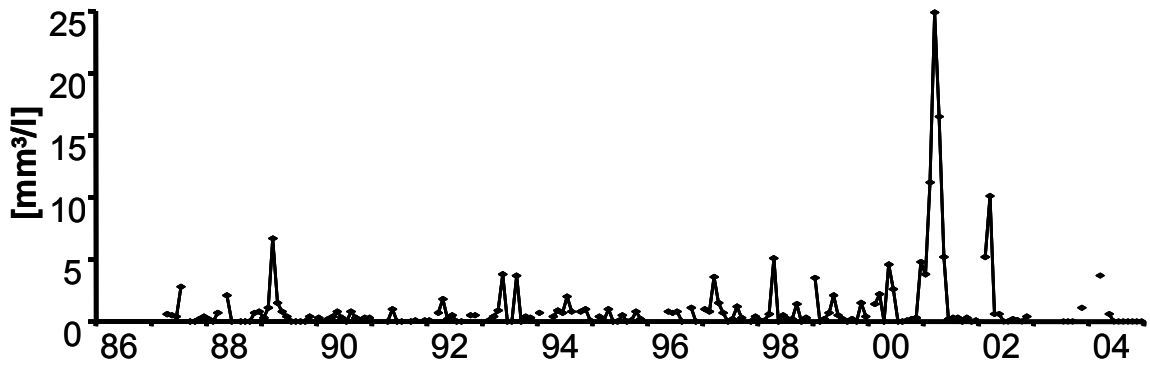


Abb. A5: Entwicklung der Cryptophyceae an der Station KHM Mitte (KHM) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)

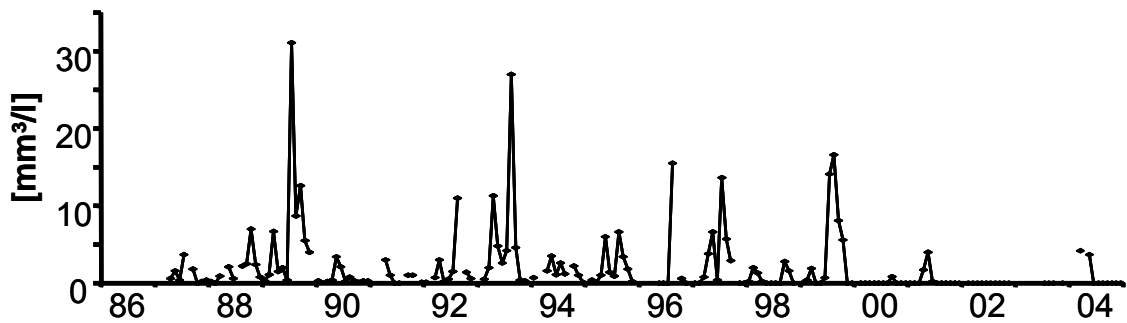


Abb. A6: Entwicklung der „sonstigen“ Algen an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)

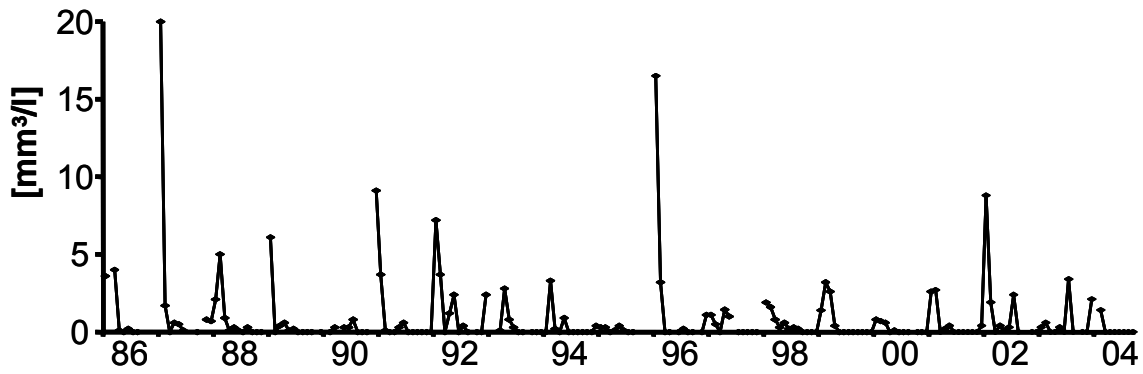


Abb. A7: Entwicklung der Bacillariophyceae an der Station Oderbucht 4 (OB4) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)

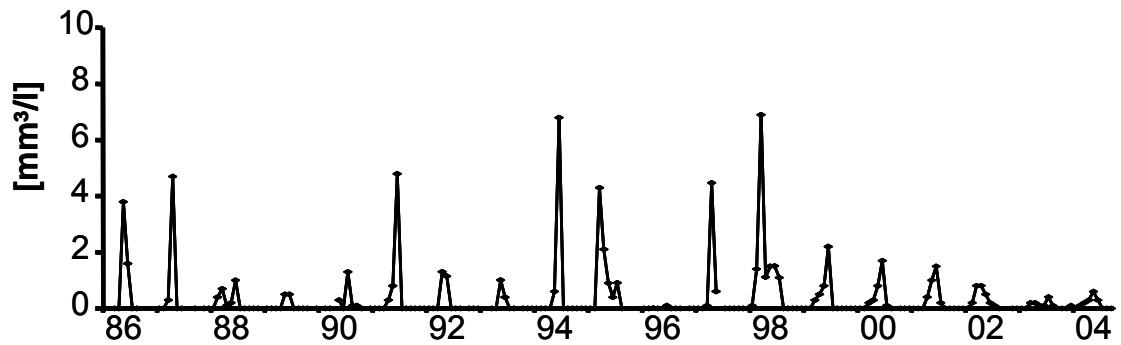


Abb. A8: Entwicklung der Cyanobacteria an der Station Oderbucht 4 (OB4) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)

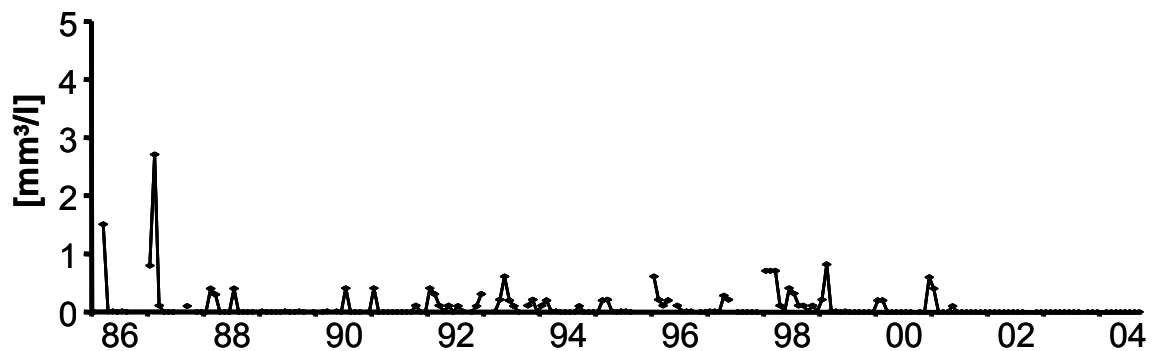


Abb. A9: Entwicklung der Chlorophyceae an der Station Oderbucht 4 (OB4) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)



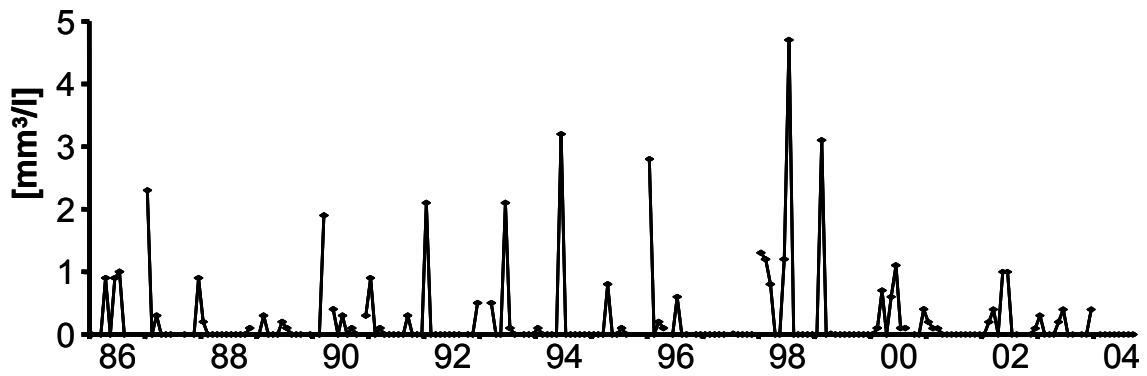


Abb. A10: Entwicklung der Dinophyceae an der Station Oderbucht 4 (OB4) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)

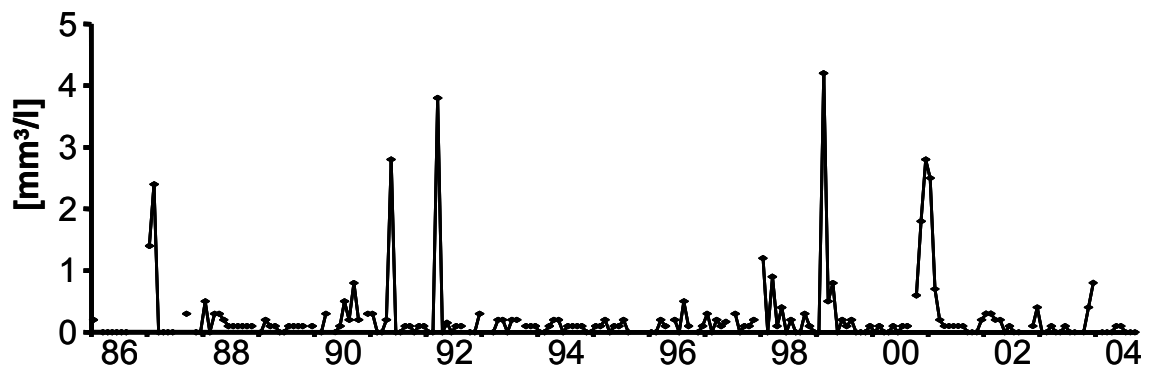


Abb. A11: Entwicklung der Cryptophyceae an der Station Oderbucht 4 (OB4) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)

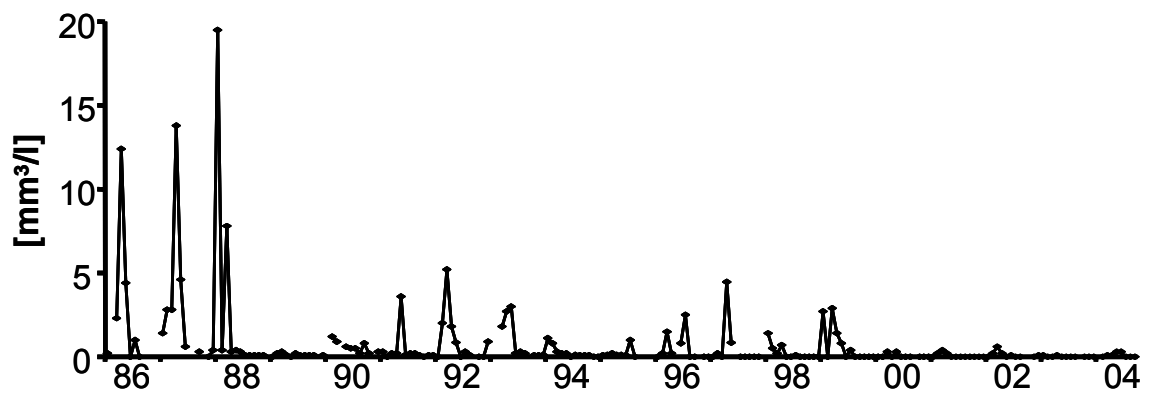
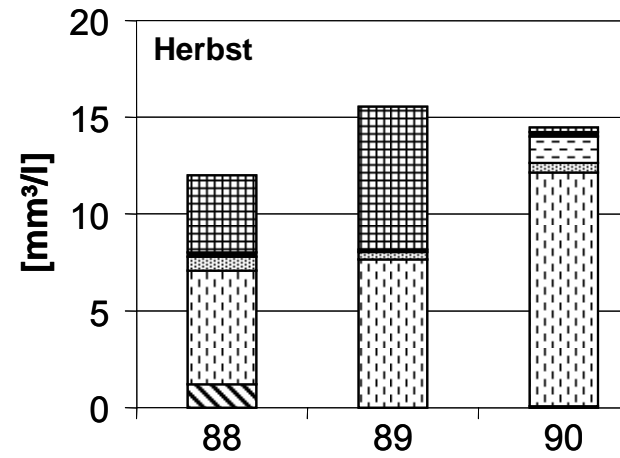
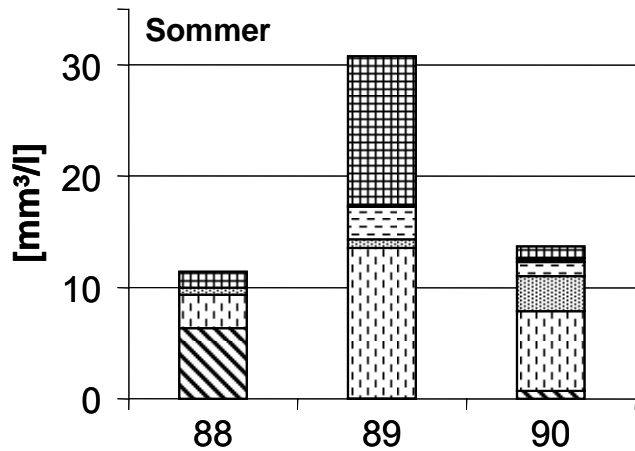
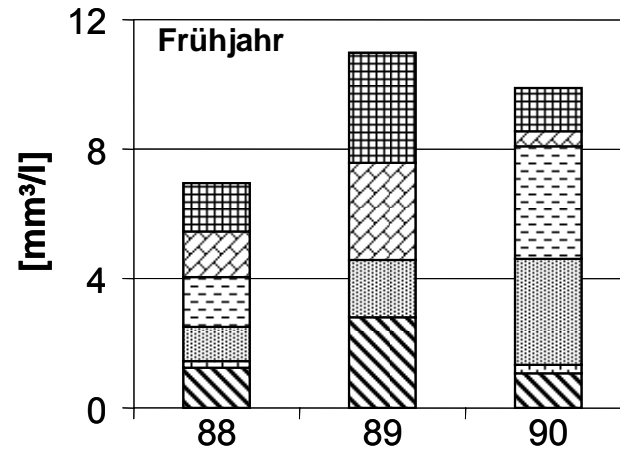
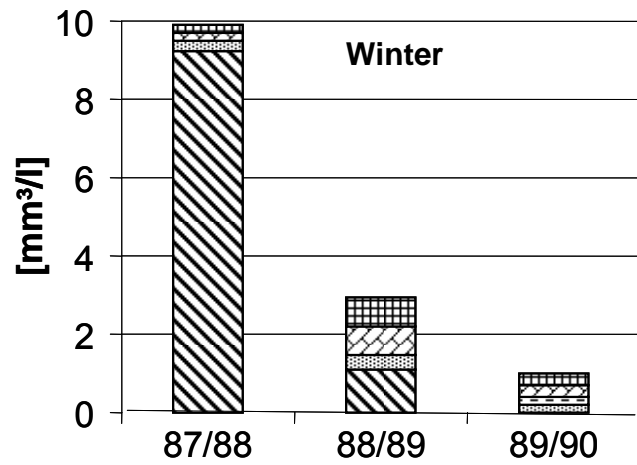
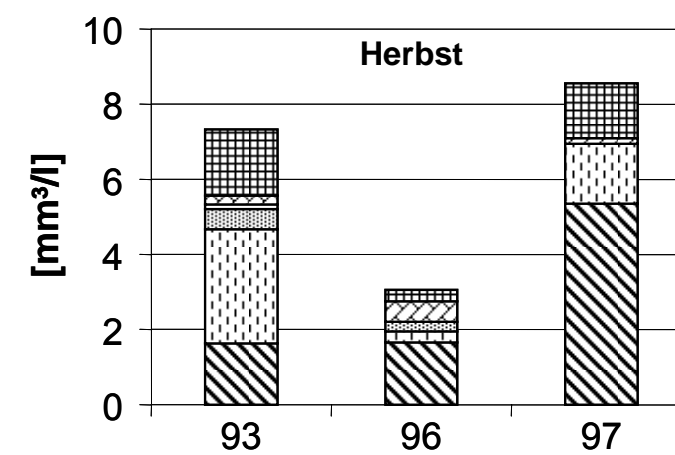
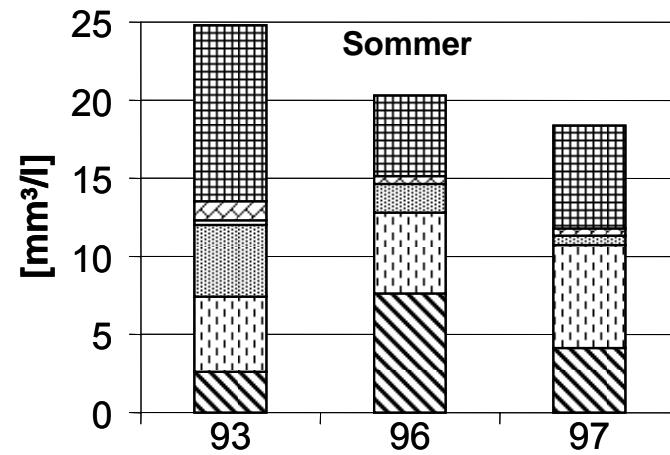
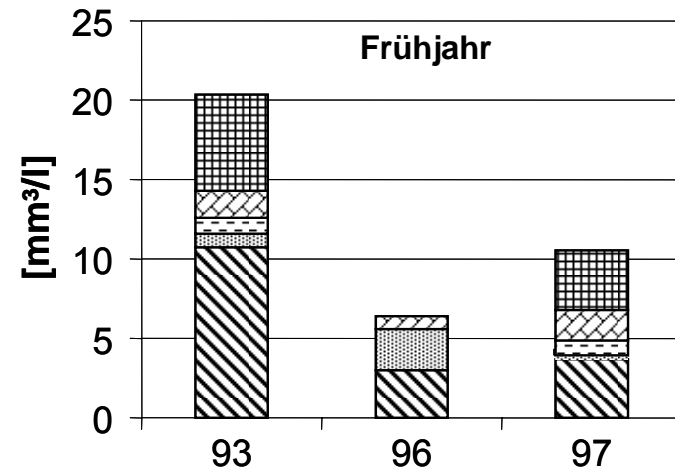
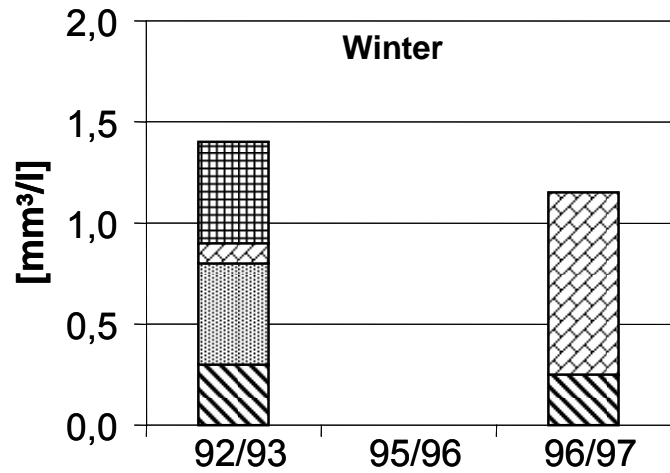


Abb. A12: Entwicklung der „sonstigen“ Algen an der Station Oderbucht 4 (OB4) von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)



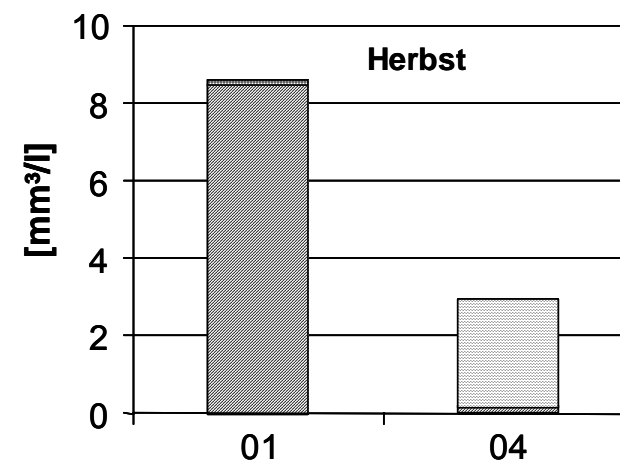
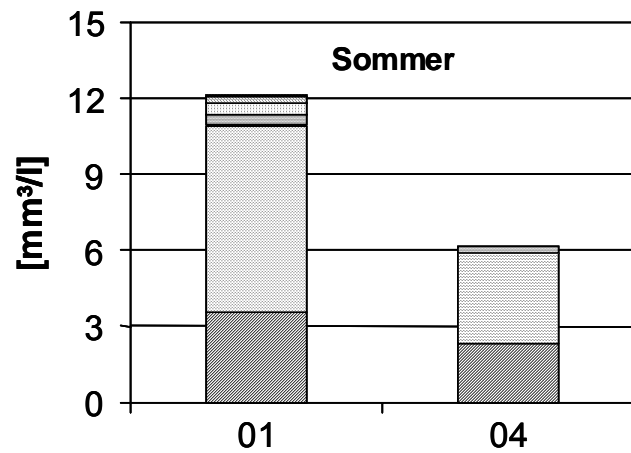
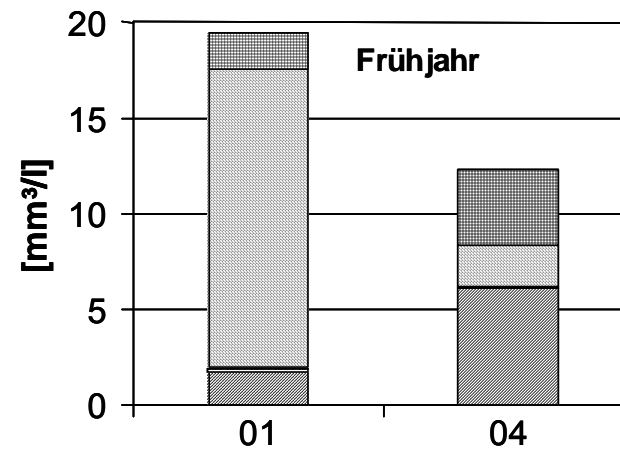
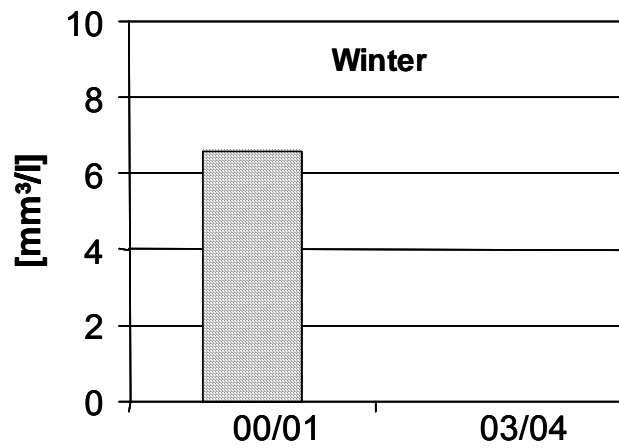
Bacillariophyceae 
  Cyanobacteria 
  Chlorophyceae 
  Dinophyceae 
  Cryptophyceae 
  Sonstige

Abb. A13: saisonale Verteilung der Algenklassen (Bacillariophyceae, Cyanobacteria, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae sowie sonstige Algen) an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) in den heißen Jahren 1988-1990 (Datenquelle LUNG)



Bacillariophyceae
  Cyanobakteria
  Chlorophyceae
  Dinophyceae
  Cryptophyceae
  Sonstige

Abb. A14: saisonale Verteilung der Algenklassen (Bacillariophyceae, Cyanobakteria, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae sowie sonstige Algen) an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) in den sehr kalten Jahren 1993, 1996 und 1997 (Datenquelle LUNG)



Bacillariophyceae
  Cyanobakteria
  Chlorophyceae
  Dinophyceae
  Cryptophyceae
  Sonstige

Abb. A15:

saisonale Verteilung der Algenklassen (Bacillariophyceae, Cyanobakteria, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae sowie sonstige Algen) an der Station Kleines Haff Mitte (KHM) in den temperaturdurchschnittlichen Jahren 2001 und 2004 (Datenquelle LUNG)

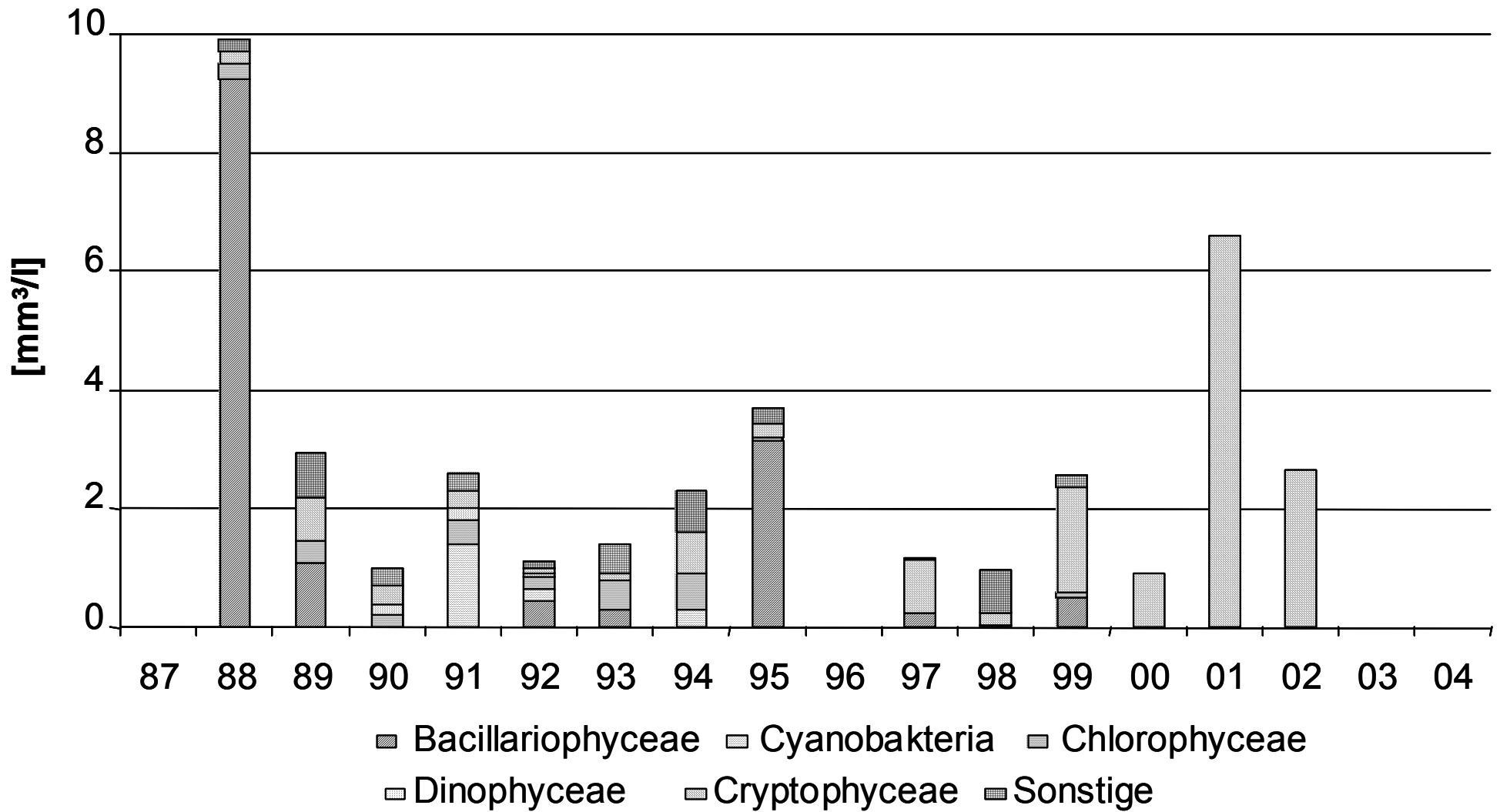


Abb. A16:

Algenverteilung im Winter an der Station KHM von 1987 bis 2004 (Datenquelle LUNG)

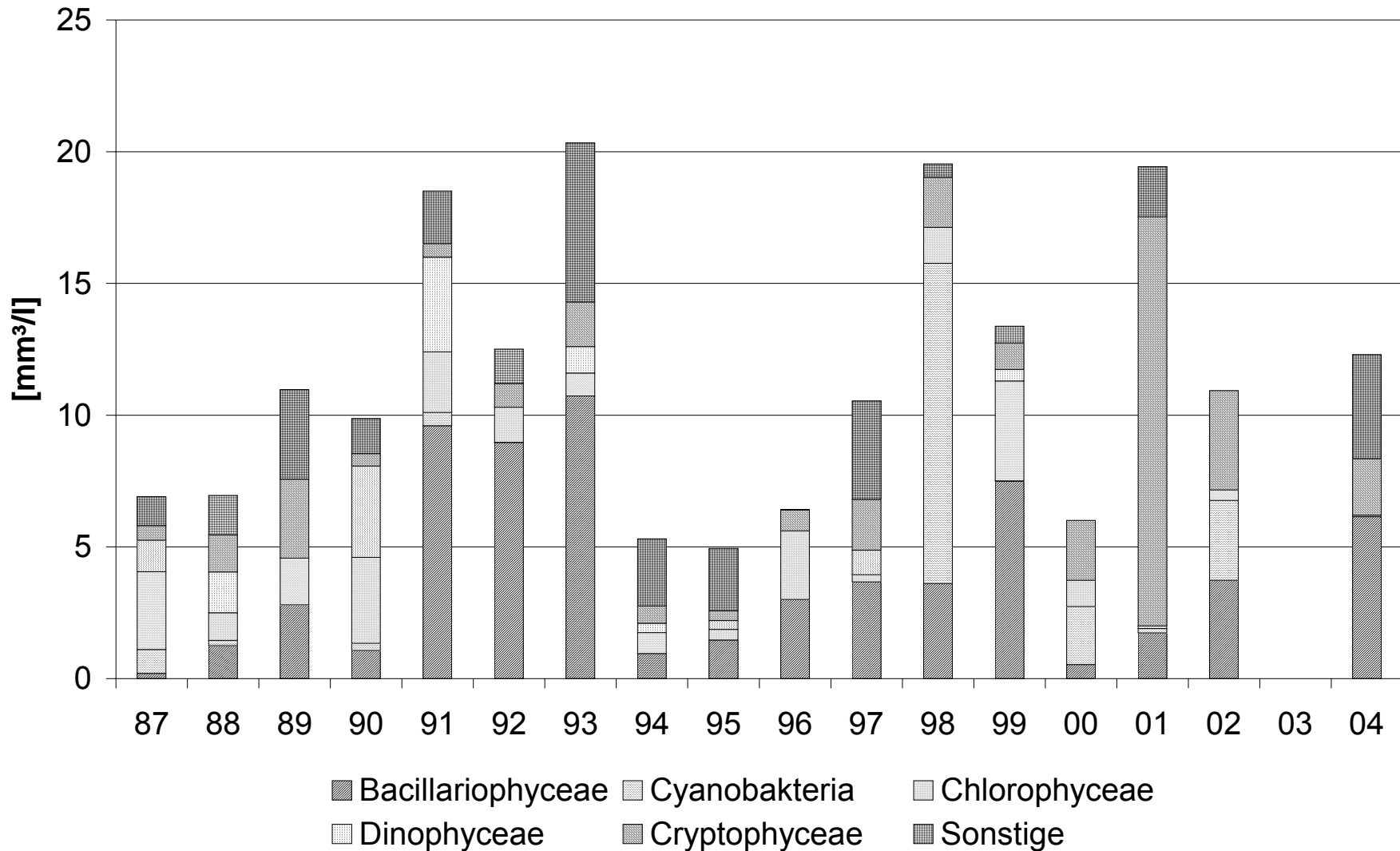


Abb. A17:

Algenverteilung im Frühjahr an der Station KHM von 1987 bis 2004(Datenquelle LUNG)

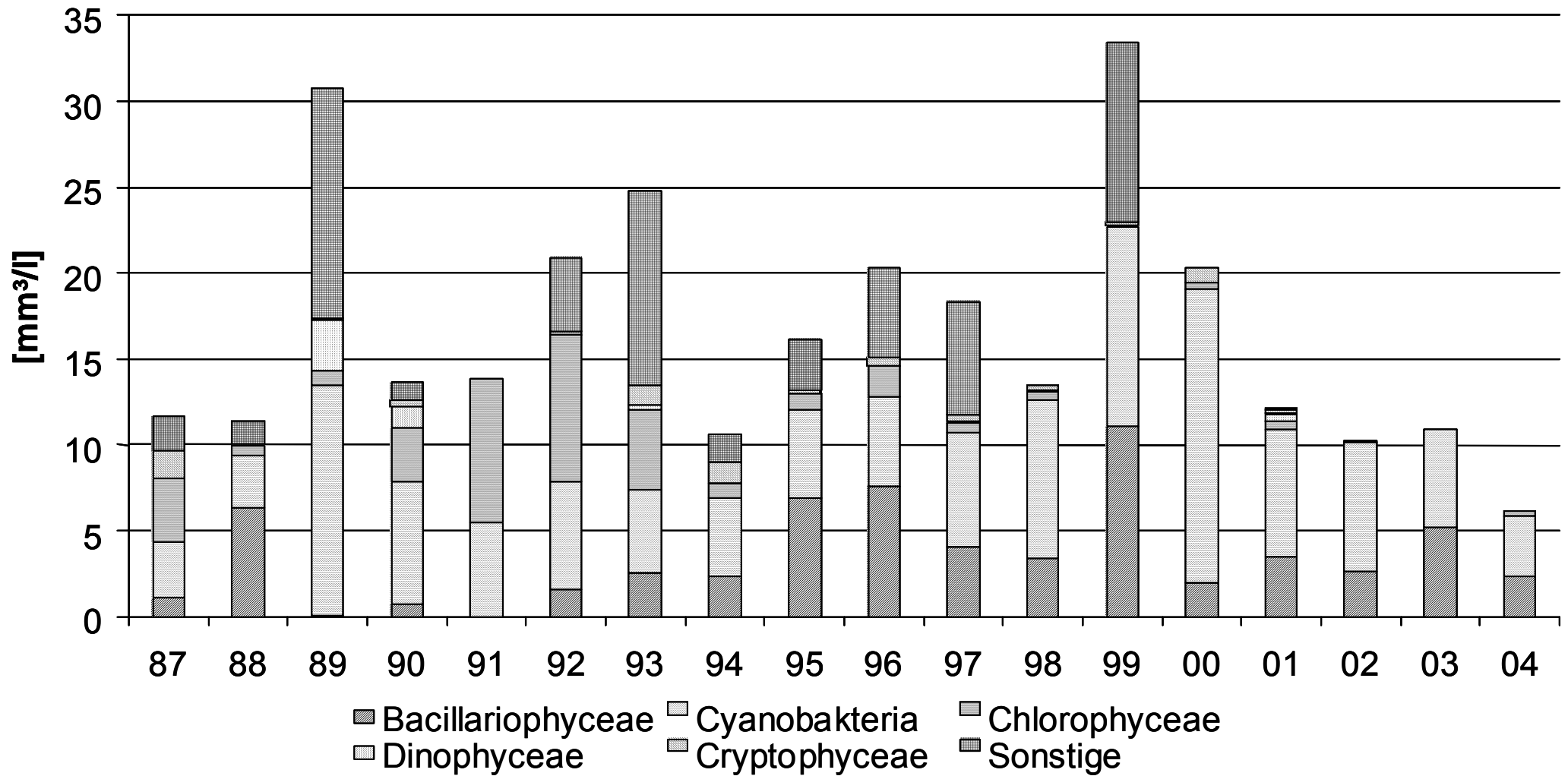


Abb. A18: Algenverteilung im Sommer an der Station KHM von 1987 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)

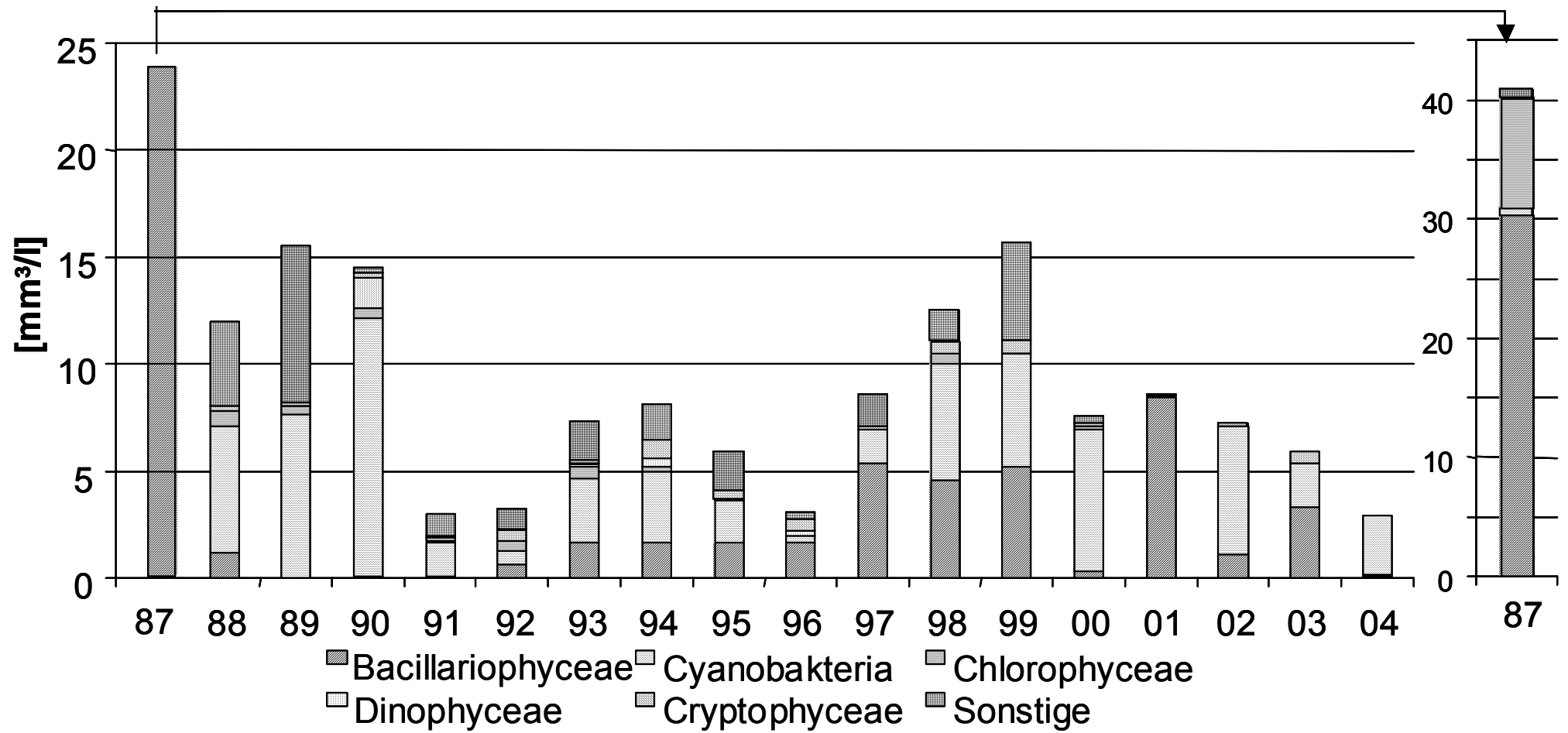
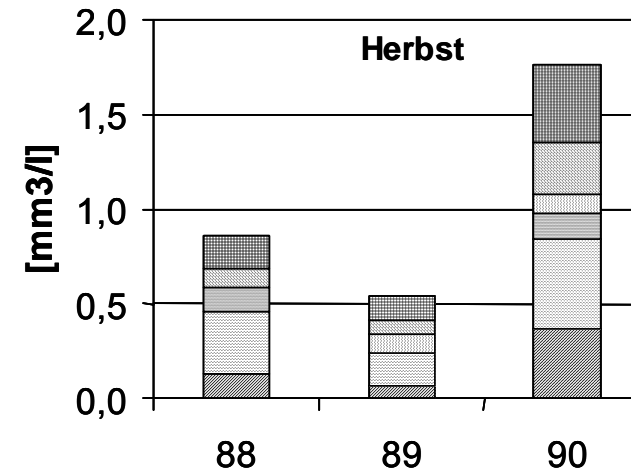
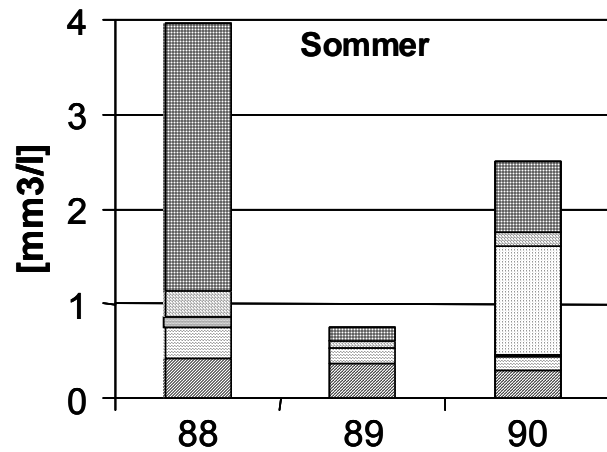
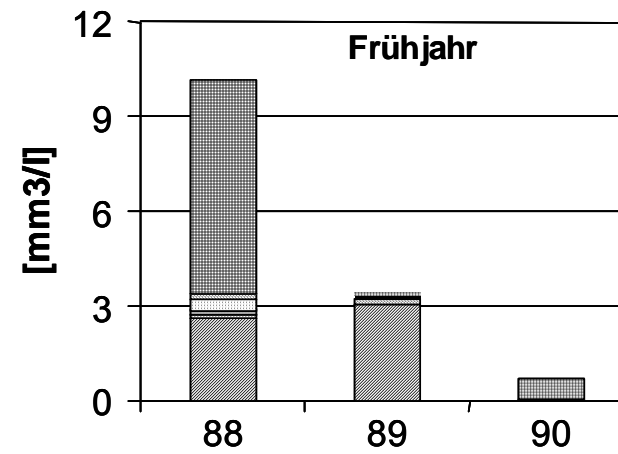
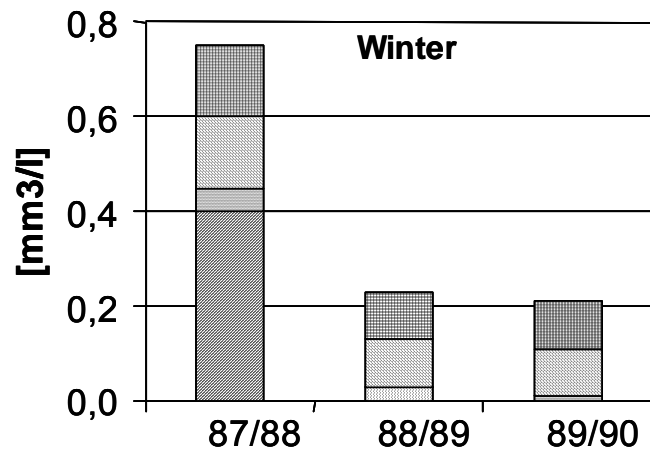


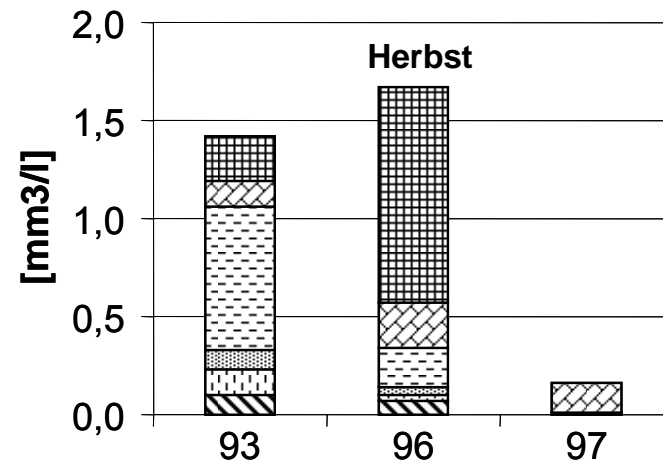
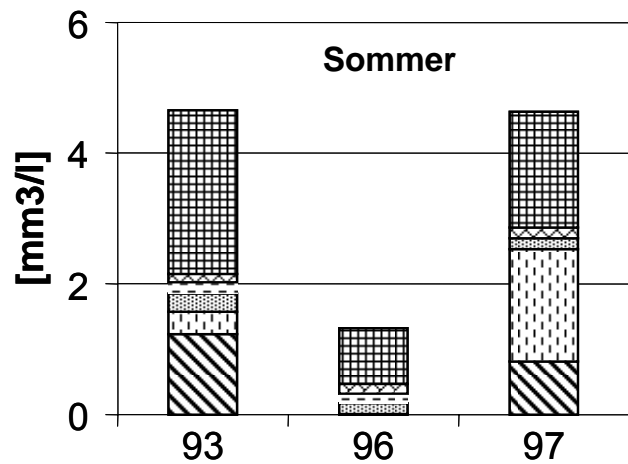
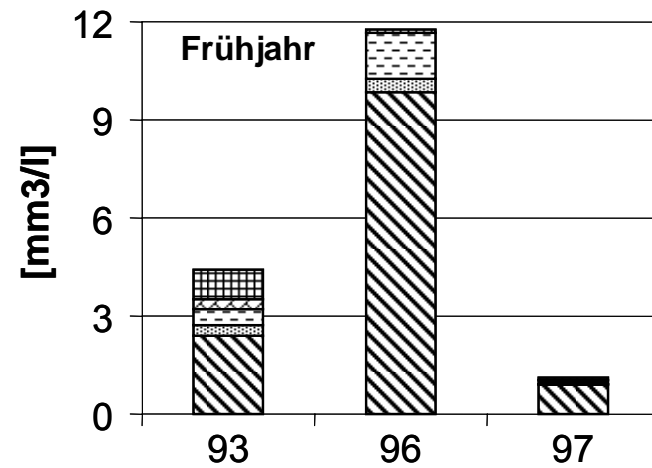
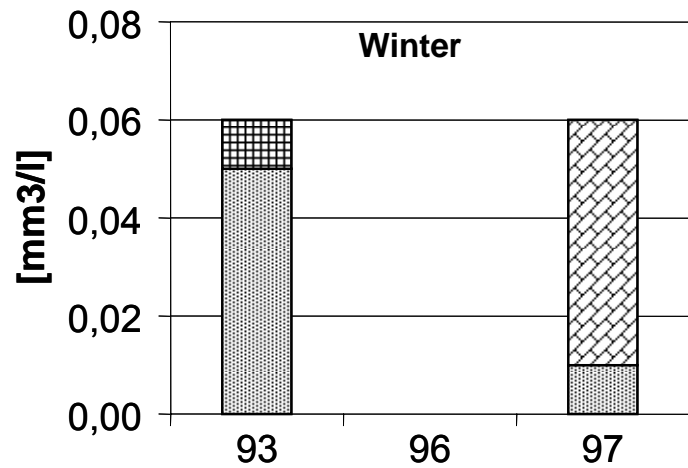
Abb. A19: Algenverteilung im Herbst an der Station KHM von 1987 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)





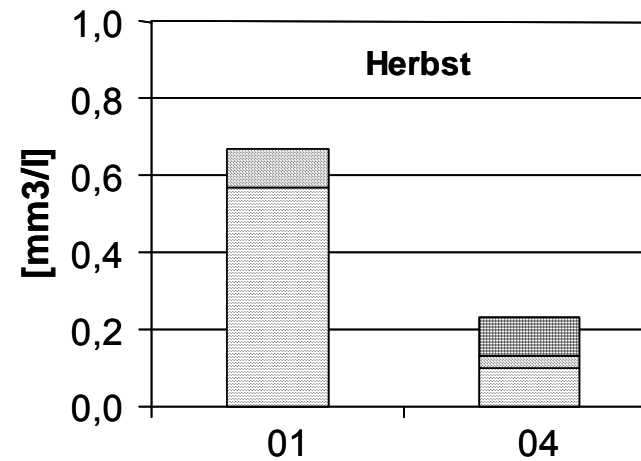
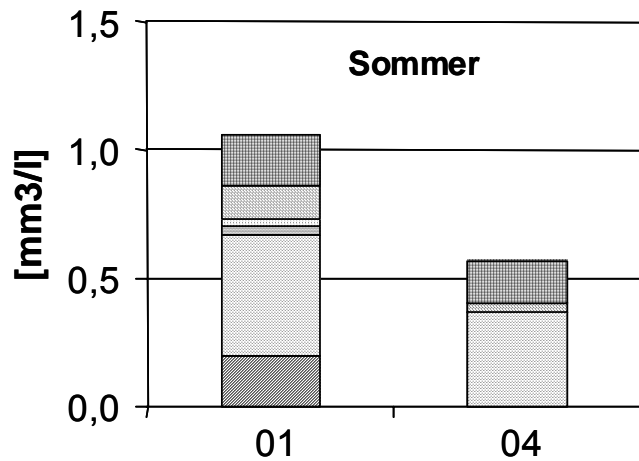
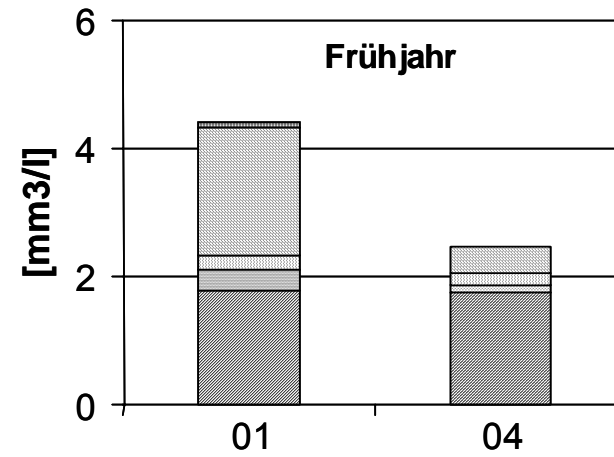
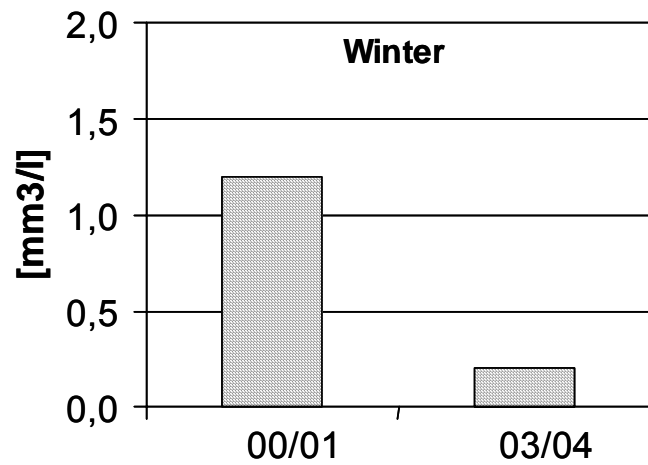
Bacillariophyceae
  Cyanobakteria
  Chlorophyceae
  Dinophyceae
  Cryptophyceae
  Sonstige

Abb. A20: saisonale Verteilung der Algenklassen (Bacillariophyceae, Cyanobakteria, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae sowie sonstige Algen) an der Station Oderbucht 4 (OB4) in den heißen Jahren 1988 bis 1990 (Datenquelle: LUNG)



Bacillariophyceae
  Cyanobakteria
  Chlorophyceae
  Dinophyceae
  Cryptophyceae
  Sonstige

Abb. A21: saisonale verteilung der Algenklassen (Bacillariophyceae, Cyanobakteria, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae sowie sonstige Algen) an der Station Oberbucht 4 (OB4) in den sehr kalten Jahren 1993, 1996 und 1997 (Datenquelle: LUNG)



Bacillariophyceae
  Cyanobakteria
  Chlorophyceae
  Dinophyceae
  Cryptophyceae
  Sonstige

Abb. A22: saisonale Verteilung der Algenklassen (Bacillariophyceae, Cyanobakteria, Chloro-, Dino- und Cryptophyceae sowie sonstige Algen) an der Station Oberbucht 4 (OB4) in den temperaturdurchschnittlichen Jahren 2001 und 2004 (Datenquelle: LUNG)

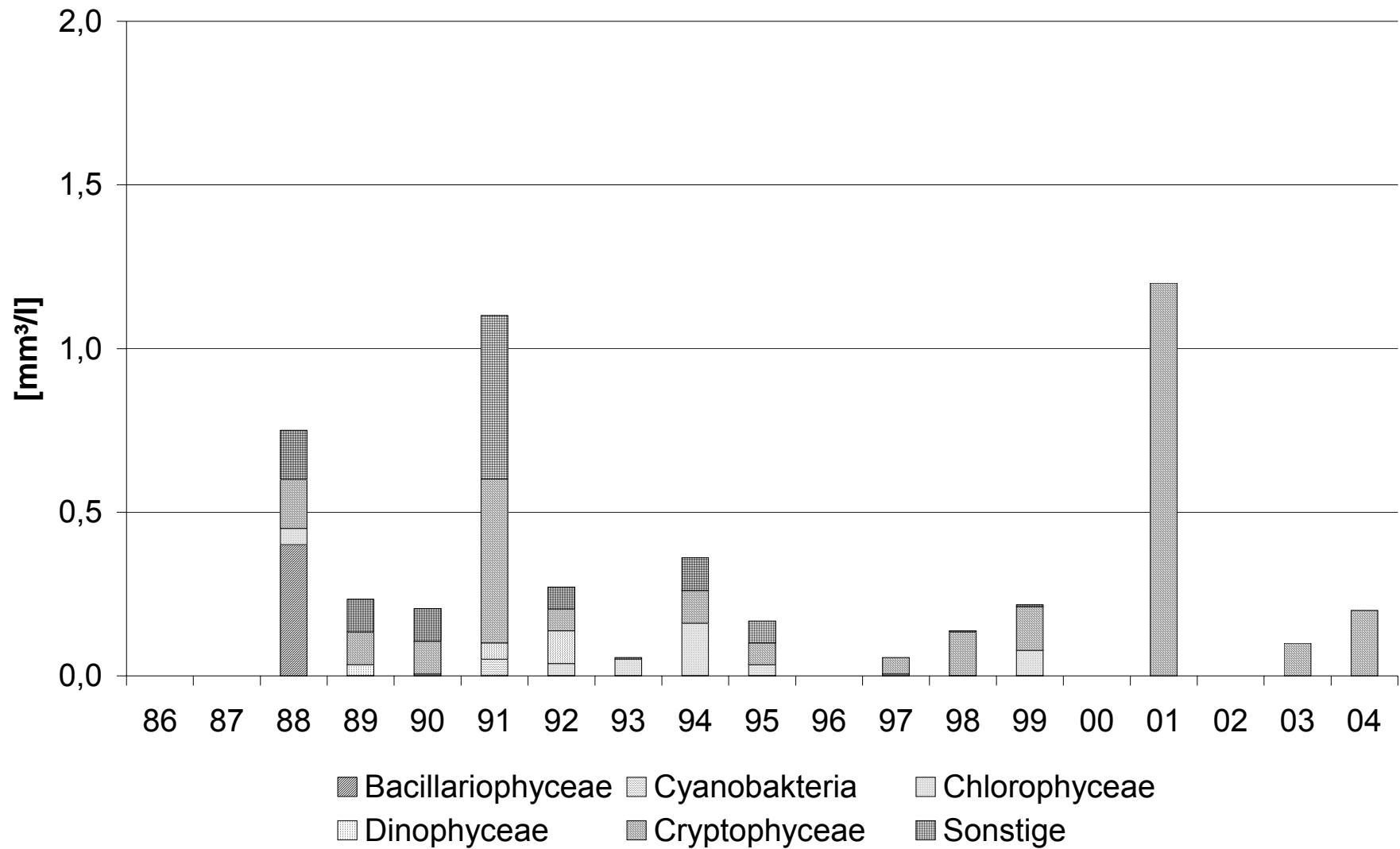


Abb. A23: Algenverteilung im Winter an der Station OB4 von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)

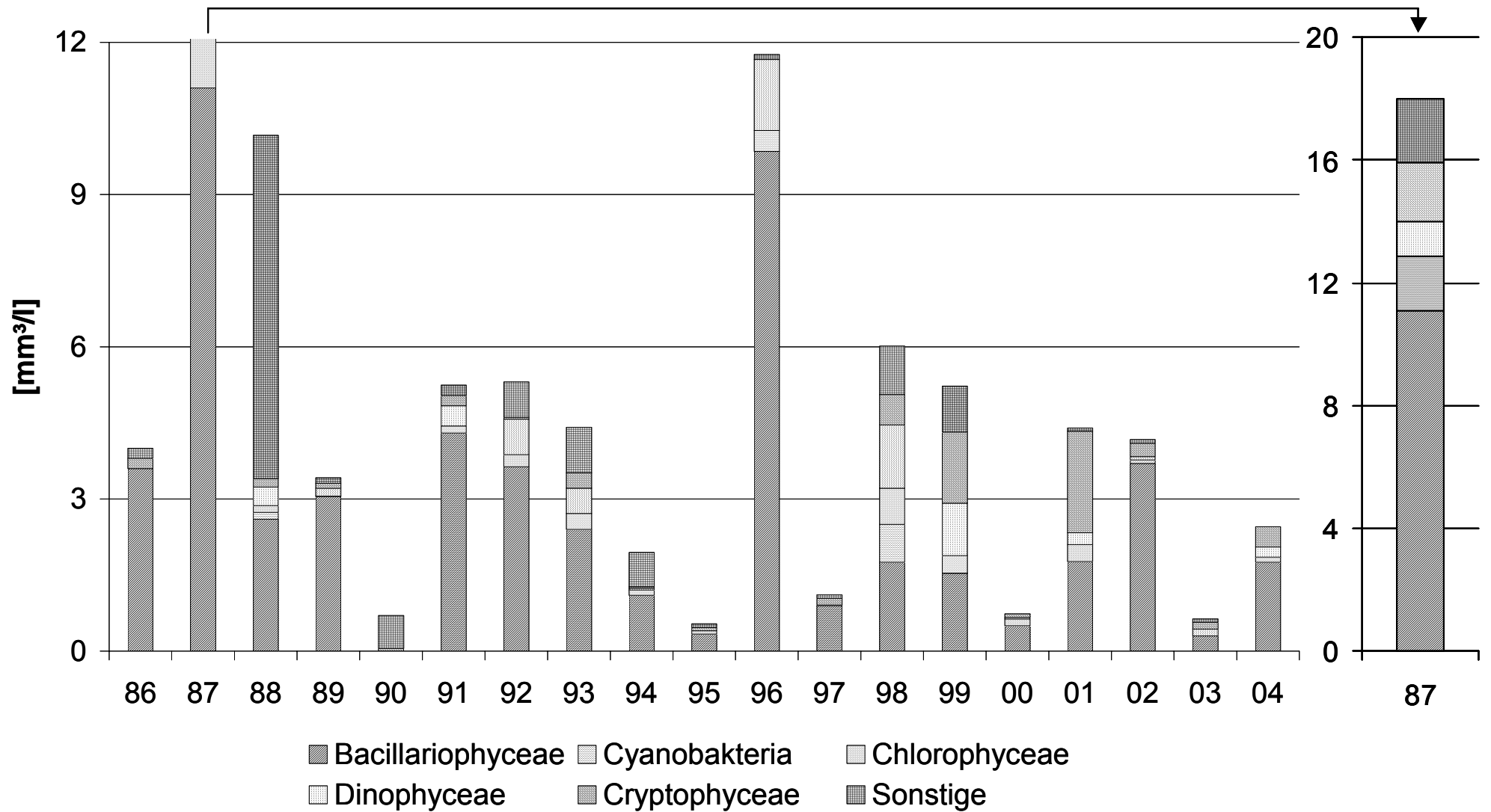


Abb. A24: Algenverteilung im Frühjahr an der Station OB4 von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)

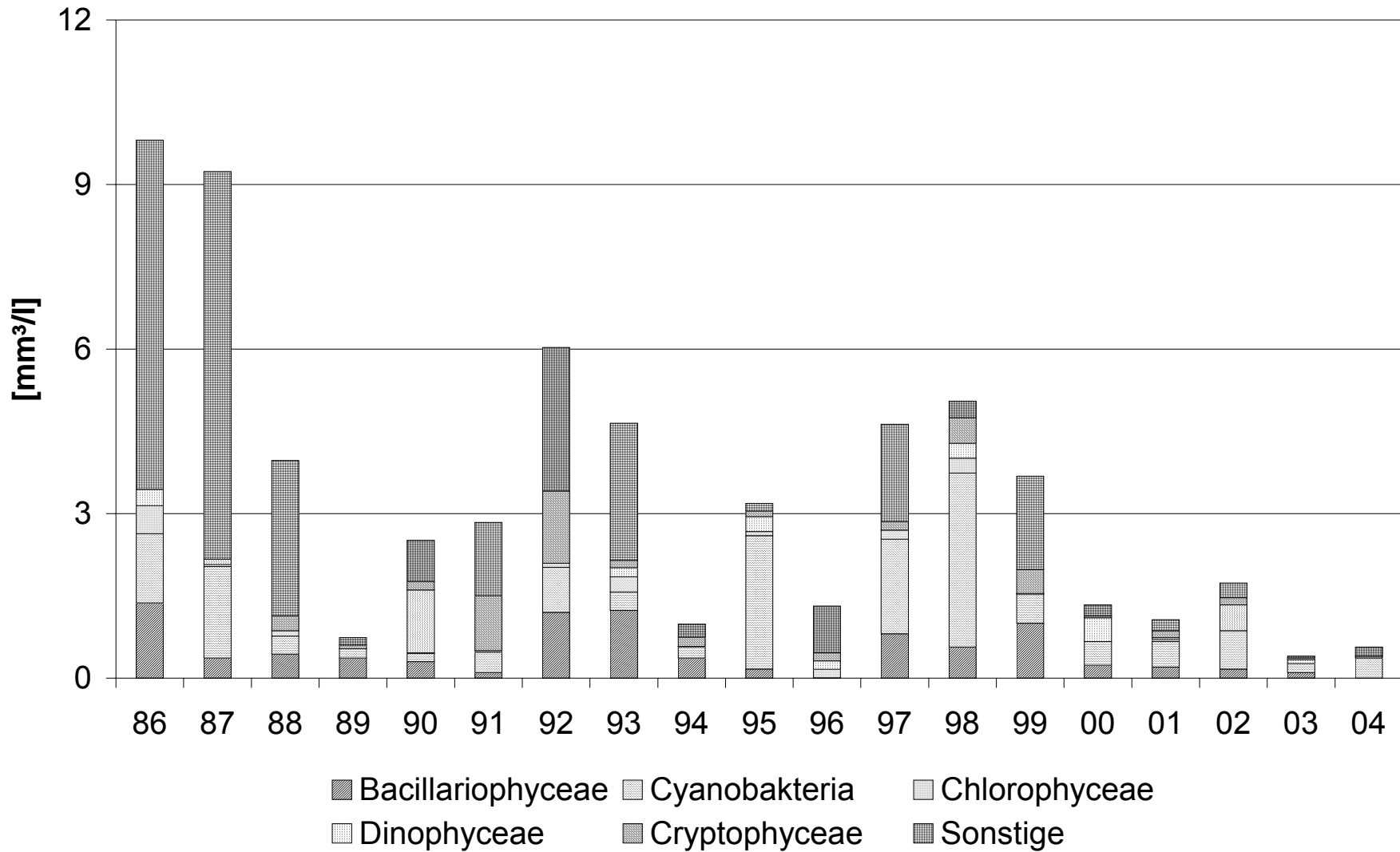


Abb. A25: Algenverteilung im Sommer an der Station OB4 von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)

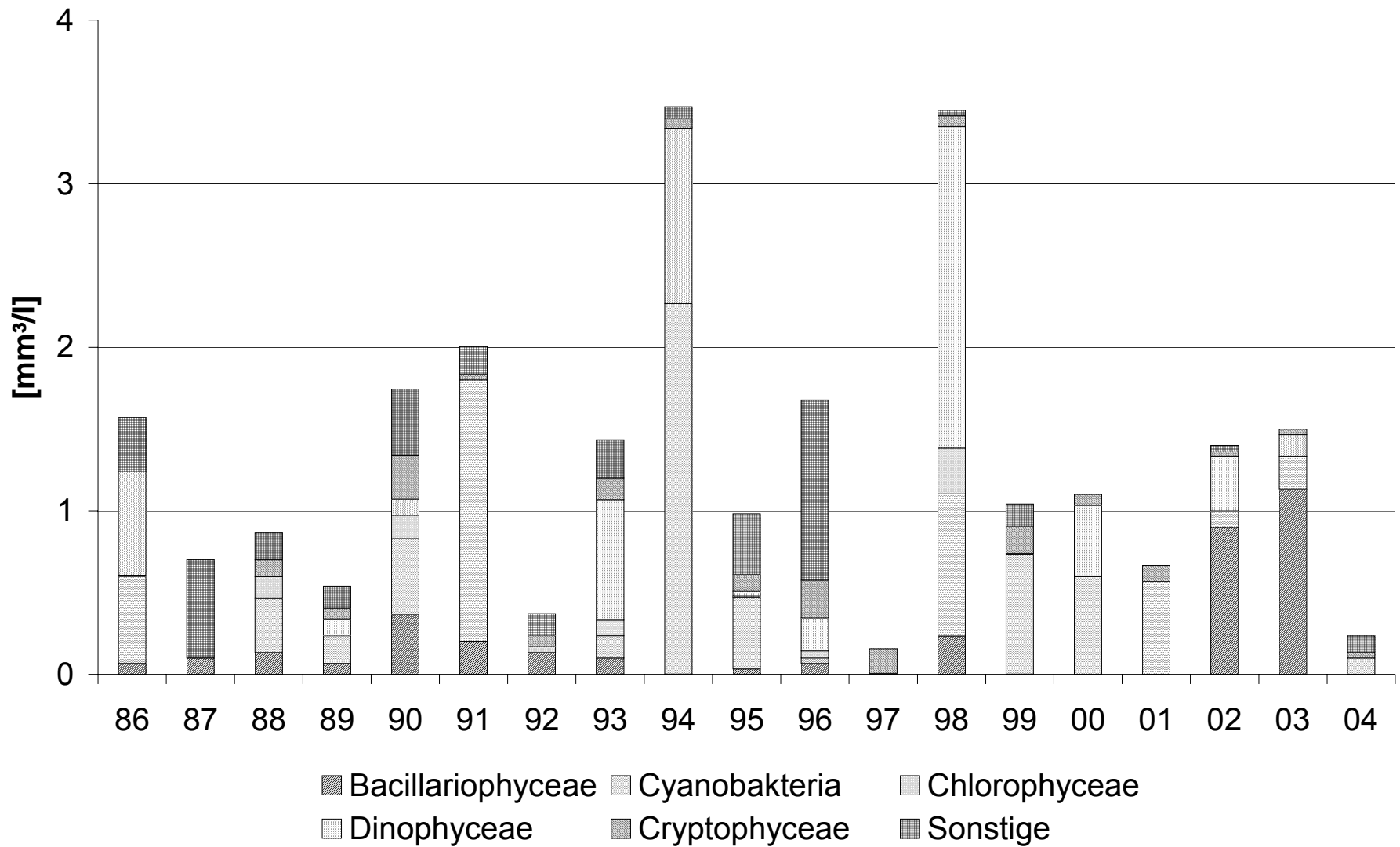


Abb. A26: Algenverteilung im Herbst an der Station OB4 von 1986 bis 2004 (Datenquelle: LUNG)

