



**BUND-LÄNDER  
MESSPROGRAMM**



M e e r e s u m w e l t 1 9 9 4 – 1 9 9 6

Das Bund-Länder-Messprogramm für die Meeresumwelt von Nord und Ostsee (BLMP Nord- und Ostsee) ist ein Übereinkommen des Bundes und der Küstenländer Niedersachsen, Hamburg, Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern zur Überwachung der Meeresumwelt von Nord- und Ostsee.

Die Veröffentlichungsreihe MESSPROGRAMM MEERESUMWELT informiert über Arbeiten im Bund-Länder-Messprogramm für die Meeresumwelt von Nord- und Ostsee, z.B. über

- wissenschaftlich-technische Details des Messprogramms, und
- wissenschaftlich-technische Ergebnisse aus dem Messprogramm.

Veröffentlichungen in dieser Reihe erscheinen nach Bedarf.

### **Impressum**

Herausgegeben vom  
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)  
Sekretariat BLMP Nord- und Ostsee  
Bernhard-Nocht-Straße 78  
D-20359 Hamburg

<http://www.bsh.de/Meeresumwelt/BLMP/>

Layout  
Cover: E. Skodzinski

Druck  
Marx & Haase, Hamburg

Durch die Veröffentlichung nimmt das BSH zum sachlichen Inhalt der Beiträge keine Stellung. Vervielfältigung in Teilen oder als Ganzes ist mit Quellenangaben gestattet.

Zu zitieren als:

BLMP (2000), Meeresumwelt 1994 - 1996, Heft 2.

© Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), Hamburg und Rostock

**M E S S P R O G R A M M**  
**M E E R E S U M W E L T**

**Zustandsbericht 1994 - 1996**  
**für**  
**Nordsee und Ostsee**

1	Vorwort	5
	<b>Nordsee</b>	7
2	Ozeanographische Situation	8
3	Untersuchungen zur Eutrophierung	10
31	Belastung mit Nährstoffen	10
32	Phytoplankton - Untersuchungen	17
33	Makrozoobenthos - Untersuchungen	19
4	Belastung mit Spurenmetallen	24
41	Wasser - Untersuchungen	24
42	Organismen - Untersuchungen	28
43	Sediment - Untersuchungen	34
5	Belastung mit organischen Schadstoffen	40
51	Wasser - Untersuchungen	40
52	Organismen - Untersuchungen	44
53	Sediment - Untersuchungen	52
6	Fischkrankheiten	54
7	See- und Küstenvögel bei Helgoland	63
8	Sauerstoffmangel: Gefahr für das marine Ökosystem Beispiel Ostfriesisches Wattenmeer	64
➤	Meer Lesen	66

	<b>Ostsee</b>	71
9	Ozeanographische Situation	72
10	Untersuchungen zur Eutrophierung	75
101	Belastung mit Nährstoffen	75
102	Phytoplankton in der Ostsee	82
103	Zooplankton - Untersuchungen	90
104	Makrozoobenthos - Untersuchungen	93
105	Makrophyten - Untersuchungen	97
11	Belastung mit Spurenmetallen	103
111	Wasser - Untersuchungen	103
112	Sediment - Untersuchungen	106
113	Organismen - Untersuchungen	114
12	Belastung mit organischen Schadstoffen	120
121	Wasser - Untersuchungen	120
122	Sediment - Untersuchungen	125
123	Organismen - Untersuchungen	129
13	Fischkrankheiten	134
14	Bestandsuntersuchungen	139
141	Flussbarsche ( <i>Perca fluviatilis</i> ) an der mecklenburg-vorpommerschen Küste	139
142	Indikatorarten der See- und Küstenvögel	140
15	Sauerstoffmangel: Gefahr für das marine Ökosystem Beispiel Kieler Bucht	143
➤	Meer Lesen	146



# 1 Vorwort

Mit der Überwachung und der Bewertung des Zustandes von Nord- und Ostsee wurde in Deutschland in den Siebziger Jahren begonnen. Der Grundstein für das Bund/Länder-Messprogramm wurde 1976 mit den "Empfehlungen für ein Wassergüte-Messnetz in den Küstengewässern der Bundesrepublik Deutschland" gelegt; die Arbeiten der Fachdienststellen des Bundes und der Küstenländer sollten aufeinander abgestimmt werden. Ausgehend von diesen Empfehlungen wurde 1980 das "Gemeinsame Bund/Länder-Messprogramm für die Nordsee" (BLMP) vereinbart. Das gemeinsame Messprogramm umfasste allerdings nur gewisse Teile der jeweiligen Überwachungsprogramme des Bundes und der Länder. Darüber hinaus war das Programm im Wesentlichen auf die Untersuchung der chemischen Gewässergüte ausgerichtet.

Zum überwiegenden Teil beinhaltete das alte Bund/Länder Messprogramm die Aktivitäten des Bundes und der Länder Niedersachsen, Bremen, Hamburg und Schleswig-Holstein in der Nordsee. In der Ostsee wurde eine Überwachung durch das Land Schleswig-Holstein und für den Bund im Auftrag durch das Institut für Meereskunde der Universität Kiel durchgeführt. Das Institut für Meereskunde Kiel (IfM Kiel) ist 1993 aus der Meeresüberwachung ausgeschieden. Vor der deutschen Einigung führten auf dem Gebiet der ehemaligen DDR das IfM Warnemünde und im Küstengebiet die "Wasserwirtschaftsdirektion Küste" in Stralsund Überwachungsuntersuchungen ab 1974 durch. Seit der deutschen Einigung teilen sich die Fachbehörden des Landes Mecklenburg-Vorpommern sowie das Institut für Ostseeforschung, Warnemünde (im Auftrag des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie) diese Arbeiten.

Mit dem bisherigen BLMP konnte der Qualitätszustand von Nord- und Ostsee, sowohl in der offenen See als auch in den Küstengewässern, nur unzureichend beschrieben werden.

Fast gänzlich fehlten biologische Untersuchungen. Bis 1992 existierten keine Regelungen zur zentralen Datenhaltung. Internationale Verpflichtungen ließen sich nur ungenügend einhalten. Ferner war Vergleichbarkeit der Daten der am Messprogramm beteiligten Institutionen sowie der Ergebnisse nicht gewährleistet, da die Messprogramme schlecht aufeinander abgestimmt und die Maßnahmen zur Qualitätssicherung unzureichend waren.

Im Jahr 1997 sind dann der Bund und die Länder Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein übereingekommen, zur Überwachung der Meeresumwelt

- eine **Arbeitsgemeinschaft Bund/Länder-Messprogramm für die Meeresumwelt von Nord- und Ostsee (ARGE BLMP Nord- und Ostsee)** zu bilden,
- sowie die Überwachung inhaltlich dem Stand des Wissens und neuen nationalen und internationalen Anforderungen anzupassen.

Dies bedeutet, das BLMP hat im gesamten Küstenbereich, soweit es Salzwasser berührt, die Überwachungsanforderungen der zukünftigen Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), in der Nordsee die Anforderungen des OSPAR Joint Monitoring and Assessment Programme (JAMP) und im Bereich der Ostsee die Anforderungen des HELCOM COMBINE umzusetzen.

Im neuen BLMP soll auch die Information der Öffentlichkeit über die Ergebnisse der Messungen in den Vordergrund rücken. Die Berichte über das alte BLMP, der letzte erschien für den Zeitraum 1992/1993, boten im wesentlichen Tafeln ausgewählter Überwachungsdaten, die mit knappen wissenschaftlichen Kommentaren angereichert waren. Erstellt wurden diese Berichte durch das Niedersächsische Landesamt für Ökologie.

Mit der Einrichtung eines Sekretariats für das neue BLMP, wahrgenommen durch das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie in Hamburg (BSH), stehen nun Ressourcen für eine regelmäßige und umfangreichere Berichterstattung an die Öffentlichkeit zur Verfügung. Beispiele sind die Publikation einer Broschüre mit den Grundzügen, Messgrößen und Stationslisten des Programms in Nord- und Ostsee ("[MESSPROGRAMM AB 1999](#)"), die Präsentation des aktuellen Jahresmessprogramms im Internet ([www.bsh.de/Meeresumweltschutz/BLMP/](http://www.bsh.de/Meeresumweltschutz/BLMP/)) und ein Flyer mit allgemeinen Informationen über das BLMP.

Daneben hatte es sich das Sekretariat zur Aufgabe gemacht, die aus der Zeit des alten BLMP ausstehenden Ergebnisberichte der Jahre 1994 bis 1996 nachzuholen. Mit dem hier vorliegenden Heft wird soll – noch nicht perfekt -weniger der Aktualität denn der

Chronistenpflicht genüge getan werden. Allerdings unterscheidet sich dieses Heft bereits von den alten Berichten, dahingehend, dass zum ersten Mal ein gemeinsamer Bericht über den Umweltzustand von Nordsee und Ostsee vorgelegt wird. Des weiteren werden nicht mehr Zahlentafeln, sondern textliche Darstellungen präsentiert. Die Menge der Messdaten hat in den vergangenen 10 Jahren durch steigende nationale und internationale Anforderungen einen Umfang genommen, der gedruckte Tabellen nicht mehr erlaubt. An Messwerten interessierte Personen werden hiermit an die Meeresumweltdatenbank MUDAB im BSH verwiesen, wo die Daten des BLMP über das Internet erhältlich sind ([www.bsh.de/Meereskunde/DOD/](http://www.bsh.de/Meereskunde/DOD/)).

Besonderer Dank gilt Dipl. Biol. Barbara Frank, die das Material für diesen Bericht zusammengetragen hat.

Hamburg, im Herbst 2000



# Meeresumwelt 1994 - 1996

NORDSEE

## 2 Ozeanographische Situation

Grundsätzlich lassen sich in der Deutschen Bucht drei generelle hydrographische Zonen unterscheiden: die Flussmündungen mit den niedrigsten Salzgehalten und sehr hohen Schwebstoffkonzentrationen, das Küstenwasser einschließlich des Wattenmeeres mit stark schwankenden Salzgehalten bis 31 und relativ trübem Wasser, und seewärts davon das Wasser der äußeren Deutschen Bucht mit weniger stark schwankenden Salzgehalten und relativ klarem Wasser. Letzteres nimmt den größten Teil des deutschen Festlandsockels ein und wird stark von dem Wassereintrag aus dem Atlantik beeinflusst. Die Lage der Zonen ist nicht stationär; sie wird von den jeweils vorherrschenden meteorologischen Situationen beeinflusst.

In ruhigen Witterungsphasen kann es in Teilen der Deutschen Bucht zur Bildung von vertikalen Schichtungen durch die Überlagerung von Wassermassen mit deutlich verschiedenen Salzgehalten kommen. Diese werden jedoch verhältnismäßig leicht während Starkwindperioden wieder aufgelöst. In den größeren Ästuaren, wie dem der Elbe, tritt ebenfalls eine vertikale Salzgehaltsschichtung auf.

Das Jahr 1994 war in der Deutschen Bucht durch einen intensiven Wechsel von niedrigsalinem Küstenwassereinfluss und salzreichem Wasser aus der äußeren Deutschen Bucht

gekennzeichnet. Die niedrigsten Salzgehalte wurden im April als Folge von verstärktem Süßwassereintrag beobachtet. Gleiches gilt für das Jahr 1995; jedoch war hier die Phase der sommerlichen Salzgehaltserniedrigung weniger variabel als im Vorjahr. Das Jahr 1996 zeigte über den gesamten Jahresverlauf geringen Süßwassereinfluss und relativ konstante hydrographische Verhältnisse in der Deutschen Bucht.

Die Entwicklung der hydrographischen Lage der Deutschen Bucht im Zeitraum 1994 bis 1996 lässt sich besonders gut mit den Ergebnissen der werktäglichen Salzgehaltsmessungen an der Dauermessstation Helgoland Reede verdeutlichen (Abb.1). Diese Station liegt in dem Bereich, in dem sich die ozeanographische Front zwischen dem Küstenwasser und dem Wasser der äußeren Deutschen Bucht je nach meteorologischer Situation bewegt. Dadurch geben die Helgoländer Messwerte einen guten Hinweis auf die jeweils herrschende meteorologisch-ozeanographische Situation in der Deutschen Bucht. In den Wintermonaten, wenn überwiegend westliche Winde salzreiches Wasser aus der offenen Nordsee tief in die Deutsche Bucht drücken, werden die höchsten Salzgehalte gemessen. In den windärmeren Sommermonaten hingegen dringt Küstenwasser mit niedrigen Salzgehalten weit über Helgoland nach Nordwesten vor.

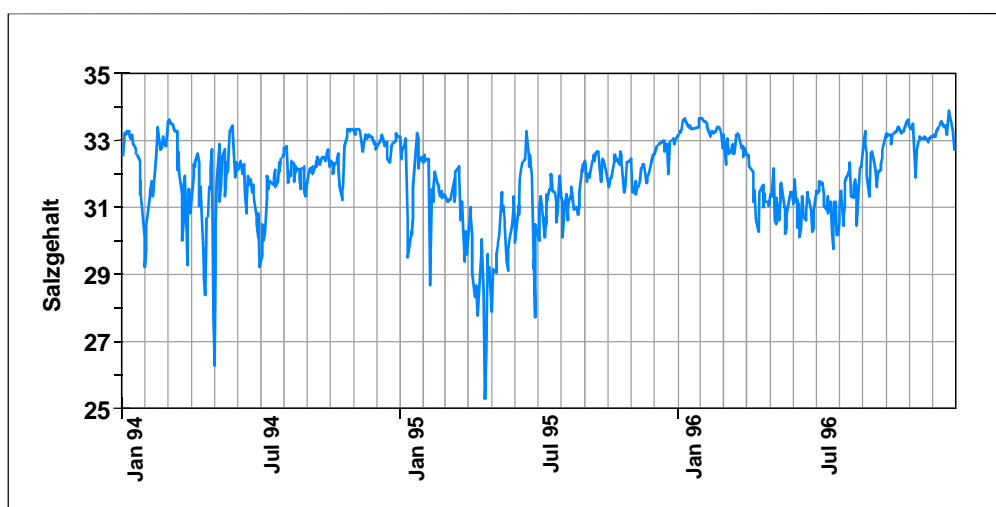


Abb. 1: Jahresgang des Salzgehaltes im Zeitraum 1994 - 1996 an der Messstation Helgoland Reede.

Lokal bedeutsame Entwicklungen fanden an der ostfriesischen Küste statt. Im Januar und Februar 1995 war es durch eine längere Periode mit südlichen Winden zu einem Export von Wasser aus dem Wattenmeer bzw. einem stärkeren Zufluss von Wasser aus dem Ems-Ästuar in den Bereich der Messstation Norderney gekommen, und damit dort zu einer deutlichen Absenkung des Salzgehaltes (Abb. 2).

Im Winter 1995/96 führte starker Frost zu massiver Eisbildung im Wattenmeer, wobei in Gezeitentümpeln durch den Ausfrierungsprozess Salzgehalte bis 40 auftraten. Dementsprechend waren auch zu dieser Zeit im Bereiche der Inseln die Salzgehalte vergleichsweise hoch. Die Trockenheit des Jahres 1996 mit niedrigen Flusswassereinträgen führte über das gesamte Jahr zu einem relativ hohen sommerlichen Salzgehalt in der Deutschen Bucht.

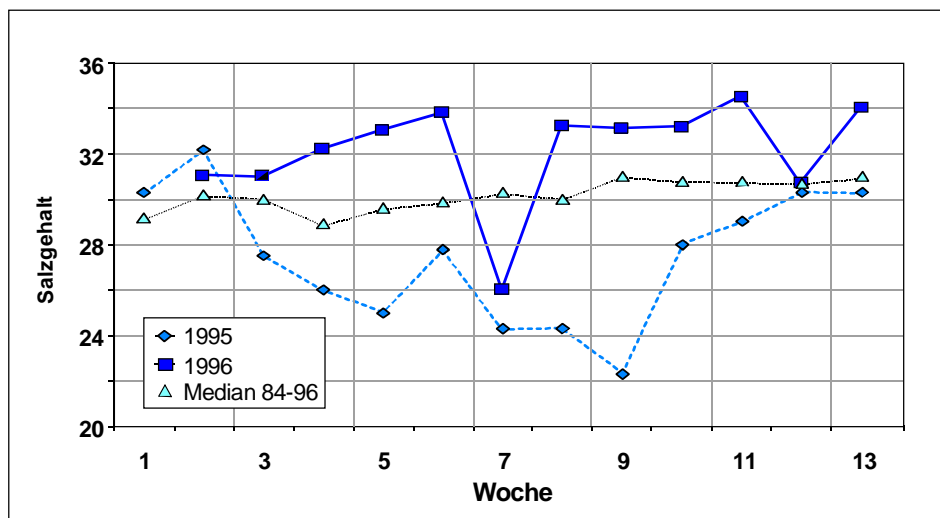


Abb. 2: Gänge des Salzgehaltes an der Station Norderney in den ersten 13 Wochen der Jahre 1995 und 1996. Weiterhin ist der langjährige Median über diesen Zeitraum dargestellt.

Das Jahr 1994 war bei einer Durchschnittstemperatur von ca. 10°C das viertwärmste seit Beginn regelmäßiger meteorologischer Messungen. Herausragend war der sehr warme Sommer, dessen Juli eine Reihe von Rekorden brach.

Die Niederschlagsmengen zeigen mit 1000 mm im Hamburger Raum und 557 mm am Kap Arkona auf Rügen ein deutliches West-Ost-Gefälle. Das Jahr war überall zu nass, besonders große Niederschlagsmengen summierten sich im Januar, März, August und Dezember; während der Juli und der November zu trocken waren.

Die Temperaturen der Wasseroberfläche in der Nordsee waren bis einschließlich Juni geringfügig zu kalt (verglichen mit den Jahren 1971-1993); der Temperaturanstieg von Juni auf Juli übertraf mit 4,2°C den sonst üblichen Anstieg um den Faktor 2 und führte damit zu einer deutlichen positiven Temperaturanomalie, die,

dann in abgeschwächter Form, bis in den September andauerte.

Das Jahr 1995 war mit Mitteltemperaturen zwischen 8,5 und 10,0°C im Vergleich zu den vieljährigen Mittelwerten um 0,5 bis 1,0°C zu warm. Februar, Juli, August und Oktober ragten mit positiven Temperaturabweichungen von teilweise bis zu 3°C heraus, während die Monate Juni mit ca. 1°C und vor allem November und Dezember mit maximal bis zu 4,5°C eine negative Anomalie aufwiesen. Das ganze Jahr war mit einer überdurchschnittlichen Sonnenscheindauer (10 bis 20% Überschreitung) gekennzeichnet, wobei die Erwartungswerte für Juli und August um 30 bis 50% übertroffen wurden.

Jahresniederschläge zwischen 825 mm auf Norderney (7% Überschuss) und 425 mm am Kap Arkona auf Rügen (18% Defizit) verdeutlichen das Ost-West-Gefälle. Besonders niederschlagsreich waren die ersten drei Mo-

nate des Jahres sowie der September. Dagegen fielen die drei letzten Monate und der Juli und August erheblich zu trocken aus.

Die jahreszeitliche Entwicklung der Mitteltemperaturen der Nordsee im Winter und Frühjahr verlief weitgehend normal verglichen mit den Temperaturen des Zeitraums 1971-1994; im Juni lag die Temperatur ähnlich wie im Vorjahr extrem niedrig. Diese Kälteanomalie wurde wie in 1994 durch eine extreme Erwärmung aufgelöst, wobei der Temperaturanstieg im Juli gegenüber dem Vormonat mit  $3,9^{\circ}\text{C}$  den sonst üblichen Anstieg um einen Faktor 2 übertraf. Die Wärmeanomalie dauerte bis in die dritte Augustdekade an und war bis Ende November noch nicht abgebaut.

Das Jahr 1996 war mit Mitteltemperaturen zwischen knapp  $7,0^{\circ}\text{C}$  und  $8,0^{\circ}\text{C}$  im Vergleich zu den vieljährigen Mittelwerten (1961 bis 1990) um  $1,0^{\circ}\text{C}$  zu kalt. Besonders markante Temperaturabweichungen ergaben sich von Januar bis März sowie im Mai, September und Dezember. Der Winter 1995/96 zeichnete sich durch eine außergewöhnlich lange Kälteperiode aus; es war der längste Winter seit 33

Jahren. Der April hingegen war überdurchschnittlich warm und ebenso der August.

Jahresniederschläge zwischen 430 mm und knapp 700 mm (List auf Sylt) bedeuten lediglich 65 - 90% der Normalwerte. Insbesondere das erste Halbjahr war viel zu trocken.

In der Nordsee waren 1996 die ozeanographischen Verhältnisse durch einen kalten Winter und durch verminderte Frühjahrserwärmung geprägt. Die Nordseetemperaturen lagen ab Jahresbeginn über Monate hinweg fast überall um mehr als  $1 - 3^{\circ}\text{C}$  unter den langjährigen Mittelwerten. Die jahreszeitliche Entwicklung der mittleren Oberflächentemperatur verlief äußerst ungewöhnlich. Die Nordsee kühlte sich von  $10^{\circ}\text{C}$  Anfang Dezember (1995) auf  $4^{\circ}\text{C}$  Ende Februar ab und blieb bis in den Juli extrem kalt. Im März, Mai und Juni wurden Rekord-Tiefsttemperaturen erreicht. Erst die hochsommerliche Witterung im August führte zu Erwärmungsraten, die 200 - 300% über dem üblichen Anstieg lagen, und damit zum vollständigen Abbau der Kälteanomalie.

## 3 Untersuchungen zur Eutrophierung

### 3.1 Belastung mit Nährstoffen

Die Freisetzung von Nährstoffen durch Landwirtschaft, kommunale und industrielle Abwässer sowie durch Verbrennungsprozesse hat zu verstärkten Nährstoffeinträgen und nachfolgend zu Veränderungen im trophischen Zustand der Deutschen Bucht geführt. Der vom Menschen verursachte Anteil an den winterlichen Nährstoffkonzentrationen wird mit 50 bis 70% abgeschätzt. Seit 1987 gehört zu den umweltpolitischen Zielen der Nordsee-Anrainerstaaten, diesen Eintrag deutlich zu verringern, um die damit verbundenen Hypertrophie-Erscheinungen auf den geringerbelasteten Naturzustand zurückzuführen.

Neben gelöstem Kohlendioxid sind Nährstoffe wie Phosphor- und Stickstoffverbindungen sowie Silikat für das Leben im Meer von grundlegender Bedeutung. Ihre Konzentrationen werden durch die Einträge von Land, vom Wasseraustausch mit dem Wattenmeer und

von biologischen Prozessen wie Algenproduktion und deren Remineralisation gesteuert. Dabei entstehen charakteristische Jahresgänge mit Konzentrationsmaxima in den Herbst- und Wintermonaten und Minima im Sommer. Die Jahresgänge weisen regional typische Unterschiede auf.

Bei der Bewertung von Belastungszuständen ist der Vermischungsgrad von Meerwasser mit Flusswasser zu beachten und deswegen ist die Kenntnis der ozeanographischen Situation zum Zeitpunkt der Beprobung von Bedeutung. Dies erfolgt durch die Bestimmung des Salzgehalts.

Zur Untersuchung der aktuellen Belastung mit Nährstoffen und deren Langzeitentwicklung werden im BLMP zwei Strategien angewendet. Zum einen finden Messungen in den zentralen Wintermonaten Januar-Februar statt, da

hier die Nährstoffkonzentrationen am wenigsten von biologischen Prozessen beeinflusst werden; hierbei werden Stationsnetze einmalig oder auch mehrfach beprobt. Ein neuerer Untersuchungsansatz berücksichtigt hingegen den gesamten Jahreszyklus für die Bewertung des trophischen Zustandes der Deutschen Bucht und ihrer Küstengewässer. Diese Messungen werden mit täglicher bis monatlicher Beprobungsfrequenz auf einigen wenigen Stationen durchgeführt.

Mit zunehmendem Abstand von den Flussmündungen und der Küste wird der in der Regel höherbelastete Flusswasseranteil mit Meerwasser verdünnt und demzufolge verringern sich die Nährstoffkonzentrationen in seewärtiger Richtung. Die Vermischung von Süßwasser mit Meerwasser wird in der Deutschen Bucht im Wesentlichen durch Wind und Gezeiten verursacht, wodurch zeitlich und räumlich eine starke Dynamik entsteht.

## Stickstoff-Verbindungen

Stickstoffverbindungen mit Auswirkung auf die Bioproduktivität im Meer sind die anorganischen Verbindungen Nitrit ( $\text{NO}_2$ ), Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) und Ammonium ( $\text{NH}_4$ ), sowie eine ganze Anzahl organischer Verbindungen wie

z.B. Aminosäuren und Aminosucker. Für die Förderung des Algenwachstums sind im wesentlichen die anorganischen Ionen von Bedeutung; organische Verbindungen werden eher von Bakterien genutzt. Nitrat zeigt im Meer die weitaus höchsten Konzentrationen aus dieser Stoffgruppe, Nitrit ist ein Übergangsprodukt mit deutlich niedrigeren Konzentrationen, ebenso Ammonium.

## Nitrit und Nitrat

Die Konzentrationen des Nitrats sind in der Deutschen Bucht etwa zwei Größenordnungen höher als die des Nitrits. Im Monitoring werden diese beiden Stickstoffoxide deshalb in der Regel als Summe angegeben. Nitrat und Nitrit zeigen einen ausgeprägten Jahresgang mit winterlichem Maximum und dem Minimum im Sommer.

Flüsse sind eine wesentliche Eintragsquelle für diese beiden Stoffe; demzufolge finden sich regional die höchsten Konzentrationen in den Ästuaren und im Küstenwasser. In den Jahren 1994 – 1996 lagen die Konzentrationen in den Ästuaren im Mittel bei etwa  $150 \mu\text{mol/l}$  im Eider-Ästuar, um  $300 \mu\text{mol/l}$  im Weser-Ästuar und  $350 \mu\text{mol/l}$  im Dollart.

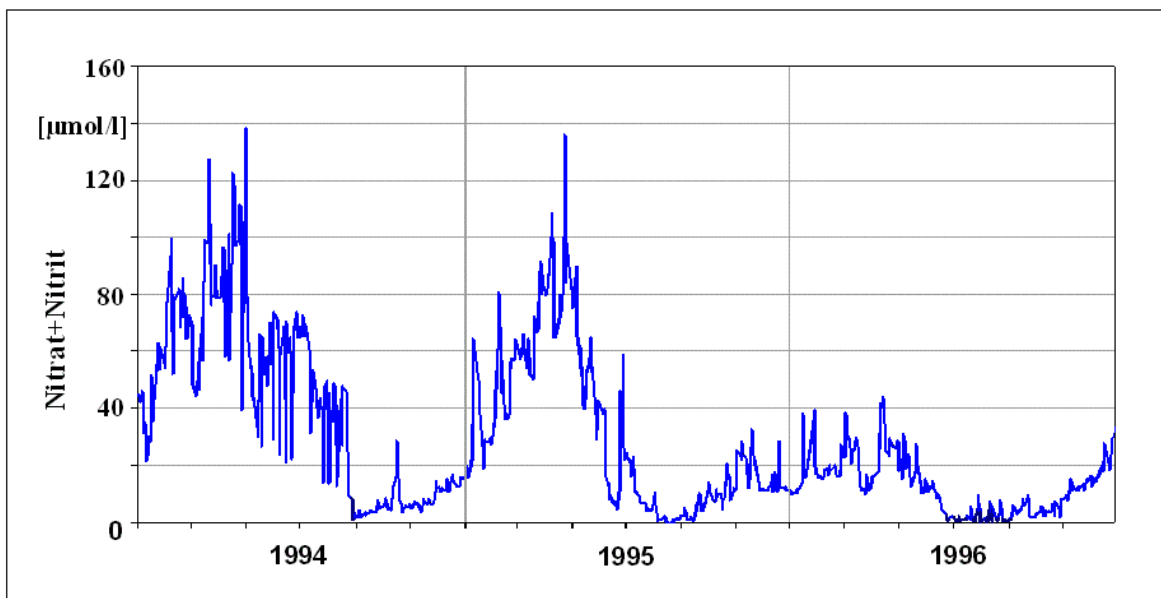


Abb. 3: Jahresgang der Nitrat+Nitrit-Konzentration im Zeitraum 1994-1996 an der Messstation Helgoland Reede

Im Küstenwasser traten in Abhängigkeit vom Flusswasseranteil starke Schwankungen auf. Die maximalen winterlichen Konzentrationen

des Zeitraums 1994 - 1996 lagen zwischen 23 und  $150 \mu\text{mol/l}$  (Abb. 3); nur im Winter 1993/94 lag an der Messstelle Norderney der

Wert außergewöhnlich hoch bei ca. 300  $\mu\text{mol/l}$ . Die nördliche nordfriesische Küste zeigte durch einen starken Einfluss von hochsalinem Wasser geringere Nitratkonzentrationen (60–80  $\mu\text{mol/l}$ ) als das übrige Küstenwasser.

In der offenen Deutschen Bucht jenseits des Küstenwassers beobachtete man bei den Januarproben im Mittel Werte zwischen 10 und 50  $\mu\text{mol/l}$ , je nach Küstenabstand.

Eine nähere Betrachtung der ersten beiden Monate der Jahre 1995 und 1996 zeigt, dass die Nährstoffsituationen im küstennahen Bereich sehr stark von der meteorologischen Lage im Beobachtungszeitraum beeinflusst werden. Die Messstelle Norderney lag im Jahr 1995 auf Grund länger andauernder südlicher Winde ab Mitte Januar (4. Woche) im Einflussbereich von niedrigsalinem Wasser aus dem Wattenmeer (s. Abb. 2); dementsprechend waren die Gehalte von Nitrat und Nitrit relativ hoch (Abb.4). In den Monaten Januar und Februar des Jahres 1996, in denen in weiten Teilen des Wattenmeeres Eisgang auftrat, hielt sich überdurchschnittlich salziges Wasser an der Messstelle auf; dementsprechend waren die Nährsalzkonzentrationen niedrig.

## Ammonium

Ammonium tritt im Meer in höheren Konzentrationen im Winter und unter sommerlichen, stark sauerstoffverarmten Bedingungen auf. In Flüssen und Ästuaren können die Konzentrationen auf Grund von schlechter Sauerstoffversorgung und intensiver Nutztierhaltung im Einzugsgebiet sehr hoch werden (s.u.: ca. 95  $\mu\text{mol/l}$  im Jahr 1996 sowohl im Ems-Ästuar als auch im Weser-Ästuar bei Hemelingen).

Regional finden sich die höchsten Konzentrationen in den Flussmündungen und den Ästuaren. In der Ems lagen im Berichtszeitraum die Jahresmittel-Konzentrationen unter 3,5  $\mu\text{mol/l}$ , im Maximum bei ca. 95  $\mu\text{mol/l}$ . Die Weser zeigte in den Jahren 1994 und 1995 ein relativ gleichförmiges Verhalten mit Ammoniumkonzentrationen um 10  $\mu\text{mol/l}$  im Jahresmittel. Im Jahr 1996 lagen die Mittelwerte zwei- bis dreimal so hoch. In diesem Größenbereich befanden sich auch die Werte vor der Eidermündung.

Im Küstenwasser hängt die Konzentration des Ammoniums stark von den vorherrschenden

hydrographischen Bedingungen und der Zufuhr aus dem Sediment (Remineralisation) ab. Die Jahrgänge sind deshalb im Küstenwasser nicht so deutlich, weil über das ganze Jahr reichlich Ammonium nachgeliefert wird. Phasen mit niedrigerem Salzgehalt zeigen deshalb in den Sommermonaten relativ hohe Ammoniumgehalte. Die Dauermessstellen Norderney, Wilhelmshaven und Helgoland Reede zeigen im Berichtszeitraum stark schwankende Verhältnisse an, mit Maximalwerten von knapp 30  $\mu\text{mol/l}$  im Spätherbst 1994 bei Norderney. Im Mittel lagen die Winterwerte zwischen 5 – 15  $\mu\text{mol/l}$ , in den Sommermonaten wurden in Phasen erhöhter Salinität des öfteren die analytische Nachweisgrenze unterschritten.

Jenseits des Küstenwassers waren die Ammoniumkonzentrationen naturgemäß sehr niedrig. Selbst in den Wintermonaten wurden Konzentrationen von 10  $\mu\text{mol/l}$  nicht erreicht. Die niedrigsten Winter-Konzentrationen, um 0,2  $\mu\text{mol/l}$ , wurden in der äußeren Deutschen Bucht gemessen. Auf Grund der schwachen biologischen Produktion im küstenfernen Bereich der Deutschen Bucht bleiben in den Sommermonaten Restkonzentrationen bestehen.

## Langzeitentwicklung

Die Bewertung einer langzeitlichen Entwicklung von Konzentrationen wird in der Deutschen Bucht durch die große Variabilität der hydrographischen Verhältnisse sehr erschwert. Zur Vereinfachung werden deshalb konventionell die Nährstoffgehalte aus einem definierten Seegebiet und einem möglichst engen Zeitraum auf einen festen Salzgehalt, in der Regel 30, normiert.

In der Langzeitentwicklung der winterlichen normierten anorganischen Stickstoffkonzentrationen erkennt man, dass in der offenen Nordsee seewärts des Küstenwassers während der letzten 10 Jahre kaum Veränderungen eingetreten sind (Abb.5). Im ostfriesischen Küstenwasser, repräsentiert durch die Station Norderney, ist deutlich eine abnehmende Tendenz zu beobachten.

Auffällig ist der starke Wiederanstieg der salzgehaltsnormierten Stickstoffwerte im Jahr 1996 bei Norderney auf fast den doppelten Wert des Vorjahres (Abb.6). Offensichtlich

hatte das salzreichere Wasser, das im Januar des Eiswinters 1995/96 an der Station Norderney vorlag, eine relativ höhere Stickstoff-

Belastung als das Januar-Wasser des Vorjahres. In der offenen Deutschen Bucht ließ sich dieser Effekt offenbar nicht beobachten.

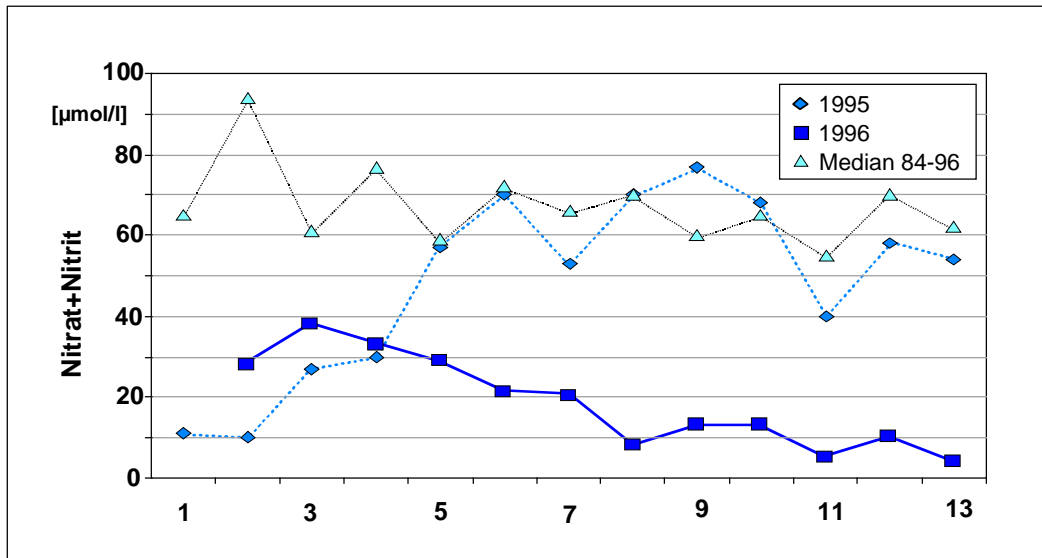


Abb. 4: Gänge der Nitrat+Nitrit-Konzentrationen an der Station Norderney in den ersten 13 Wochen der Jahre 1995 und 1996 sowie des langjährige Medians.

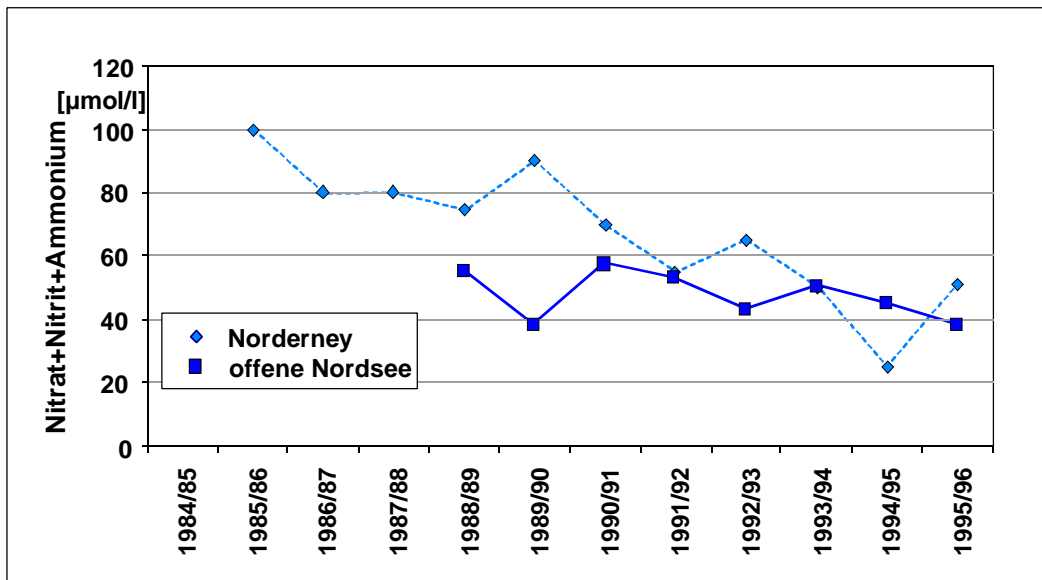


Abb. 5: Gänge von winterlichen Konzentrationen der gelösten anorganischen Stickstoff-Verbindungen bei einem Salzgehalt von 30 in der offenen Nordsee und an der Station Norderney.

Insgesamt wiesen die Jahre 1994 und 1995 keine ungewöhnliche Entwicklung auf. Der extrem kalte und trockene Winter 1995/96 brachte für die langsam geringer werdende

Stickstoffbelastung der ostfriesischen Küste einen Rückschlag, wobei jedoch die bekannte Schwankungsbreite nicht überschritten wurde.



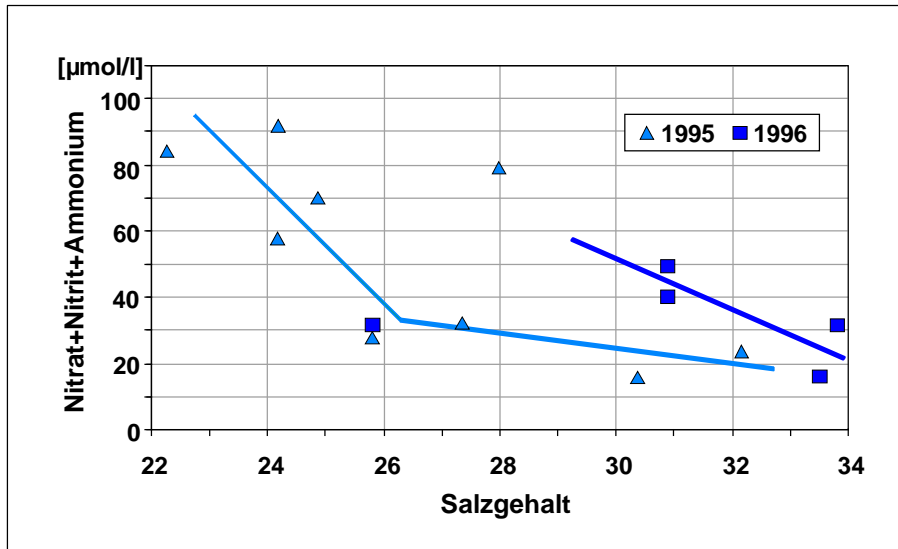


Abb. 6: Korrelationen zwischen den Januar-Konzentrationen der gelösten anorganischen Stickstoffverbindungen und den dazugehörigen Salzgehalten aus den Jahren 1995 und 1996 an der Station Norderney.

## Phosphor-Verbindungen

Phosphorverbindungen sind die zweite wichtige Nährstoffgruppe im biologischen Kreislauf des Meeres. Die Phosphorkonzentrationen sind etwa eine Größenordnung niedriger als die der Stickstoffverbindungen. Im Meer sind anorganische Phosphat-Ionen ( $\text{PO}_4$ ) und organische Phosphorverbindungen von Bedeutung. In der Vegetationsperiode werden die Konzentrationen stark vom Algenwachstum beeinflusst. Die Jahrgänge sind denen der Stickstoffverbindungen ähnlich, jedoch treten in den zeitlichen Verläufen regionale Unterschiede auf.

In den Flussmündungen der deutschen Nordseeküste nehmen die Phosphorgehalte zur offenen See hin ab, da die höheren Konzentrationen des Flusswassers sich zunehmend mit geringer belastetem Meerwasser vermischen. In der Weser sind die Phosphorkonzentrationen an der seewärtigsten Messstation Bremerhaven relativ hoch, da sich diese Station im landwärtigsten Teil der ästuarinen Trübungswolke befindet, wo P-Gehalte durch Remineralisation generell relativ hoch sind.

Im Berichtszeitraum lagen die Mittelwerte der Orthophosphat-Konzentrationen bei etwa  $3 \mu\text{mol/l}$ . Maximale Orthophosphat-Konzentrationen waren im Ems/Dollart-Bereich ca.  $8 \mu\text{mol/l}$ , im Jadebusen  $4 \mu\text{mol/l}$ , in der Weser  $6 \mu\text{mol/l}$  und im Eider-Ästuar  $3 \mu\text{mol/l}$ . Beim Gesamtphosphorgehalt herrschen beträchtliche kurzfristige Schwankungen vor, so dass die Angaben von statistischen Kennziffern wenig aussagekräftig sind.

Im Küstenwasser, mit Salzgehalten bis ca. 31, werden die Phosphat-Konzentrationen durch die Jahrgänge der intensiven Algenproduktion und die rasch wechselnden hydrographischen Bedingungen beeinflusst. Die winterlichen Phosphat-Werte lagen im Mittel zwischen 1 und  $2 \mu\text{mol/l}$ , wobei sich die Gehalte der Station Helgoland Reede am unteren Rand des Konzentrationsbereiches befanden (Abb.7) und die bei Norderney am oberen Rand (Abb.8).

Entlang der nordfriesischen Küste nahmen die Werte mit zunehmender Entfernung von der Elbmündung ab und erreichten bei Sylt Werte der offenen Nordsee.



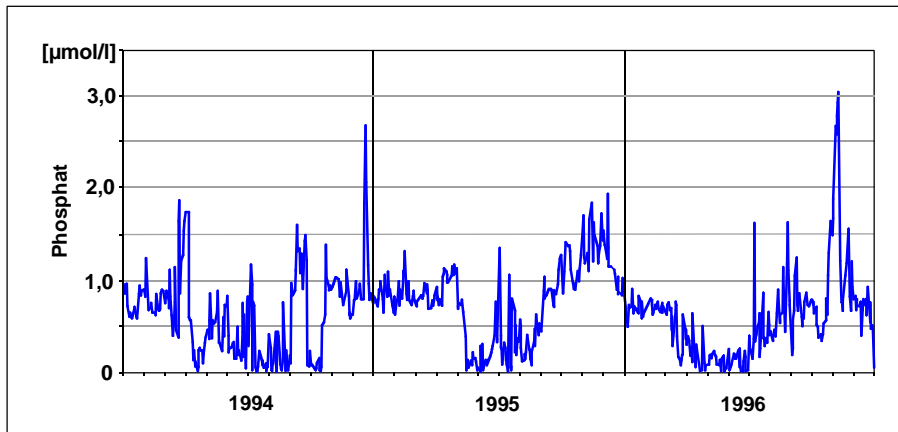


Abb. 7: Gang der Orthophosphat-Konzentrationen im Zeitraum 1994 - 1996 an der Messstation Helgoland Reede

Die an der Station Norderney gemessenen Phosphat-Werte der ersten drei Monate der Jahre 1995 und 1996 geben ein Beispiel für den Einfluss der meteorologisch-ozeanographischen Einflüsse auf die Konzentrationsverläufe (Abb.8). Der Konzentrationsanstieg zu Beginn des Februars 1995 ist mit einem Wechsel der vorherrschenden Windrichtung von West auf Süd zu erklären. Westliche Winde transportieren salzigeres Wasser mit geringeren Phosphat-Konzentrationen zur

Messstation. Bei südlichen Winden wird Wasser mit höheren Phosphat-Gehalten aus dem Wattenmeer, bzw. dem Ems-Ästuar in den Bereich der Station gedrückt. Allgemein jedoch, d.h., im langjährigen winterlichen Mittel, herrschen an dieser Messposition Konzentration des Küstenwassers, bzw. der offenen See vor. Der Eisgang Anfang 1996 hatte vermutlich keine Auswirkungen auf die Phosphatkonzentrationen.

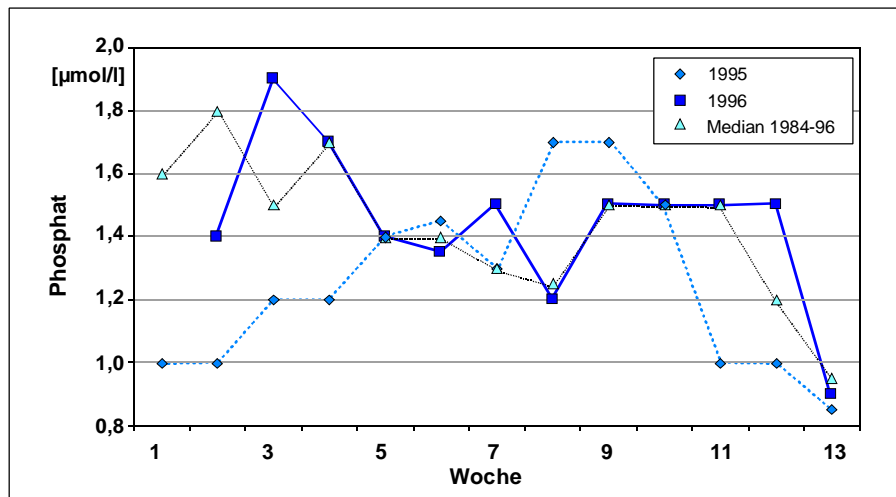


Abb. 8: Gänge der Orthophosphat - Konzentration an der Station Norderney in den ersten 13 Wochen der Jahre 1995 und 1996. Weiterhin ist der langjährige Median über diesen Zeitraum dargestellt.

In der Deutschen Bucht jenseits des Küstenwassers werden die Messungen im Zuge einer einmaligen Beprobung Ende Januar/Anfang Februar vorgenommen. Dabei ergaben sich im Berichtszeitraum Phosphatkonzentrationen

von 0,5 bis 1,5 µmol/l; die Konzentrationen des Gesamtphosphors lagen zwischen 0,7 und 2 µmol/l.

Im Jahresverlauf treten maximale Phosphat-Konzentrationen normalerweise in den Monaten Januar und Februar auf. Seit den fünfziger Jahren erscheint in der Deutschen Bucht das Maximum des Jahresganges bereits im Spätherbst; den Winter über bleiben die Konzentrationen relativ hoch.

Räumlich tritt dieses Maximum zuerst im unmittelbaren Küstenbereich auf. In den darauffolgenden zwei bis drei Monaten verschiebt es sich dann von der Küste seewärts bis an den nordwestlichen Rand der Deutschen Bucht. Dieser Zustand trat zuerst vor dem niederländischen Wattenmeer auf und bewegte sich dann in Richtung Dänemark.

Als Ursache wird angenommen, dass im Spätherbst aus dem Wattenmeer große Mengen von Phosphat in das Küstenwasser abgegeben werden, die aufgrund des zu dieser Zeit fehlenden Planktons nicht in Biomasse umgewandelt werden. Stickstoffverbindungen werden größtenteils denitrifiziert, bevor sie das offene Meer erreichen. Diese Verschiebung

des Phosphatmaximums wird als eine Auswirkung der starken Überdüngung des Meeres angesehen.

### Langzeitentwicklung

Wie im Fall der Stickstoffverbindungen wird die langzeitliche Phosphatentwicklung bei einem bestimmten Salzgehalt betrachtet. Dabei zeigt sich, dass die Phosphatbelastung in der Deutschen Bucht zwischen 1990 und 1995 kontinuierlich abgenommen hat (Abb.9). Diese Abnahme steht in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Daueruntersuchungen in anderen Teilen der südlichen Nordsee, wie z.B. an der niederländischen Küste. Im Eiswinter 1995/95 stiegen die Konzentrationen hingegen wieder um ca. 50 % an. Inwieweit der Wiederanstieg auf verstärkte Einträge von Land bzw. aus dem Wattenmeer oder auf natürliche, meteorologisch-hydrographische Ursachen zurückzuführen ist, bleibt gegenwärtig unklar.

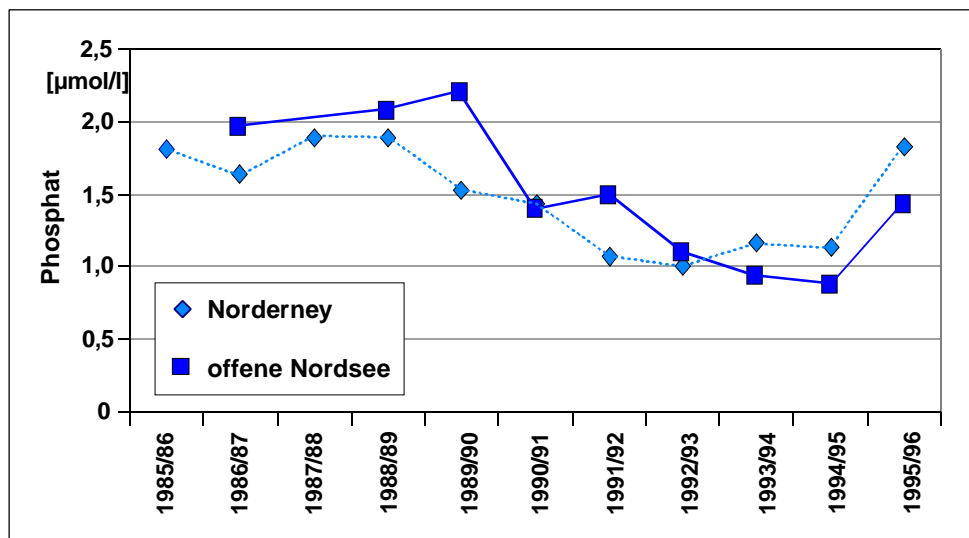


Abb 9: Winterliche Konzentrationsgänge des Orthophosphats bei einem Salzgehalt von 30 in der offenen Nordsee und an der Station Norderney.

## 32 Phytoplankton - Untersuchungen

Die typische Abfolge der Phytoplanktonbestände während eines Jahres (Sukzession) beginnt an der Nordseeküste mit einer Frühjahrsblüte der Diatomeen. Abhängig vor allem vom Lichtklima (Lichteinstrahlung und Trübung) kann sich diese Frühjahrsblüte bereits im Februar, im Allgemeinen jedoch im März bis April entwickeln. In der Übergangszeit zwischen Frühjahr und Sommer dominieren unterschiedliche, kleine Flagellaten die Phytoplanktonpopulation (keine Dinoflagellaten). In den Nordseeküstengewässern durchläuft zu dieser Zeit die kolonienbildende Schaumalge *Phaeocystis globulosa* ihre Hauptentwicklung. Während des Sommers dominieren in der offenen See vor allem die Dinoflagellaten, in den Küstengewässern hingegen können vermehrt Diatomeen auftreten. Die vorwiegend durch Dinoflagellaten gebildeten Rote Tiden kommen typischerweise im Sommer vor. Bis weit in den Herbst hinein können sich weitere Algenblüten anschließen, häufig werden diese erneut von Diatomeen gebildet.

Im Bereich der niedersächsischen und schleswig-holsteinischen Nordseeküste werden während der Vegetationsperiode regelmäßige Planktonbeobachtungen durchgeführt, um Massenentwicklungen von vor allem schaumbildenden oder toxischen Algen frühzeitig zu erkennen.

Im Allgemeinen waren die Jahre 1992 bis 1995 an der Nordseeküste durch eher zurückhaltende Algenentwicklungen geprägt, obwohl der Sommer 1995 ungewöhnlich warm war. Im Anschluss an den langen und strengen Winter 1995/96 beeinflussten niedrige Wassertemperaturen zunächst deutlich die Entwicklung, die durch das Vorkommen kälteliebender Arten im Plankton gekennzeichnet war. Durch die guten Lichtbedingungen im nordfriesischen Wattenmeer trat im März bereits eine Blüte der Kieselalge *Odontella aurita* auf.

Im kühlen Frühjahr 1996 dominierte die große, kälteliebende Diatomee *Coscinodiscus concinnus* das Phytoplankton im Bereich um Helgoland und vor der ostfriesischen Küste. Diese Art, die sich nur bei Wassertempera-

ren unter 10°C vermehrt und im Zellplasma Öltröpfchen als Reservestoff oder als "Auftriebskörper" produzieren kann, erreichte von März bis Mai 1996 vor der gesamten ostfriesischen Küste bis Helgoland hohe Dichten (bis zu 4000 Zellen/l, bei Norderney Ende Mai 5350 Zellen/l). Vor Schleswig-Holstein stiegen ihre Zelldichten im Laufe des Aprils vorwiegend im küstenfernen Bereich stark an. Wie in den Vorjahren wurden auf den südwestlichen, küstenfernen Stationen Zelldichten bis zu 3200 Zellen/l beobachtet. In Nähe der schleswig-holsteinischen Küste hingegen war *Coscinodiscus concinnus* nur gering vertreten.

Vor der ostfriesischen Küste kam es beim Absterben der *Coscinodiscus*-Blüte zur großräumigen Ausbildung eines Ölfilms auf der Wasseroberfläche. Das Fett war außerdem in Form von Emulsionen bzw. Dispersionen innerhalb der Wassersäule verteilt. Ab Mitte Mai wurden viele geschwächte oder tote Seevögel an den ostfriesischen Stränden angespült. Betroffen waren hauptsächlich tauchende Vögel, ihr Gefieder erschien wie gewaschen. Die natürliche Schutzschicht der Bürzeldrüsensekrete war durch Abbauprodukte des Algenfettes ausgewaschen worden; die Vögel unterkühlten oder ertranken. Die *Coscinodiscus*-Blüte trug zudem möglicherweise zur Bildung der 1996 in großem Umfang auftretenden Schwarzen Flächen im ostfriesischen Wattenmeer bei (siehe Beitrag "Schwarze Flecken").

Von 1994 bis 1996 war die schaumbildende Alge *Phaeocystis globosa* an der deutschen Nordseeküste in geringen bis mäßigen Dichten vertreten, teilweise blieben die erwarteten Algenblüten aus (Abb.10). Große Kolonienzahlen dieser Alge führen bei aufgewühltem Wasser zu Schaumbildung. Gleichzeitig riecht das Wasser unangenehm, weil beim Zerfall der Zellen Schwefelverbindungen freigesetzt werden. Vor Ostfriesland ist ihr Vorkommen auf die Küste zwischen Ems und der Insel Baltrum beschränkt. Im kalten Frühjahr 1996 wurde die *Phaeocystis*-Blüte vor allem durch die kälteliebende, arktische Art *Ph. pouchetii* gebildet, die in diesen Gewässern nur selten auftritt.

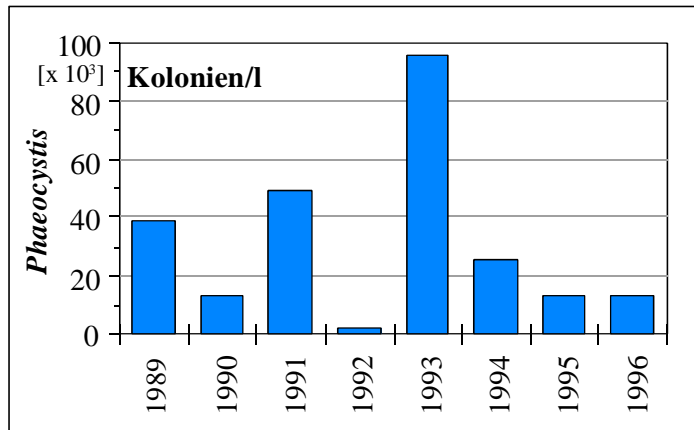


Abb. 10: Jahresmaxima der Koloniezahlen von *Phaeocystis globosa* an der Station Norderney

Das sommerliche Phytoplankton wurde 1994 - 1996 vor der ost- und nordfriesischen Küste bis in den Herbst hinein typischerweise durch stäbchenförmige Diatomeen, vorwiegend aus der Gattung *Rhizosolenia*, dominiert. Die Gruppe der Dinoflagellaten trat 1996 weniger in Erscheinung als während der Vorjahre.

Die langanhaltende, schwachwindige Wetterlage im Juli 1994 war verbunden mit vielen Meldungen über Rote Tiden und Meeresleuchten in der Helgoländer Bucht. Die Erscheinung wird in diesem Meeresgebiet typischerweise von Mai bis Juli durch die Dinoflagellatenart *Noctiluca scintillans* verursacht. Sie trat hier 1995 in geringerem Maße auf und blieb 1996 aus. Im Bereich der nordfriesischen Küste konnte an warmen Sommerabenden 1994 und 1995 das Meeresleuchten beobachtet werden. Eine weitere, sehr intensive Rote Tide erstreckte sich im Sommer 1994 entlang der schleswig-holsteinischen Küstengewässer bis zum Bereich um Helgoland, gebildet durch *Myrionecta rubra* (bisheriger Name *Mesodinium rubrum*, ein Wimpertierchen, welches durch Endosymbionten zu autotropher Lebensweise fähig ist und deshalb dem Phytoplankton zugerechnet wird).

Von 1994 bis 1996 traten die kleinen Flagellaten der potentiell toxischen Gattung *Chrysochromulina* vor der ostfriesischen Küste auf, mit einem Schwerpunkt zwischen Ems und Norderney. Im Vergleich mit den Vorjahren wurden teilweise hohe Dichten beobachtet,

aus denen sich aber beispielsweise 1994 keine Algenblüte entwickelte (Abb.11).

Das Gift von Dinoflagellaten der potentiell toxischen Gattung *Dinophysis*, DSP, kann von Muscheln im Weichkörper angereichert werden. Bereits eine relativ geringe Anzahl von *Dinophysis*-Zellen je Liter Meerwasser kann deshalb dazu führen, dass der Verzehr solcher Muscheln Durchfall und Erbrechen hervorruft (diarrhöische Muschelvergiftung).

Die ständige Kontrolle zeigte 1994 und 1995 an der niedersächsischen Küste kritische Zelldichten von *Dinophysis*. Bei der gleichzeitigen Untersuchung von Miesmuscheln auf DSP-Gehalte zeigten sich im Spätsommer 1995 erhebliche Überschreitungen des Grenzwerts (400 µg/kg Hepatopankreas) südlich von Mellum. Die damit verbundene Einstellung der Miesmuschelernte führte zu deutlichen Einbußen bei der Muschelwirtschaft. Aufgrund zu geringer Muschelbestände war auch im Vorjahr die Ernte ausgefallen. Im Jahr 1996 wurden nur geringe Dichten von *Dinophysis* an der niedersächsischen Küste festgestellt. Überraschend war 1996 allerdings das Auftreten dieser Gattung im Hooksmeer, einem binnendeichs gelegenen Speichersee. Als Lebensraum von *Dinophysis* gilt eigentlich die offene See. An der schleswig-holsteinischen Küste kam es 1994 aufgrund zu hoher *Dinophysis*-Vorkommen ebenfalls zur Einstellung der Muschelfischerei.

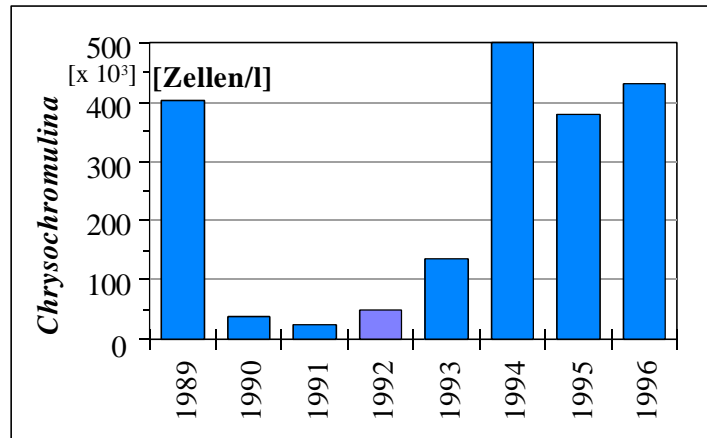


Abb.11: Jahresmaxima der Zellzahlen der Gattung *Chrysochromulina* an der an der niedersächsischen Küste

Eine weitere, potentiell toxische Planktonart, *Fibrocapsa japonica*, wurde südlich Eiderstedt im Spätsommer 1995 und 1996 beobachtet. In japanischen Gewässern hat dieser Flagellat in der Vergangenheit bereits zu Fischvergiftun-

gen geführt. Auch die *Fibrocapsa*-Zellen in unseren Gewässern erwiesen sich bei Untersuchungen als giftig, negative Auswirkungen konnten bisher aber noch nicht beobachtet werden.

## 33 Makrozoobenthos - Untersuchungen

Ziel der Untersuchungen ist das Erkennen langfristiger Trends in der Struktur, Zusammensetzung, Produktion und Biomasse von Benthosgemeinschaften, um Hinweise auf den ökologischen Zustand der Küstengewässer zu erhalten. Das Makrozoobenthos eignet sich als Indikator dafür besonders gut, da es langlebig und meist ortsgebunden ist und daher auch noch Monate später Rückschlüsse auf besondere Ereignisse in der Meeresumwelt zulässt.

### Ästuar von Ems, Jade, Weser, Elbe und Eider

Im Rahmen des neu eingerichteten Makrozoobenthos-Ästuarmonitorings der Bundesanstalt für Gewässerkunde werden regelmäßige Untersuchungen im Herbst durchgeführt, um generelle Veränderungen der Biozönosen im Sublitoral zu erfassen und diese bei der Bewertung von Auswirkungen der Aktivitäten der "Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV)" zu berücksichtigen. Die Stationen des Monitorings liegen an den Hängen entlang der Fahrwasser und sind von der Brackwassergrenze bis in den marinen Bereich verteilt.

Nach der Pilotuntersuchung des BfG-Ästuarmonitorings im Jahr 1995 wurde im Herbst 1996 die zweite Untersuchungsserie in Ems, Jade, Weser und Elbe (je 5 Stationen) unter Einbeziehung der Eider (3 Stationen) durchgeführt. Es konnten bisher 113 Makrozoobenthosarten bzw. höhere Taxa in den Ästuaren der deutschen Nordseeküste nachgewiesen werden. In Ems, Weser, Elbe und Eider sind nach den Besiedlungsparametern und nach dem Auftreten von endemischen Brackwasserarten unterschiedliche Gewässerabschnitte zu erkennen. In der Jade sind keine unterschiedlich besiedelten Zonen sichtbar.

Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass die vorliegenden Ergebnisse aus den Ästuaren mit ähnlichen, älteren Bestandsaufnahmen (potentielles Arteninventar) aus diesen Gebieten vergleichbar sind. Die teilweise recht hohe Anzahl an neu nachgewiesenen Arten in den einzelnen Ästuaren liegt darin begründet, dass Untersuchungen des sublitoralen Bereiches bisher noch nicht umfassend für alle Bereiche und taxonomische Gruppen vorliegen.

An den fünf Stationen in der **Ems** zeigten sich zwischen den Jahren 1995 und 1996 gute Übereinstimmungen in den Sedimentverhältnis-

sen, aber erhebliche Unterschiede bei den Besiedelungsstrukturen durch die Bodentiere. Nur 45 % aller in beiden Jahren festgestellten Arten traten sowohl 1995 als auch 1996 auf. Insgesamt wurden im Sublitoral der Ems in beiden Jahren mittlerweile 43 % (= 49 Arten) des potentiellen Arteninventars gefunden. Sechzehn Arten hiervon sind durch das BfG-Monitoring erstmals für diesen Bereich nachgewiesen worden.

In der **Jade** zeigten in beiden Jahren zwei der fünf Stationen unterschiedliche Sedimenttypen. Die Makrofaunabesiedlung erwies sich 1996 gegenüber dem Vorjahr als erheblich artenreicher. Insgesamt wurden im Sublitoral der Jade in beiden Jahren mittlerweile 37 % (= 60 Arten) des potentiellen Arteninventars gefunden. Zwanzig Arten hiervon sind in diesem Bereich erstmals durch das BfG-Monitoring nachgewiesen worden. Ein bedeutender Anteil der Arten wurde mit der Dredge erfasst. An den einzelnen Stationen waren 1996 die Medianwerte von Artenzahlen und Diversität höher als im Vorjahr. Die Abundanzen und Biomassen bewegten sich dagegen in ähnlichen Größenordnungen.

An der Mehrzahl der **Weser**-Stationen wurden im Jahr 1996 deutlich andere Sedimentzusammensetzungen beobachtet als 1995. Die Artenspektren beider Jahre deuten auf eine hohe Fluktuationsrate in der Artenzusammensetzung hin: Nur rund 46 % der bisher mit dem Bodengreifer gefangenen Arten wurden in beiden Jahren angetroffen. Insgesamt wurden mittlerweile 40 % (= 70 Arten) des potentiellen Arteninventars des Sublitorals der Weser gefunden. Drei Arten hiervon sind für diesen Bereich durch das Monitoring der BfG erstmals nachgewiesen worden. Die Artenzahlen, Abundanzen, Biomassen und Diversitäten des Jahres 1996 unterschieden sich sehr stark von den Vorjahreswerten. Die meisten dieser Populationsparameter zeigten im Jahr 1996 deutlich höhere Werte gegenüber 1995.

Auch an den **Elbe**-Stationen wurden 1996 teilweise deutlich andere Sedimentzusammensetzungen beobachtet als im Jahr 1995. Die meisten Werte der Artenzahlen, Abundanzen, Biomassen und Diversitäten waren 1996 deutlich höher als 1995. Nur rund 46 % der mit dem Bodengreifer gefangenen Makrozoobenthosarten wurden in beiden Jahren angetroffen. Insgesamt wurden im Sublitoral der

Elbe mittlerweile 21 % (= 43 Arten) des potentiellen Arteninventars gefunden; 14 Arten hiervon sind durch das BfG-Monitoring erstmals für diesen Bereich nachgewiesen.

In der **Eider** wurden an drei Stationen mit 34 Arten 49 % des potentiellen Arteninventars des sublitoralen Makrozoobenthos in drei unterschiedlichen Salinitätszonen (oligo-, meso- und polyhalin) ermittelt. Neunzehn Arten sind hiervon durch das BfG-Monitoring erstmals für diesen Bereich nachgewiesen.

## Nordfriesische Küste

Seit 1987 führt das Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein (LANU) an repräsentativen Messstellen im Wattenmeer und im vorgelagerten Küstenmeer Untersuchungen zum Vorkommen der bodenlebenden Tiere durch. Im Wattenmeer werden bei Dagebüll und der Insel Nordstrand eulitorale Benthosgemeinschaften untersucht, in der offenen See zwischen Sylt und Eiderstedt sublitorale Gemeinschaften.

Die vier Stationen vor der nordfriesischen Küste sind dauernd mit Wasser bedeckt (Sublitoral) und weisen eine Tiefe zwischen 12 und 16 m auf. Der Boden besteht aus sandigem Sediment, das von Nord nach Süd feiner und etwas schlickiger wird. Bei den Untersuchungen (immer im August) wurden bisher 163 Arten bzw. Taxa gefunden, von denen 55 % an der Station auf der Amrumbank und 78 % an der Station im Schmalteuf nachgewiesen wurden. Je nach Probenahme fanden sich auf einer Station 30 - 50 Tierarten (s. Abb. 12). Besonders regelmäßig kamen bei den von 1987 bis 1996 insgesamt 40 durchgeführten Probenahmen folgende Tierarten vor (sie wurden bei 33 bis 40 Probenahmen nachgewiesen): Bäumchenröhrenwurm (*Lanice conchilega*), der Flachkopfwurm *Magelona mirabilis*, Roter Blattwurm (*Eumidia sanguinea*), Kiemenringelwurm (*Scoloplos armiger*), der Vielborstenwurm *Spiophanes bombyx*, Köcherwurm (*Pectinaria koreni*), Nordseegarnele (*Crangon crangon*), Schnurwürmer (*Nemertini*), Opalwurm (*Nephtys hombergi*), Gerippte Tellmuschel (*Tellina fabula*), Gefleckter Blattwurm (*Phyllodoce mucosa*) und der Schlammkrebs *Diastylis bradyi*.

Im küstennahen Übergangsbereich zwischen Meer und Land (Eulitoral), wird der Wattbo-



den jeweils im März und August eines Jahres in drei Gebieten untersucht. Auf diesen Sandwattstationen fand das LANU 65 Bodentierarten im Zeitraum von 1987 bis 1996. Die Artenzahlen auf den Stationen schwankten zwischen 10 und 20 je Probenahme (Abb. 12). Erhöhte Artenzahlen traten jeweils im August auf. Die Baltische Plattmuschel (*Macoma baltica*) konnte bei jeder der insgesamt 59 Probennahmen nachgewiesen werden; weitere Arten mit einer hohen Präsenz (bis zu 40 Nachweisen) waren: Rasenringelwurm (*Pygospio elegans*, ein Borstenwurm), Gemeine Wattschnecke (*Hydrobia ulva*), Wattwurm (*Arenicola marina*), Gemeine Herzmuschel (*Cerastoderma edule*), Langer Blattwurm

(*Eteone longa*), Kiemenringelwurm, Kotpilzenwurm (*Heteromastus filiformis*), Nordseegarnele, Opalwurm, Gefleckter Blattwurm und Kopfwurm (*Capitella capitata*).

Ein Vergleich aller Proben der drei Sandwattstationen 1987 - 1997 mittels Clusteranalyse (Abb.13) verdeutlicht die relativ große Ähnlichkeit zwischen Dagebüll und Nordstrand (geschütztes Rückseitenwatt) mit besonders homogenen Befunden. Büsum, als nach Westen besonders exponierter Standort, der im Einflussbereich eines großen Priels liegt, weist dagegen eine stärkere Streuung und damit größere Unterschiede zwischen den einzelnen Probenahmen auf.

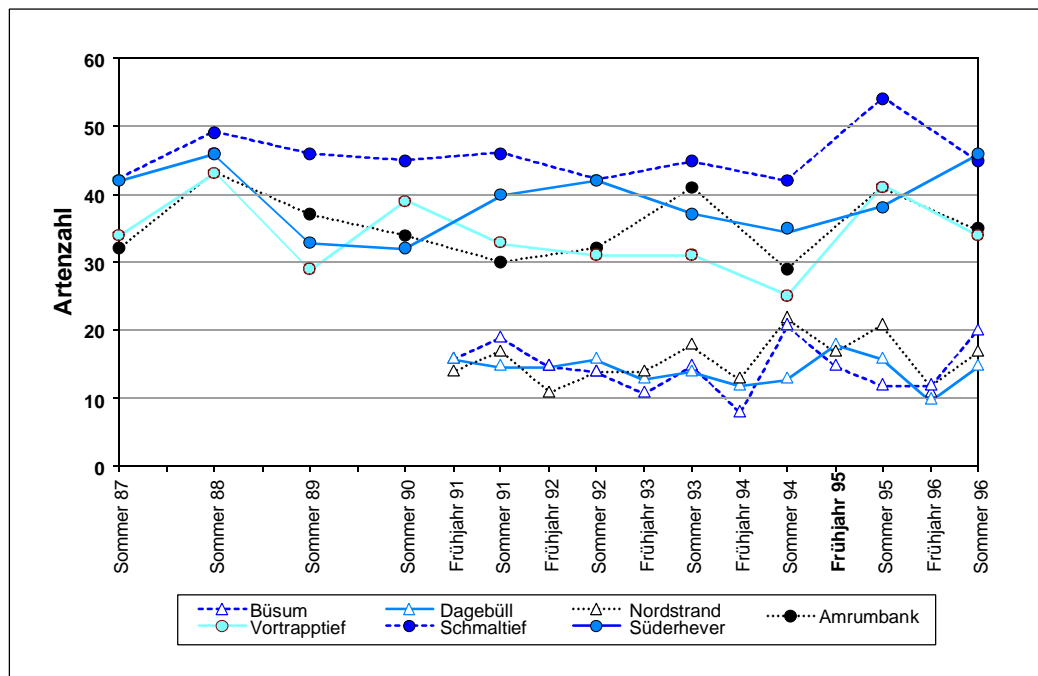


Abb. 12: Artenzahlen des Makrozoobenthos im Sublitoral des Küstenmeer (Punkte) und im Eulitoral des Sandwatts (Dreiecke)

### Zeitliche und räumliche Variabilität bei Sylt (1992-1996)

Im Rahmen eines Forschungsprogramms wurden zwischen 1992 und 1996 zwei Feinsandgebiete westlich Sylt (küstennah, 5 km westl. Sylt mit 10 m Wassertiefe ; küstenfern, 20 km westl. Sylt mit 20 m Wassertiefe) wurden jeweils im April und September beprobt.

Nach dem kalten Winter 1995/96 waren Abundanzen und Artendichten des Benthos im Küstenwasser geringer als zwischen 1992 und

1995. Unterschiedlicher Rekrutierungserfolg im Sommer 1996 führte zu Veränderungen in der Dominanzfolge. Seewärts gerichtete Restströmungen trugen vermutlich im Frühsommer Individuen aus dem Wattenmeer ins Küstenwasser und dort lebende Individuen in seewärtigere Habitate. Tatsächlich war der März 1996 durch eine Ostwind-Wetterlage geprägt, mit Oberflächenströmungen nord- bis nordwestlicher Richtung, die auch im April und Mai noch als Restströmungen dominierten. Damit kann eine Dichteabnahme nach einem kalten Winter nicht zwangsläufig als Winterfolge interpretiert werden, sondern

ebenso eine Folge ungewöhnlicher Strömungen im Frühjahr sein. Beide Faktoren sind über großräumige atmosphärische Fluktuationen gekoppelt.

Die zusätzliche Beprobung der Station 'Küstenwasser' im August 1995 zeigte gravierende, kurzfristige Veränderungen der Bodenfauna. Während zweier Wochen mit Windgeschwindigkeiten bis 10 m/s sank die Artenzahl von 50 auf 36 je 24 Kastengreifer, die Artenichte von 15 auf 12 Arten/Greifer, die Abundanz von 5000 auf 3400/m<sup>2</sup> und die Biomasse von 92 auf 41 g/m<sup>2</sup>. Dies wird auf Resuspension, möglicherweise auch aktiv initiiertes Driften, zurückgeführt. Besonders betroffen

waren kleine, oberflächennah lebende Arten. Da jede Sedimentstörung zu einer Veränderung der Faunenzusammensetzung führen kann, erstaunen allein die quantitativen Dimensionen der festgestellten Veränderungen. Offenbar ist eine Wassertiefe von 10 m unzureichend, um hydrographische Störungen abzapuffern.

In der Konsequenz solcher Umverteilungen im km<sup>2</sup>-Maßstab kann an einzelnen Stationen nicht zwischen zeitlicher und räumlicher Variation unterschieden werden. Dazu sind sehr viel größere Probeareale notwendig. Entsprechend wurde das Stationsnetz vor Sylt 1997/98 auf 100 km<sup>2</sup> erweitert.

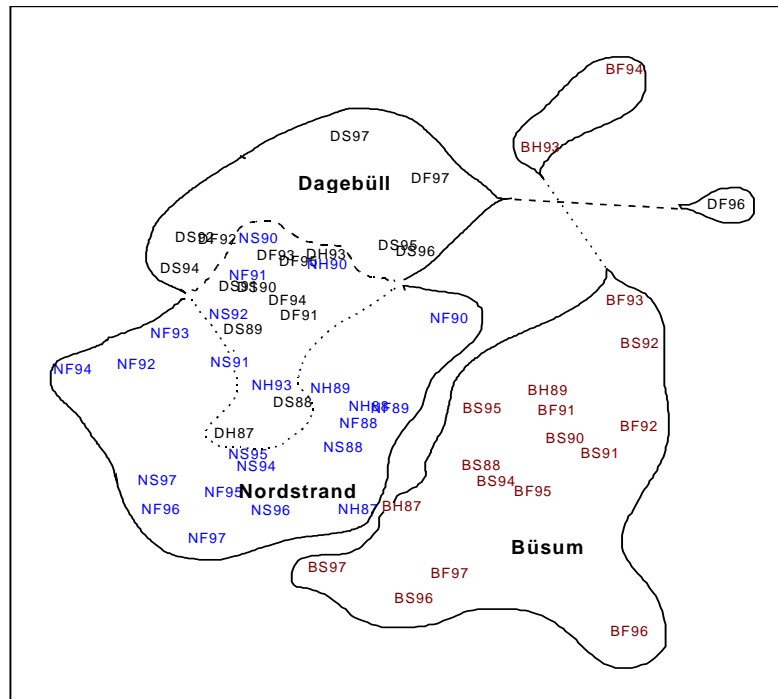


Abb.13: MDS-Plot der Eulitoralstationen Dagebüll (D), Nordstrand (N) und Büsum (B) des Makrozoobenthos-Monitorings des LANU vom Herbst (H) 1987, und von Frühjahr (F) 1988 bis Sommer (S) 1997, Arten und Abundanz, Bray-Curtis Similarity, 4. Wurzel Transformation.

### Niedersächsische Nordseeküste

Die Forschungsstelle Küste des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie führt im Rahmen der Überwachung niedersächsischer Küstengewässer Daueruntersuchungen am eulitoral Makrozoobenthos in vier Gebieten durch.

Im **Mündungsgebiet der Weser** werden seit 1982 sieben Termin-Stationen zweimal jährlich (April/September) beprobt, um den Ein-

fluss der Abwassereinleitungen aus der Titan-dioxidproduktion auf die Biozönose zu dokumentieren. Zwischen 1982 und 1996 wurden 28 Makrofauna-Arten gefunden, wovon nur 10 Arten häufig und drei Arten dominant sind (Wattringelwurm (*Nereis diversicolor*), Schlickkrebs (*Corophium volutator*), der Oligochaet (*Tubifex costatus*)). In den letzten Jahren kamen keine weiteren hinzu, letzter „Neuzugang“ war der 1986 aus Nordamerika eingewanderte, nun dominante Polychaet *Marenzelleria viridis*. Ein deutlich erhöhter O-



berwasserabfluss in 1994 sorgte wahrscheinlich für einen Rückgang der „marinen“ Arten (*Arenicola*, *Mya*, *Eteone*, *Crangon*).

Verglichen mit dem langjährigen Mittel sind in den drei Jahren bis auf eine Ausnahme Gesamtdichte und -biomasse niedriger (Abb.14).

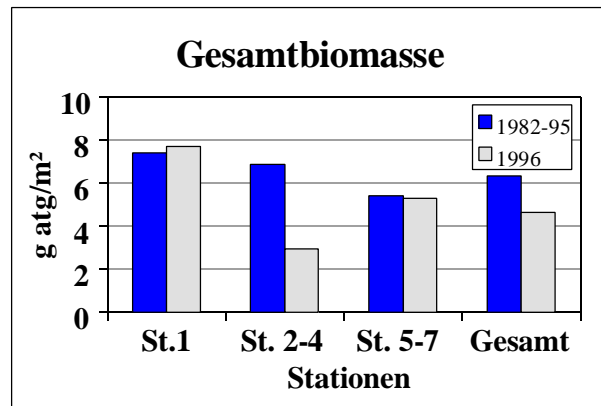


Abb. 14: Biomasse des Makrozoobenthos in den Proben in der Wesermündung, die Ergebnisse von 1996 im Vergleich mit den langjährigen Mittelwerten (St.1: Langlütjen, St.2-4: Watt vor Blexen, St.5-7: Lunewatt)

Die vier Dauerstationen im **Norderneyer Watt** (Beprobung im Januar, April, Juli, Oktober) gehören seit 1980 zum internationalen Benthosprogramm „COST-Aktion 647“. Dies sind Stationen zwischen dem Südrand der Insel Norderney und dem Wattfahrwasser, sandige Standorte mit zunehmender Überflutungsdauer. Die Schwankungen in der Biomasse zeigen - auch für die Jahre 1994 bis 1996 - ein jahreszeitliches Muster mit Minima im Winter und Frühjahr und Maxima im Sommer und Herbst. Eine kleine Gruppe sechs gewichtsdominanter Arten *Arenicola marina* (Pierwurm), *Nereis diversicolor* (Wattringelwurm), die Polychaeten *Heteromastus filiformis* und *Scoloplos armiger*, *Cerastoderma edule* (Herzmuschel), *Macoma balthica* (Tellmusche) ist für >80% der Biomasse verantwortlich, Zeichen einer hohen Beständigkeit der Biozönose. Größere Schwankungen in der Gesamtbiomasse verursacht an erster Stelle die Herzmuschel. Neu trat 1996 hier die Art *Marenzelleria viridis* auf.

Die **Leybucht** unterliegt dem Einfluss der Ems und direkter Süßwassereinleitungen. An sieben Stationen (meist Schlick- und Mischwatt) wird mit zwei Beprobungen/Jahr (April, September) seit 1989 die Bestandsentwicklung verfolgt.

Von 1994-1996 dominierten die Arten *Heteromastus filiformis* und *Nereis diversicolor*, *Tubificoides benedeni* und *Tubifex costatus*

(Oligochaeten), *Macoma balthica*; *Corophium volutator* (Schlickkrebs) nur 1994. Von den 20 Arten des Jahres 1994 fehlten ab 1995 der *Capitella capitata* (Polychaet) und ab 1996 *Nephtys hombergi* (Vielborstenwurm). Zusätzlich gefunden wurden 1996 die Schnecke *Retusa obtusa* (eine Station) und die Muschel *Ensis directus* (zwei Stationen) sowie die Muschel *Scrobicularia plana* (eine Station); an einer Station wurde eine hohe Zahl der Sandklaffmuschel *Mya arenaria* samt Brut nachgewiesen. Insgesamt blieben 1996 die Monitoringstandorte vom Massensterben verschont, nachdem im Mai/Juni große Flächen der ostfriesischen Watten in den anoxischen Zustand umgeschlagen waren.

Südlich des Norderneyer Wattfahrwassers wurde eine Miesmuschelbank für die 1994 beginnende Daueruntersuchung ausgewählt. Bei der ersten Probennahme im Mai betrug die Gesamtfläche des Vorkommens ca. 2,9 ha und bis zum Herbst 1994 hatte sich eine Gesamtbiomasse von ca. 3.500 t angesiedelt. Im Jahr 1995 befand sich die Muschelbank im Übergang zu einem reiferen Stadium. Der sehr harte Winter 1995/96 führte zu einer weitgehenden Zerstörung der Bank. Eine leichte Regeneration brachte bis zum Mai 1996 lediglich 10 t Gesamtbiomasse. Nach einem Massenbrutfall im Sommer 1996 vergrößerte sich die Bankfläche wieder auf 20 ha und erreichte im Dezember 1996 eine Gesamtbiomasse von 700 t.

## 4 Belastung mit Spurenmetallen

### 4.1 Wasser - Untersuchungen

Das Messprogramm legt den Schwerpunkt seiner Untersuchungen auf die toxisch bedeutenden Metalle Blei (Pb), Cadmium (Cd), Kupfer (Cu) und Quecksilber (Hg). Die Kenntnis, dass Schwermetallkonzentrationen von Wasserproben stark vom Schwebstoffgehalt des untersuchten Wasserkörpers abhängen, und dass diese Abhängigkeit von Element zu Element variiert, ist Ursache für die getrennte Bestimmung der in der filtrierten Wasserphase und im Filtrerrückstand enthaltenen Metallkonzentrationen. Zusammen mit dem Schwebstoffgehalt wird eine differenziertere Beurteilung der Belastung als bei Erfassung des Gesamtmetallgehaltes einer Probe erreicht.

Ein einheitliches Gesamtbild des Meereszustandes in Bezug auf die Metallbelastung ist nicht möglich, da die Überwachungsstrategien und die Untersuchungsmethoden der einzelnen Laboratorien noch zu stark voneinander abweichen.

In Ästuaren zeigt sich parallel zum Schwebstoff-Gehalt bei allen Metallen eine deutliche Abnahme der Gesamt-Metallgehalte vom inneren zum äußeren Ästuar. Da der Schwebstoffgehalt in Abhängigkeit vom dynamischen Zustand der Wassersäule stark schwankt, ändern sich auch die Metallgehalte von Probenahme zu Probenahme. Zukünftig soll daher von der Bestimmung des Gesamt-Metallgehaltes abgesehen werden, da die Werte einen hohen Grad an Zufälligkeit besitzen.

Besonders deutlich wird dies am Beispiel des Arsens in der Ems, dessen partikulär gebundener Anteil von ca. 80 % im inneren Ästuarbereich auf 35 % im Außenästuar sinkt. Eine Abnahme der Anteile um mehr als 30 % zeigen Cadmium, Kupfer und Nickel, bei Zink sinkt der schwebstoffgebundene Anteil um 20 %, bei Blei und Chrom nur um 10 %. Während bei Chrom, Blei (90 %) und Zink (75 %) der partikulär gebundene Anteil am Gesamtgehalt deutlich überwiegt, kann bei Arsen, Kupfer und Nickel vor allem in Bereichen mit niedrigem Schwebstoffgehalt und hoher Sali-

nität der lösliche Anteil dominieren. Bei Cadmium wird dort ein etwa gleiches Verhältnis von gelöstem zu partikulär gebundenem Anteil erreicht.

Im nordfriesischen Wattengebiet ist ebenso die Variabilität der recht groß. Dieses Gebiet wird durch den Gezeitenrhythmus geprägt, es herrscht eine große Dynamik im Wasserkörper mit erheblichen Turbulenzen und Inhomogenitäten. Dies gilt besonders für die Schwebstoffgehalte und die ständig variierenden Mischungsverhältnisse von Süß- und Meerwasser. In den Wintermonaten sind die Schwebstoffgehalte an allen Stationen deutlich erhöht. So zeigt z.B. die Station "Eider" dann einen Schwebstoffgehalt von durchschnittlich 144 mg/l, während in den Sommermonaten nur 22 mg/l gemessen werden. An der Station "Vortrapptief" lagen die Schwebstoffgehalte dagegen im Mittel nur bei 22 mg/l im Winter und 6 mg/l im Sommer. Da viele Spurenmetalle partikulär gebunden sind, werden somit für Arsen, Chrom, Quecksilber und Zink in den Wintermonaten deutlich höhere Gehalte gemessen. Auch aufgrund der niedrigen biologischen Aktivität sind die Spurenmetallgehalte im Winter erhöht.

Haupteintragsquellen für Schwermetalle sind die Flüsse. Die Weser z.B. übernimmt ihre Schwermetallbelastung von der Aller, die Wasser aus dem Harz führt, welches durch die dortige jahrhundertalte Erzbergbautätigkeit sowie eine hohe geogene Grundbelastung stark schwermetallbelastet ist. Nach dem Rückgang der Schwermetallkonzentration in den frühen 80er Jahren, hervorgerufen durch den verstärkten Ausbau der Abwasserbehandlungsanlagen, sind die Schwermetallbelastungen in den letzten Jahren stabil. Die Belastung des Weserwassers mit ausgewählten Schwermetallen ist in Abb.15, beispielhaft an der Station Hemelingen, dargestellt. Dabei zeigt sich, dass seit 1994 die Schwermetallkonzentration etwa auf dem gleichen Niveau geblieben ist. Erhöhte Werte werden an der Station bei Brake, vor allem aber in Bremerhaven festgestellt. Grund dafür sind die im

tidebeeinflussten Abschnitt vermehrt auftretenden Schwebstoffe, an denen sich Schwer-

metalle

bevorzugt

anreichern.

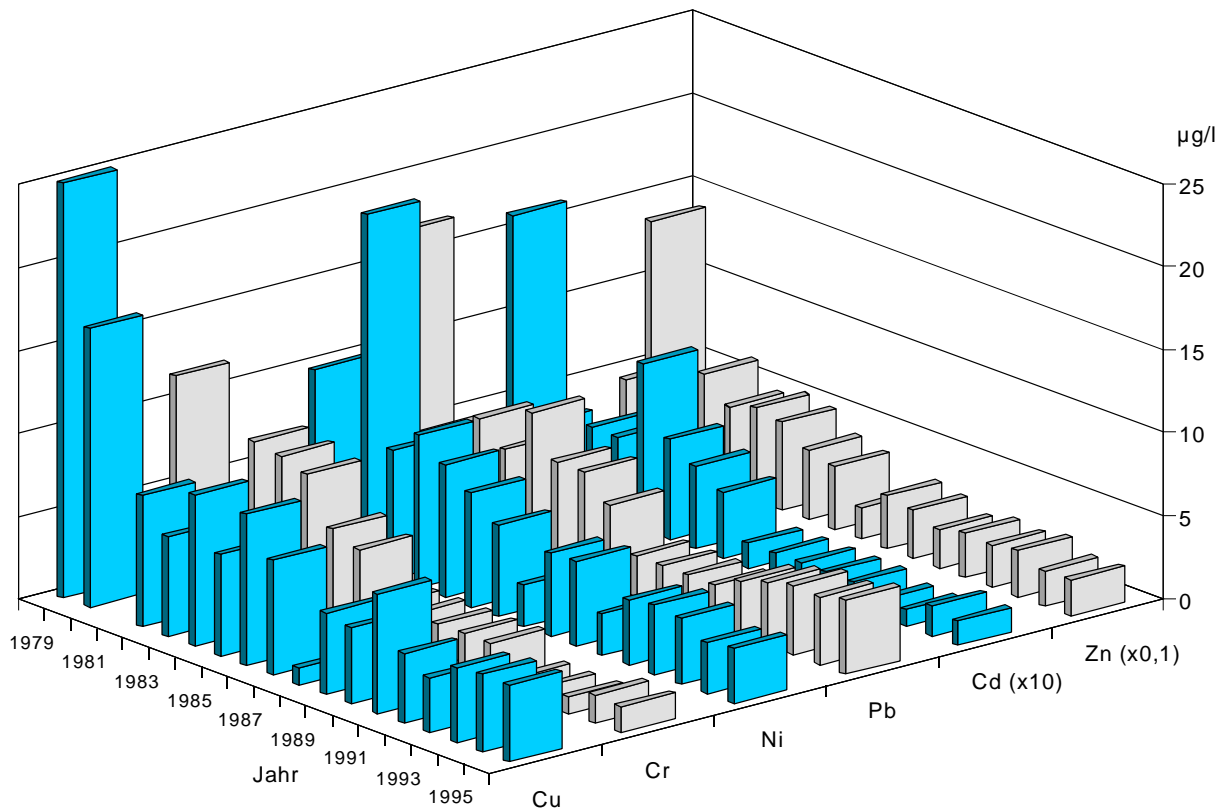


Abb. 15: Ausgesuchte Schwermetalle an der Messstation Hemelingen im langjährigen Vergleich (Jahresmittelwerte 1979-1985 aus 8-Wochen-Mischproben und 1986-1996 aus 2-Wochen Mischproben).

### Arsen (As)

Im Ems-Ästuar lagen die höchsten Arsengehalte 1994 - 1996 bei 35 µg/l Meerwasser.

An den ostfriesischen Stationen bewegten sich die winterlichen Arsengehalte (Dezember bis März) im Oberflächenwasser 1994 - 1996 zwischen <2 und 5,8 µg/l. Der höchste Arsengehalt wurde im März 1994 bei Harle gemessen, bei einem Schwebstoffgehalt von 290 mg/l.

An den nordfriesischen Stationen variierten die Arsengehalte im Oberflächenwasser 1994 - 1996 ganzjährig zwischen <0,2 und 3,9 µg/l. Der höchste Arsengehalt wurde im Dezember 1996 im Eider-Ästuar (Tonne 15) gemessen, bei einem Schwebstoffgehalt von 170 mg/l. Die küstennahen Stationen (Abb.17: Eider, Ausseneider und Südl. Süderoogsand) wiesen 1994 bis Mitte 1996 im Vergleich mit den küstenferneren Messstellen (Abb.17) höhere Arsengehalte auf. Die Mittelwerte der Winterbeprobungen (November und Februar) lagen

an allen Stationen zum Teil deutlich über den Mittelwerten aus sämtlichen Beprobungen.

### Blei (Pb)

Im Ems-Ästuar lagen die höchsten Bleigehalte 1994 - 1996 bei 35 µg/l.

An den ostfriesischen Stationen bewegten sich die winterlichen Bleigehalte (Dezember bis März) im Oberflächenwasser 1994 - 1996 zwischen <0,5 und 11 bzw. 13 µg/l (Abb. 16). Die überdurchschnittlich hohen Maximalwerte wurden im Dezember 1995 bzw. März 1996 im Busetief bei Norderney gemessen (bei Schwebstoffgehalten von 130 bzw. 100 mg/l).

An den nordfriesischen Stationen variierten die Bleigehalte im Oberflächenwasser 1994 - 1996 ganzjährig zwischen <0,2 und 3,1 µg/l (Maximum im Februar 1994 an der Station südlich von Süderoogsand). 43% der Einzelwerte lagen aber unter der analytischen Bestimmungsgrenze von 0,2 µg/l. Die küstennahen Stationen (Eider, Außeneider und Südl.

Süderoogsand) wiesen, verglichen mit den küstenferneren, deutlich höhere Bleigehalte auf. Die Mittelwerte der Winterbeprobungen (November und Februar) lagen an den küstennahen Stationen ebenfalls deutlich über den Mittelwerten aus sämtlichen Beprobungen.

### *Cadmium (Cd)*

Im Ems-Ästuar lagen 1994 - 1996 die höchsten Cadmiumkonzentrationen mit einer Ausnahme unter 0,3 µg/l.

An den ostfriesischen Stationen bewegten sich 1994 - 1996 die winterlichen Cadmiumgehalte (Dezember bis März) im Oberflächenwasser zwischen <0,1 und 1,16 µg/l. Der höchste Cadmiumwert im März 1994 in der Osterems gemessen, bei einem Schwebstoffgehalt von 79 mg/l.

An den nordfriesischen Stationen variierten 1994 - 1996 die Cadmiumgehalte im Oberflächenwasser ganzjährig zwischen <0,02 und 0,11 µg/l, sie lagen aber überwiegend unter der analytischen Bestimmungsgrenze (57% der Einzelwerte). Die höchste Konzentration wurde an der Station "Eider" im Dezember 1996 ermittelt, bei dem höchsten Schwebstoffgehalt von 170 mg/l.

### *Chrom (Cr)*

Im Ems-Ästuar lagen 1994 - 1996 die höchsten Chromgehalte bei 80 µg/l Meerwasser.

An den ostfriesischen Stationen bewegten sich 1994 - 1996 die winterlichen Chromgehalte (Dezember bis März) im Oberflächenwasser zwischen <2 und 8,4 µg/l. Der höchste Chromwert wurde im März 1994 bei Harle gemessen, bei einem Schwebstoffgehalt von 290 mg/l.

An den nordfriesischen Stationen variierten 1994 - 1996 die Chromgehalte im Oberflächenwasser ganzjährig zwischen <0,2 und 3,5 µg/l, 21% der Einzelwerte lagen unter der analytischen Bestimmungsgrenze. Die höchste Konzentration wurde an der Station "Eider" im Dezember 1996 gemessen, bei einem Schwebstoffgehalt von 170 mg/l. Die küstennahen Stationen (Eider, Außeneider und Südl. Süderoogsand) wiesen verglichen mit den küstenferneren deutlich höhere Chromgehalte auf. Die Mittelwerte der Winterbeprobungen

(November und Februar) lagen an den küstennahen Stationen ebenfalls stets deutlich über den Mittelwerten aus sämtlichen Beprobungen. Dies deutet auf Wintermaxima für Chrom hin.

### *Kupfer (Cu)*

Im Ems-Ästuar lagen die höchsten Kupfergehalte 1994 - 1996 bei 35 µg/l.

An den ostfriesischen Stationen bewegten sich 1994 - 1996 die winterlichen Kupfergehalte (Dezember bis März) im Oberflächenwasser zwischen <0,1 und 7 µg/l. Der höchste Kupferwert wurde im März 1994 in der Westerems gemessen, bei einem Schwebstoffgehalt von 95 mg/l.

An den nordfriesischen Stationen variierten 1994 - 1996 die Kupfergehalte im Oberflächenwasser ganzjährig nur gering zwischen <0,5 und 2,0 µg/l. 34% der Einzelwerte lagen unter der analytischen Bestimmungsgrenze. Die höchste Konzentration wurde an der Station "Außeneider" im Juni 1995 gemessen. Die Unterschiede zwischen küstennahen und küstenfernen Stationen sind nur gering.

### *Nickel (Ni)*

Im Emsästuar lagen 1994 - 1996 die maximalen Nickelgehalte bei 35 µg/l.

An den ostfriesischen Stationen bewegten sich 1994 - 1996 die winterlichen Nickelgehalte (Dezember bis März) im Oberflächenwasser zwischen 1 und 15 µg/l. Der höchste Nickelwert wurde im März 1994 an der Accumer Ee gemessen, bei einem Schwebstoffgehalt von 290 mg/l.

An den nordfriesischen Stationen variierten 1994 - 1996 die Nickelgehalte im Oberflächenwasser ganzjährig zwischen <0,5 und 8,0 µg/l, 10% der Einzelwerte lagen unter der analytischen Bestimmungsgrenze. Die höchste Konzentration wurde im Juni 1996 an der Station "Vortrapptief" gemessen. Ein Vergleich der Mediane zeigt, dass die Unterschiede zwischen küstennahen und -fernen Stationen nur gering sind.

### Quecksilber (Hg)

An den ostfriesischen Stationen bewegten sich 1994 - 1996 die winterlichen Quecksilbergehalte (Dezember bis März) im Oberflächenwasser zwischen  $<0,03$  und  $0,493 \mu\text{g/l}$ . Der höchste Quecksilberwert wurde Januar 1995 in der Osterems gemessen, bei einem Schwebstoffgehalt von  $79 \text{ mg/l}$ .

An den nordfriesischen Stationen variierten 1994 - 1996 die Quecksilbergehalte im Oberflächenwasser ganzjährig zwischen  $0,003$  und  $0,077 \mu\text{g/l}$ . Aufgrund des hochempfindlichen Analysenverfahrens wurden stets Gehalte über der Bestimmungsgrenze von  $0,001 \mu\text{g/l}$  bestimmt. Die höchste Konzentration wurde im Dezember 1996 an der Station "Eider" gemessen, bei einem Schwebstoffgehalt von  $170 \text{ mg/l}$ . Ein Vergleich der Mediane zeigt, dass die Unterschiede zwischen küstennahen und -fernen Stationen sind nur gering sind.

### Zink (Zn)

Im Ems-Ästuar lagen die höchsten Zinkwerte 1994 - 1996 bei  $350 \mu\text{g/l}$ .

An den ostfriesischen Stationen bewegten sich 1994 - 1996 die winterlichen Zinkgehalte (Dezember bis März) im Oberflächenwasser zwischen  $1,5$  und  $30 \mu\text{g/l}$ . Der höchste Zinkwert wurde im März 1994 an der Accumer Ee gemessen, bei einem Schwebstoffgehalt von  $290 \text{ mg/l}$ .

An den nordfriesischen Stationen variierten 1994 - 1996 die Zinkgehalte im Oberflächenwasser ganzjährig zwischen  $<1$  und  $26 \mu\text{g/l}$ , 31% der Einzelwerte lagen unter der analytischen Bestimmungsgrenze. Die höchste Konzentration wurde an der Station "Eider" im Dezember 1996 gemessen, bei einem Schwebstoffgehalt von  $170 \text{ mg/l}$ . An den Stationen Vortrapptief, Lister Tief und Römö Dyb lagen die Gehalte dagegen häufig unter der Bestimmungsgrenze.

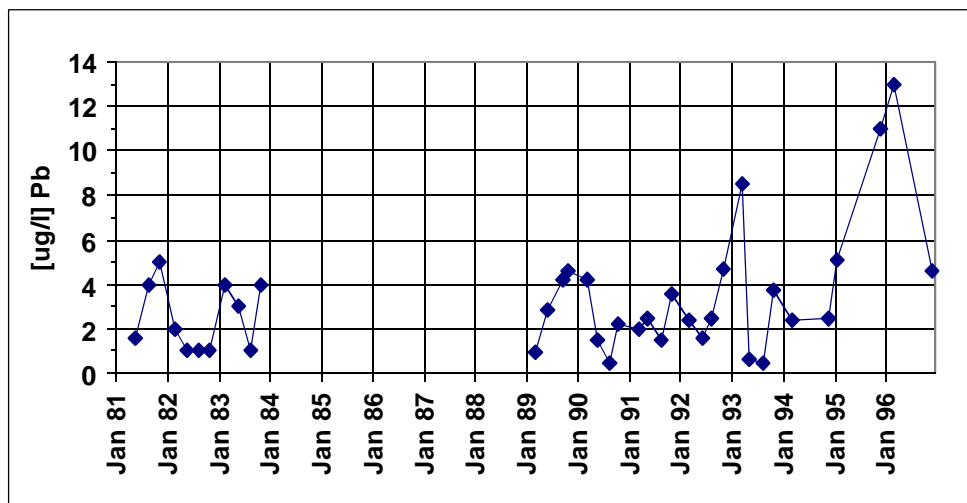


Abb. 16: Bleigehalte im Oberflächenwasser an der Messstelle Norderney/Busetief, 1981 - 1996.

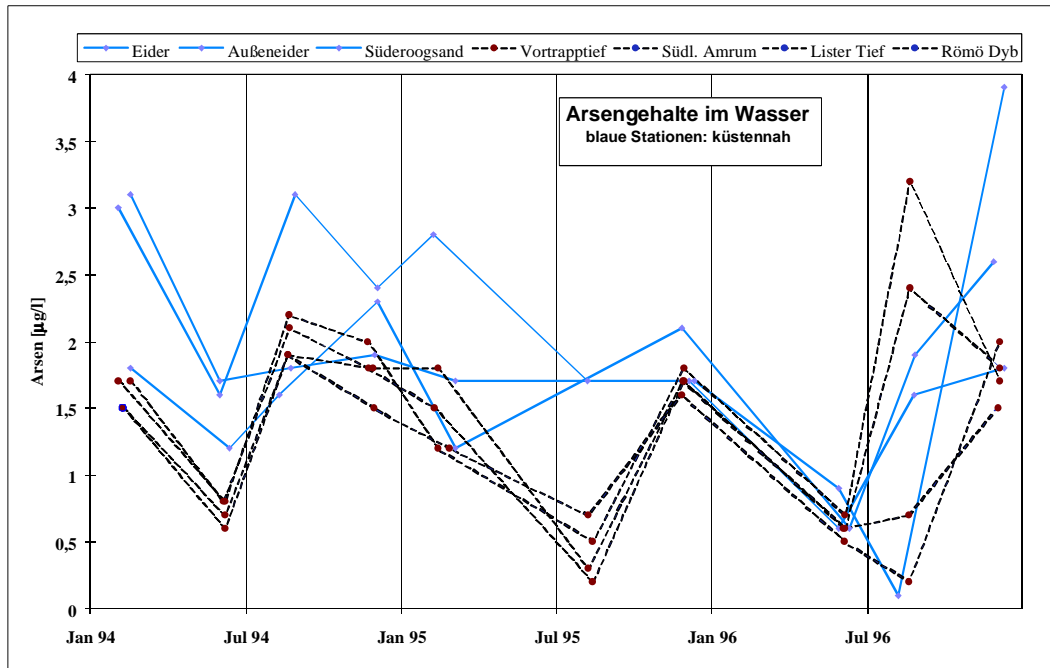


Abb. 17: Arsengehalte im Wasser an nordfriesischen Stationen 1994 bis 1996

## 4.2 Organismen - Untersuchungen

### Miesmuscheln (*Mytilus edulis*)

Im äußeren Ems-Ästuar bei Borkum wurden bis 1994 Miesmuscheln von der BfG untersucht. Das niedersächsische Landesamt für Ökologie (NLÖ) untersuchte Miesmuscheln entlang der niedersächsischen Küste. Die vorliegenden Auswertungen für die Ems-, Jade-, Weser- und Elberegion umfassen die Jahre 1986 - 1994. Die im Rahmen der Überwachung der niedersächsischen Küstengewässer von der Forschungsstelle Küste des NLÖ durchgeführten Routineuntersuchungen liegen für 1994 bis 1996 vor, sind aber noch nicht statistisch ausgewertet worden im Hinblick auf Trendaussagen.

Das Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein (LANU) untersuchte 1994 - 1996 einmal jährlich Miesmuscheln aus drei Entnahmeregionen: im nordfriesischen Watt (Norderaue) und im Heverstrom (südlich Südfall) sowie bei Helgoland (Düne Tetrapodenwall).

Die Ergebnisse der Umweltprobenbank können aufgrund der unterschiedlichen Probenahme-strategie (gepoolten Jahreshomogenate) nicht direkt mit denen der anderen Untersu-

chungsreihen verglichen werden. Die Spurenmittelgehalte werden im folgenden in [mg/kg Trockengewicht] angegeben.

### Arsen

Die Arsengehalte der Miesmuscheln aus dem nordfriesischen Wattenmeer und bei Helgoland variierten im Zeitraum 1994 - 1996 zwischen 5,4 und 9,4 mg/kg Trockengewicht (TG). Der Medianwert aller Arsengehalte während dieser Zeit aus den drei Entnahmeregionen lag bei 6,4 mg/kg TG. Es gibt keinen Vergleichswert aus vorhergehenden.

### Blei (Pb)

In Miesmuschelproben aus dem äußeren Ems-Ästuar bei Borkum lag die Bleikonzentration 1994 zwischen 1,5 und 2,4 mg/kg TG. Seit Beginn des Miesmuscheluntersuchungsprogramms entlang der niedersächsischen Küste Anfang der achtziger Jahre bildete die Jade- und Weser-Region einen Schwerpunkt der Bleibelastung. Im Jahr 1994 wurden nur noch im Jaderevier in Miesmuscheln vereinzelt erhöhte Bleikonzentrationen gemessen; das Maximum lag bei 3,57 mg/kg TG. An zweiter Stelle folgten 1994 die östlichen Bereiche des



Emsgebietes mit Werten bis zu 2,81 mg/kg TG. Lokal erhöhte Bleigehalte mögen ihre Erklärung in wasserbaulichen Maßnahmen wie Baggerarbeiten haben.

In den Entnahmegebieten im nordfriesischen Wattenmeer und bei Helgoland erreichten in den Jahren 1994 - 1996 in Miesmuscheln die Bleigehalte Werte von 0,64 bis 1,8 mg/kg Trockengewicht. Der Median aller Bleigehalte aus den drei Gebieten betrug während dieser Zeit 1,0 mg/kg TG und war damit höher als der vergleichbare Median des Zeitraums 1988 - 1989 von 0,6 mg/kg TG.

### *Cadmium (Cd)*

In Miesmuschelproben aus dem äußeren Ems-Ästuar bei Borkum wurden 1994 Cadmiumgehalte von 0,5 bis 0,7 mg/kg TG ermittelt.

Die Cadmiumgehalte in Miesmuscheln aus den beiden Entnahmegebieten im nordfriesischen Wattenmeer und demjenigen bei Helgoland erreichten von 1994 - 1996 Werte zwischen 0,26 und 0,54 mg/kg TG. Der Median aller Cadmiumgehalte aus den drei Gebieten betrug während dieser Zeit 0,38 mg/kg TG. Damit war er niedriger als der vergleichbare Median des Zeitraums 1988 - 1989, der 0,58 mg/kg TG erreichte.

### *Chrom (Cr)*

In den Entnahmegebieten im nordfriesischen Wattenmeer und bei Helgoland erreichten die Chromgehalte in Miesmuscheln von 1994 - 1996 Werte zwischen 0,26 und 1,1 mg/kg Trockengewicht. Der Median aller Chromgehalte aus den drei Gebieten während dieser Zeit wurde mit 0,47 mg/kg TG errechnet. Es gibt keinen Vergleichswert aus dem Zeitraum 1988-89.

### *Kupfer (Cu)*

In Miesmuschelproben aus dem äußeren Ems-Ästuar bei Borkum wurden im Jahr 1994 Kupfergehalte von 3,9 bis 5,8 mg/kg TG gemessen. Im Bereich der niedersächsischen Küste betragen 1994 die minimalen Kupfergehalte in Miesmuscheln 4 - 5 mg/kg TG. Die höchsten Werte im Bereich der Weser- und Jademündung erreichten 1994 knapp 8 mg/kg TG. Höher lagen 1994 die maximalen Kupfergehalte in Miesmuscheln im Bereich der Ems mit 11

mg/kg TG und mit 25 mg/kg TG im Einflussbereich der Elbe. Im Vergleich des Zeitraumes 1986 - 1993 mit dem Jahr 1994 hat sich die Situation insgesamt nicht verschlechtert. Einige erhöhte Spitzenwerte in Muscheln vom Leitdamm Cuxhaven trübten allerdings das Bild. Die Ursache dürften Baumaßnahmen zur Unterhaltung des Damms gewesen sein, bei denen Reststoffe aus der Produktion einer Kupferhütte verwendet wurden. Damit ist bekanntermaßen ein langsam abklingender Kupfereintrag verbunden. Entsprechend zeigten Miesmuscheln aus dem unmittelbaren Einflussbereich der Baumaßnahmen kurzfristig erhöhte Kupfergehalte.

Im nordfriesischen Wattenmeer und bei Helgoland lagen in Miesmuscheln von 1994 - 1996 die Kupfergehalte zwischen 5,7 und 11,7 mg/kg TG. Der Median aller Kupfergehalte während dieser Zeit wurde für alle drei Stationen mit 6,0 mg/kg TG errechnet und fiel niedriger aus als der vergleichbare Median des Zeitraumes 1988 - 1989, der 7,8 mg/kg TG betrug.

### *Quecksilber (Hg)*

In Miesmuschelproben aus dem äußeren Ems-Ästuar bei Borkum wurden 1994 Quecksilbergehalte von 0,4 mg /kg TG ermittelt, wobei kaum Unterschiede zwischen den einzelnen Größenklassen auftraten. Im gesamten niedersächsischen Wattenmeer nahmen die Quecksilbergehalte in Miesmuscheln von 1986 bis 1994 ab. Dies ist besonders deutlich für die Elbe ausgeprägt, wo 1994 die Gehalte in Muscheln mit 0,12 - 0,41 mg/kg TG in einer ähnliche Größenordnung auftraten wie im Bereich der Jade und der Ems. Miesmuscheln aus dem Gebiet der Wesermündung waren mit maximal 0,19 mg/kg TG im selben Jahr noch niedriger belastet.

In den Probennahmegebieten im nordfriesischen Wattenmeer und bei Helgoland erreichten von 1994 - 1996 in Miesmuscheln die Quecksilbergehalte Werte von 0,070 bis 0,13 mg/kg G. Der Median aller Quecksilbergehalte lag in den untersuchten Gebieten während dieser Zeit bei 0,12 mg/kg TG. Damit befand er sich auf ähnlichem Niveau wie der vergleichbare Median von 0,11 mg/kg TG des Zeitraumes 1988 - 1989.

## Zink (Zn)

In Miesmuschelproben aus dem äußeren Ems-Ästuar bei Borkum wurden 1994 Kupfergehalte zwischen 80 und 140 mg/kg TG gefunden. Mit steigender Schalengröße, entsprechend zunehmendem Alter der Muscheln, nahmen die Zinkgehalte ab. In den vier untersuchten Mündungsregionen entlang der niedersächsischen Küste entspannte sich die seit 1986 hohe Belastungssituation der Miesmuscheln mit Zink und umfasste 1994 Gehalte zwischen 66 und 182 mg/kg (Mediane 1994: 121 - 142 mg/kg TG).

Die Zinkgehalte in Miesmuscheln aus den Entnahmegebieten im nordfriesischen Wattenmeer und bei Helgoland erreichten von 1994 - 1996 Werte zwischen 51 und 78 mg/kg TG. Der Median aller Zinkgehalte lag in den drei Gebieten während dieser Zeit bei 65 mg/kg TG. Damit war er deutlich niedriger als der vergleichbare Median des Zeitraums 1988 - 1989, der 90 mg/kg TG betrug.

## Nordseefische

Untersuchungen zur Erfassung zeitlicher Veränderungen der Spurenmetallgehalte von Fischen (Trendmonitoring) der Hohen See wer-

den seit 1988 in der Deutschen Bucht ( JMP-Gebiet 13.4) als Beitrag zum *Joint Monitoring Programme (JMP)* der Kommissionen von Oslo und Paris und zugleich zum Bund/Länder-Messprogramm für die Meeresumwelt der Nordsee durchgeführt. Das Arbeitsprogramm bis 1994 entsprach in Zielsetzung und Durchführung dem, was in den „*Principles and Methodology of the Joint Monitoring Programme*“ (OSPARCOM 1994) festgelegt ist.

Nach dem Ersatz der Übereinkommen von Oslo und Paris durch das *Übereinkommen über den Schutz der Meeresumwelt des Nordostatlantiks* wurden seit 1995 die Untersuchungen in dem o.a. Gebiet unter dem *Joint Assessment and Monitoring Programme (JAMP)* und nach Maßgabe der *JAMP Guidelines for Monitoring Contaminants in Biota* (OSPARCOM, 1997) fortgesetzt. Einzelheiten des Untersuchungsprogramms sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Die Elemente Cd, Pb, Cu und Zink werden in der Leber, und Hg wird im Muskelfleisch einzelner Tiere (nicht in sog. „Jahreshomogenaten“) analysiert.

Die Untersuchungsergebnisse der Jahre 1995 bis 1996 sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

**Tabelle 1: Übersicht über Probenart und Variablen, die im Rahmen des JAMP seit 1995 untersucht werden.**

Species (n)	Alter (Jahre)	Länge (cm)	Geschlecht	Gebiet	Zeitraum d. Probenahme (Frequenz)	Matrix	Variable
Scholle ( <i>Pleuronectes platessa</i> ) 25 Individuen	2-3.	20-30	Weiblich	JAMP 13.4	Aug.-Sept. (1x. jährl.)	Leber Muskel	Cd, Pb, Cu, Zn Hg

**Tabelle 2: Spurenmetalle in Schollen (*Pleuronectes platessa*) des JAMP-Gebietes 13.4 (Elementgehalte jeweils als geometrische Mittelwerte und bezogen auf Frischsubst.).**

Jahr der Probenahme	Cd (µg/kg)	Pb (µg/kg)	Hg (µg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
1995	55,1	46,4	30,6	3,72	25,4
1996	94,5	38,4	39,0	2,22	25,1

Gegenwärtig liegen nur für Quecksilber Untersuchungsergebnisse vor, die - unter Einbeziehung von Daten aus dem früheren JMP -

eine längere Zeitspanne (1988 bis 1997) abdecken und eine zeitliche Entwicklung erkennen lassen.



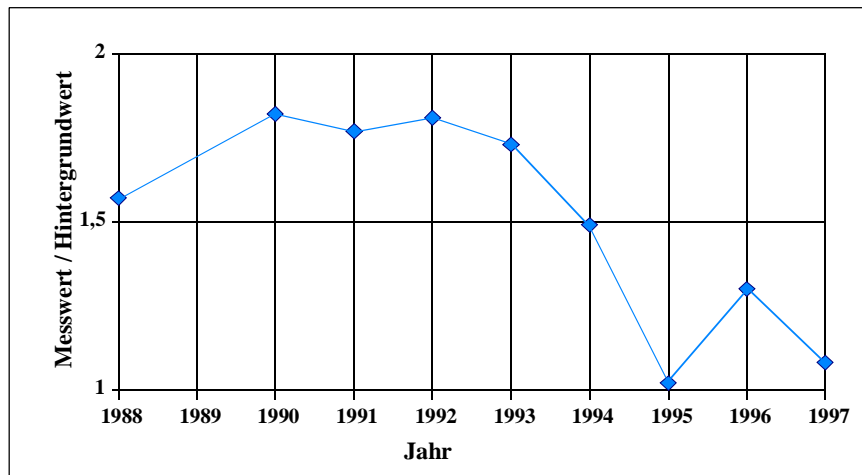


Abb. 18: Entwicklung der Quecksilberkonzentration von Schollen (*Pleuronectes platessa*) der Deutschen Bucht (JAMP-Gebiet 13.4), dargestellt als Verhältnis zum Hintergrundwert (geometrischer Mittelwert dividiert durch 30).

Eine zusammenfassende Darstellung über Quecksilbergehalte von Biota für das Meeresgebiet der Nordsee findet sich in den North Sea Assessment and Quality Status Reports 1993 (NSTF, 1993). Danach liegt der Quecksilbergehalt von kommerziell genutzten Fischarten der Nordsee, wie Kabeljau, Wittling, Scholle und Seezunge, zwischen 30 und 350  $\mu\text{g}/\text{kg}$  (Frischgewicht). Fische mit Quecksilbergehalten an der Obergrenze des genannten Bereichs finden sich vorrangig in Küstenzonen der Deutschen Bucht, der südlichen Bucht und norwegischer Gewässer.

Bei Plattfischen wird ein Quecksilbergehalt in der Größenordnung von 30 bis 70  $\mu\text{g}/\text{kg}$  (Frischgewicht) als gegenwärtiger Hintergrundwert (Referenzwert) angesehen (OSPAR/ICES, 1996).

Aus Abb. 18 ergeben sich bis 1993 Hinweise für erhöhte Quecksilberbelastungen, die vermutlich mit den bis dahin anhaltend hohen Quecksilbereinträgen aus der Elbe in die Deutsche Bucht im Zusammenhang stehen.

Seit 1994 wird eine abnehmende Tendenz erkennbar, die bereits 1995 zu einer Annäherung an den Hintergrundwert führt (Verhältnis geometrischer Mittelwert dividiert durch Hintergrundwert nähert sich 1), im Jahre 1996 zeigt sich wieder ein geringfügiger Anstieg beim Quecksilbergehalt der untersuchten Schollen.

## Vogeleier

Die in der Stellung im marinen Nahrungsnetz begründete Empfindlichkeit der Küstenvögel gegenüber Umweltchemikalien gilt für Schwermetalle ebenso wie für die bereits an anderer Stelle angesprochenen chlororganischen Verbindungen (siehe Kapitel Organische Schadstoffe). Neben der Mauser ist für die weiblichen Vögel die Eiablage ein wichtiger Mechanismus der Schwermetall-Detoxifikation des Körpers, insbesondere für Quecksilber. Federn wie Eier sind deshalb geeignete Matrizes zur Analyse der Schwermetallbelastung der Vögel und deren Umwelt. In methodischer Hinsicht haben Eier gegenüber Federn jedoch den Vorteil, die Kontamination der brütenden Weibchen mit Organohalogenen und Schwermetallen gleichermaßen „anzuzeigen“. Parallel zur Analyse der Organohalogenkontamination wird deshalb am Institut für Vogelforschung seit 1981 die Belastung von Eiern der Flusseeeschwalbe (*Sterna hirundo*) und des Austernfischers (*Haematopus ostralegus*) mit Schwermetallen untersucht. Dabei beschränken sich die Untersuchungen auf Quecksilber, da weitere Schwermetalle, wie beispielsweise Cadmium und Blei, in den Eiern dieser Vögel quantitativ kaum von Bedeutung sind.

Die Probennahme und die Quecksilberanalytik folgte der in den „Draft JAMP Biota Monitoring Guidelines“ vorgeschlagenen. Bis auf Ausnahmen wurden je Jahr, Brutgebiet und Art zehn zufällig aus Vollgelegen entnommene Eier untersucht. Die Analysen wurden in

Zusammenarbeit mit dem ITI am chemischen Labor der FH Wilhelmshaven vorgenommen. Gemessen wurde jeweils der Gesamtquecksilbergehalt (anorganisches und organisch gebundenes Hg) per Atomabsorptionsspektrometrie. Angegeben sind mittlere Quecksilberkonzentrationen in ng/g Frischgewicht des Eihaltens sowie die zugehörigen 95%-Konfidenzintervalle. Neben der exemplarischen Darstellung des räumlichen Kontaminationsmusters des Jahres 1996 und der jährlichen Variation in den Brutgebieten an der Jade 1994 – 1996, werden Trends der Quecksilberkontamination der Eier verschiedener Brutgebiete der Jahre 1981 bis 1997 angegeben (ausgenommen die Jahre 1982-1985).

Unterstützt wurde das Messprogramm durch die Niedersächsische Wattenmeerstiftung, Hannover.

### Lokale Unterschiede der Quecksilber-Belastung

Die für Quecksilber im Jahre 1996 ermittelte räumliche Variation von Rückständen in Flusseeeschwalben- und Austernfischereiern deckt sich nahezu vollständig mit den für Organohalogene gefundenen Schwankungen. Insbesondere an der zwischen den einzelnen Brutgebieten schwankenden Belastung der Flusseeeschwalbeneier wird deutlich, dass an der deutschen Nordseeküste auch in den 90er Jahren die Elbe die ergiebigste Eintragsquelle von Quecksilber und dessen Verbindungen darstellt. Der Einfluss des kontaminierten Elbwassers verliert sich zunehmend mit den in nördlich und nordöstlich verlaufenden Strömungsrichtungen des Wassers der Deutschen Bucht.

### Belastungsunterschiede im Quecksilber zwischen Austernfischer und Flusseeeschwalbe

Neben der aus den bereits erläuterten Gründen unterschiedlich hohen Kontamination der Eier von Flusseeeschwalben und Austernfischern (siehe auch Kapitel Organische Schadstoffe) besteht im Falle des Quecksilbers ein weiterer interspezifischer Unterschied: Im Vergleich zu den Organohalogenen tritt die oben angesprochene räumliche Variabilität bei Austernfischern in sehr viel geringerem Maße in Erscheinung. Zusammen mit dem am Dollart gelegenen Brutgebiet wurden an der Elbmün-

dung nicht die höchsten, sondern vielmehr die niedrigsten Quecksilbergehalte gefunden (Abb.19). Dieses Ergebnis dürfte weniger ein Indiz für eine geringe Belastung der genannten Gebiete sein als vielmehr für die Ernährungsstrategie des Austernfischers. Da in Buchten und Ästuaren ausgedehnte Wattflächen als Nahrungshabitate in sehr viel geringerem Umfang als an exponierten Teilen der Küste zur Verfügung stehen, weicht der Austernfischer zur Nahrungssuche auf Binnenlandflächen aus und ernährt sich dort von edaphischen Invertebraten. Auf diese Weise kontaminieren sich Austernfischer in vergleichsweise geringerem Maße insbesondere mit solchen Umweltchemikalien, die wie das Quecksilber hauptsächlich durch Flüsse in die Nordsee eingetragen werden.

### Trends

Im Gegensatz zu relativ konstanten Quecksilbergehalten in Flusseeeschwalbeneiern wurden beim Austernfischer an der Jade zwischen 1994 und 1996 abnehmende Konzentrationen festgestellt (Abb.20). Dieser Befund entspricht den langjährigen Trends, wonach sich in vielen Brutgebieten von Austernfischer und Flusseeeschwalbe die Quecksilberkonzentrationen in Eiern parallel zur zurückgehenden Belastung von Rhein und Elbe während der letzten Dekade verringert haben (Tab.3, Abb.21.).

Das Verbot der Anwendung quecksilberhaltiger Saatgutbeizmittel im Jahre 1982 (Westdeutschland) bzw. 1990 (neue Bundesländer), die teilweise verbesserte Behandlung industrieller Abwässer sowie eine verbesserte Sonderabfallbehandlung dürften die Ursachen für abnehmende Quecksilberfrachten der Nordseezuflüsse und Rückstände in Eiern der Küstenvögel sein.

Dennoch sind insbesondere Flusseeeschwalbeneier regional auch heute noch so hoch mit Quecksilber belastet, dass von Brutminderung durch Schwermetallkontamination ausgegangen werden muss. Der Schwellenwert von 0,5 µg/g Ei-Frischgewicht (SCHEUHAMMER 1987) wurde besonders von im Bereich der inneren Deutschen Bucht brütenden Flusseeeschwalben im Zeitraum 1994 bis 1996 weit überschritten (vgl. aber BECKER et al. 1993).

Tab. 3: Zeittrends der Quecksilberkonzentrationen in Eiern von Flusseeschwalben und Austernfischern im Zeitraum 1981 bis 1997 (Dollart seit 1987). Angegeben sind im Falle der Signifikanz Rangkorrelations-Koeffizienten nach Spearman. n.s. = nicht signifikant, \*  $p \leq 0,05$ , \*\*  $p \leq 0,01$ , \*\*\*  $p \leq 0,001$ , / = keine Beobachtung.

	Flusseeschwalbe	Austernfischer
Dollart	/	n.s.
Jade	-0,35 ***	n.s.
Elbe	-0,74 ***	-0,57 ***
Trischen	-0,19 *	-0,29 **
Norderoog	-0,26 **	0,36 ***

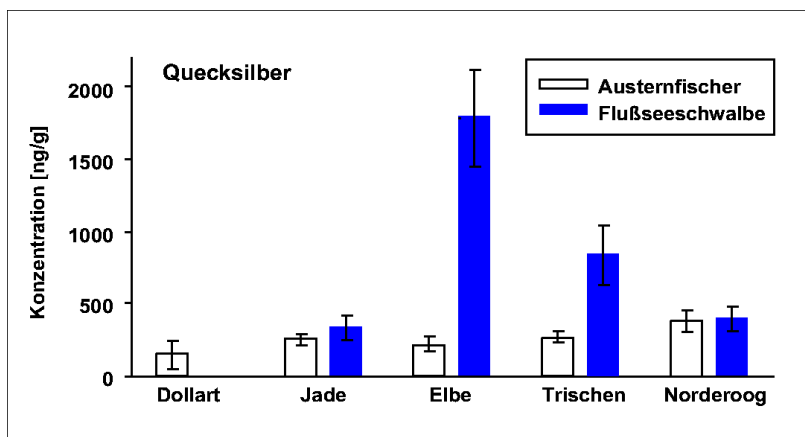


Abb. 19: Räumliche Variation der Kontamination von Küstenvogeleiern mit Quecksilber im Jahre 1996. Angegeben sind jeweils mittlere Konzentrationen (ng/g Frischgewicht des Eihaltes) und 95%-Konfidenzintervalle. Mit Ausnahme der Austernfischer des Dollarts ( $n = 4$ ) wurden je Brutgebiet und Art 10 Eier untersucht.

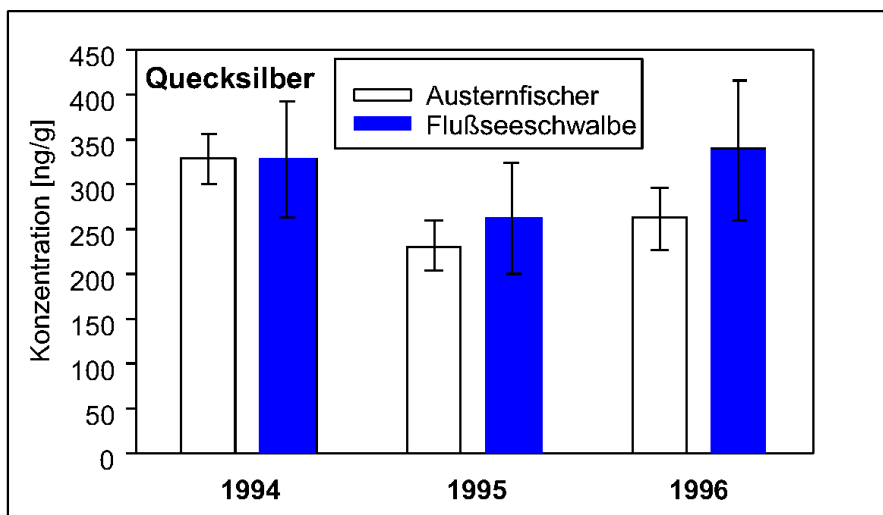


Abb. 20: Variation der Kontamination von Eiern mit Quecksilber am Beispiel der Flusseeschwalben- und Austernfischer-Brutgebiete an der Jade im Zeitraum 1994 bis 1996.

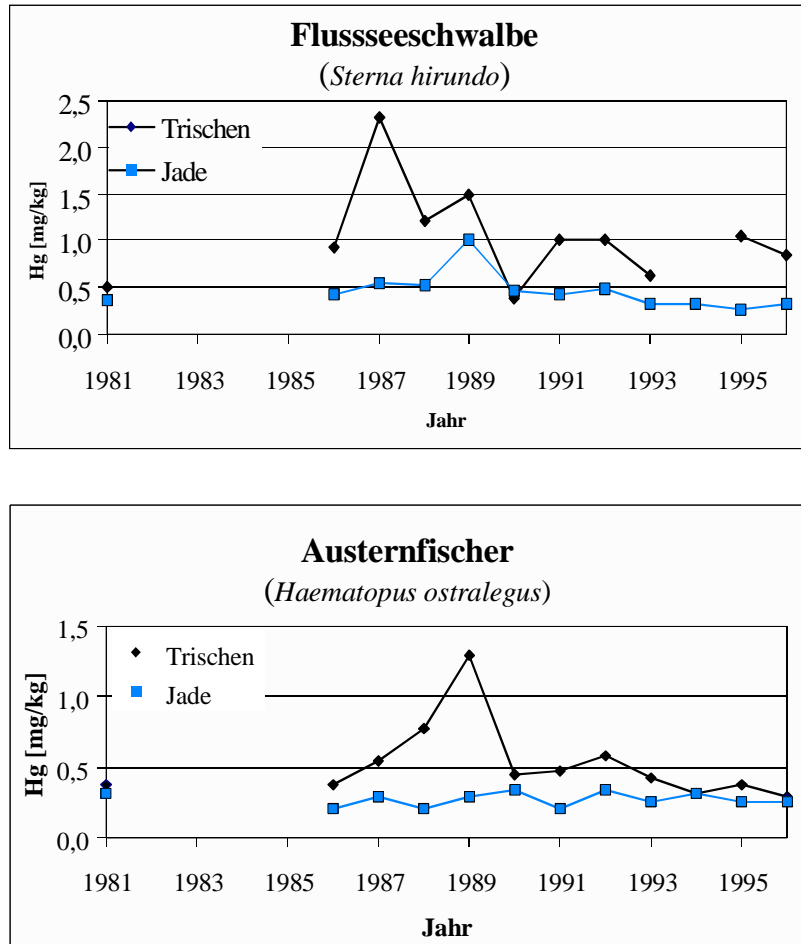


Abb. 21: Zeittrends der Quecksilber-Konzentrationen in Eiern von Flussseseschwalbe und Austernfischer von Trischen und Jade 1981-1996. 1 mg/kg = 1000 ng/g.

## 4.3 Sediment-Untersuchungen

In Sedimenten liegen Spurenmetalle in beträchtlichem Ausmaß gespeichert vor. Ihr Gehalt in feinkörnigen Sedimenten übertrifft gegenwärtig in fast allen größeren Flüssen sowie den Wattgebieten und Ästuaren Deutschlands die natürlichen Hintergrundwerte um ein Vielfaches. Hier können sie für bodenlebende Organismen eine Belastungsquelle darstellen und über die Nahrungskette auch auf höhere trophische Stufen des Ökosystems eine schädigende Wirkung ausüben.

Spurenmetalle sind ungleichmäßig in den einzelnen Korngrößenfraktionen von Sedimenten verteilt. Feinkörnige Sedimentpartikel, wie z.B. Schluff, binden auf Grund ihres Mineralbestandes (Glimmer, Tonminerale) sehr viel mehr Schwermetalle als grobkörnige Sedimentpartikel mit hohem Sandanteil (Quarz,

Feldspäte, Schwerminerale). Daher hängt der Spurenmetallgehalt in unfraktionierten Sedimentproben stets vom Anteil an feinkörnigem Material ab (Korngrößeneffekt). Um die Spurenmetallbelastung der Sedimente in den verschiedenen Regionen miteinander vergleichen zu können, werden die Bestimmungen in der Korngrößenfraktion <20 µm durchgeführt.

Die Sedimente/Schwebstoffe der gesamten Tide-Ems und des Dollart sind fast ausschließlich marinen Ursprunges. Die Ursache hierfür findet sich in den sehr hohen Flutstromgeschwindigkeiten, die wesentlich durch die Vertiefung der Tide-Ems im Rahmen des Ausbaues als Schifffahrtstraße verursacht werden. Hierdurch werden Feststoffe marinen Ursprunges (und mit diesen die für den Küstenbereich typischen Cd- und Hg-Gehalte) in

großem Ausmaß aus dem Wattenbereich bis zur Schleuse Herbrum transportiert. Die Feststoffe fluvialen Ursprunges mit ihren höheren Cd- und Hg-Belastungen tragen lediglich im Oberwasser bei Herbrum merklich zur Cd- oder Hg-Belastung der Feststoffe bei.

An den Stationen der nordfriesischen Küste schwankte der Anteil der Fraktion <20 µm an der Gesamtsedimentprobe stark. Die Korngrößenzusammensetzung ändert sich somit von Jahr zu Jahr zum Teil erheblich. Als Ursache kommen Sedimentumlagerungen durch auftretende Sturmweatherlagen oder veränderte Strömungsverhältnisse in Betracht. Der Feinkornanteile variierten zwischen 0,28% an der Station „Norderau/Langeneß“ und maximal 18,7% an der Station „Eider bei Tönning“.

Im BLMP waren in den Jahren 1994 - 1996 die Untersuchungen wenig aufeinander abgestimmt. Die Ergebnisse sind somit regional begrenzt vergleichbar.

Von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz, wurde nur eine Probenserie im September 1994 gemessen.

Das Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein (LANU) hat im jeweils während der Augustbeprobungen Sedimente an fünf Stationen im Wattengebiet sowie in der Eider bei Tönning entnommen. Es wurden die Elemente Arsen, Cadmium, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel, Blei und Zink in der Fraktion <20 µm analysiert. Die Ergebnisse werden mit den statistischen Kenngrößen (Minimum, Median und Maximum) aus Sedimentuntersuchungen des Zeitraums 1988 bis 1996 verglichen.

Im niedersächsischen Wattgebiet wurden von der Forschungsstelle Küste des niedersächsischen Landesamtes für Ökologie (NLÖ) an 33 Stationen (in 10 Gebieten jeweils aus den Bereichen Sand- und Schlickwatt, Verlandungszone /Vorland) in 3-jährigen Abständen Sedimentproben zur Analyse entnommen, vorzugsweise im Spätsommer. Zur Beurteilung der Belastung werden die Befunde der <20 µm-Feinkornfraktion zugrunde gelegt; für diesen Bericht speziell die Daten aus den Wattgebieten.

Das BSH untersucht regelmäßig Sedimente des deutschen Festlandssockels der Nordsee auf

ihren Gehalt an Schwermetallen (Hg, Cd, Pb, Cu, Zn, Cr, Ni, V, Ag, As) und zur Beurteilung der Werte notwendige Begleitgrößen (Al, Li, Fe, Mn, TOC, N, CaCO<sub>3</sub>, P, Anteil der Feinkornfraktion <20µm). Die Bestimmung von Si, K, Mg und Co wurde im Berichtszeitraum versuchsweise in das Programm aufgenommen. Entsprechend der Strategie des BSH wurde in den Jahren 1994 und 1996 ein Gerüst von Stationen, für die bereits Zeitreihen vorliegen, beprobt. In mehrjährigem Abstand wird zusätzlich ein (festes) den gesamten Festlandssockel abdeckendes Netz beprobt. Dies geschah im Jahr 1995. Im Berichtszeitraum wurde ausschließlich die Feinkornfraktion von Oberflächensedimenten (0 bis 2cm) analysiert.

## Nord- und ostfriesisches Wattenmeer mit Ems-Ästuar

### Arsen (As)

Der natürliche Arsen-Hintergrundwert liegt etwa bei 10 mg/kg Trockenmasse TM.

An den nordfriesischen Stationen variierten die zwischen 17 und 56 mg/kg TM (Maximum im August 1996 im Büsumer Watt).

In den ostfriesischen Wattsedimenten wurden Werte zwischen 17 und 32 mg/kg TM ermittelt (Ausnahme: Sandwatt bei Borkum mit 56 mg/kg TM).

Im Ems-Ästuar lagen die Arsengehalte im Oberflächensediment im September 1994 im Hafen Emden bei 22 mg/kg TM und im Dollart bei 26mg/kg TM

### Blei (Pb)

Als natürlicher Hintergrundwert wird ein Konzentrationsbereich von 10 - 40 mg/kg TM angenommen.

Im Emsästuar lagen die Bleigehalte im Oberflächensediment im September 1994 im Hafen Emden bei 44 mg/kg TM und im Dollart bei 55mg/kg TM.

Im ostfriesischen Wattgebiet ergaben die Untersuchungen Werte von 59 bis 100 mg/kg TM und erreichten mindestens das Doppelte des natürlichen Hintergrundwertes.

Für die nordfriesischen Stationen gilt ähnliches. Dort variierten die Bleikonzentrationen der Oberflächensedimente 1994 - 1996 an den verschiedenen Stationen stark zwischen 27 und 91 mg/kg TM. Mit Bleigehalten von 77 sowie 91 und 69 mg/kg TM traten die höchsten Belastungen im Büsumer Watt auf (Feinkornanteil <20µm: 1,2 / 0,42 / 1,9 %).

### *Cadmium (Cd)*

Der natürliche Cadmium-Hintergrundwert ist starken Schwankungen unterworfen. Für die innere Deutsche Bucht wird er auf etwa 0,2 mg/kg TM geschätzt .

In der Tide-Ems ist die Cadmiumbelastung von Schwebstoffen und Sedimenten gering - z.B. im Vergleich zu den Ästuaren von Elbe und Weser. Ein einheitlicher zeitlicher Trend ist in den letzten 10 Jahren nicht zu beobachten. Die Cadmiumgehalte im Oberflächensediment lagen im September 1994 im Hafen Emden und im Dollart bei 0,5 mg/kg TM.

Die Messungen des NLÖ im niedersächsischen Wattgebiet zeigten für 1994 Werte zwischen 0,39 und 1,7 mg/kg TM, lediglich im Schlicksandprofil Elisabethgroden wurde mit 5,1 mg/kg TM ein Belastungsschwerpunkt festgestellt.

An den nordfriesischen Stationen variierten die Cadmiumkonzentrationen 1994 - 1996 an den verschiedenen Stationen zwischen 0,40 und 1,7 mg/kg TM. Der als natürlich eingeschätzte Hintergrundwert wird somit während des Berichtszeitraums bei allen Sedimentuntersuchungen in Nordfriesland um etwa das Zwei- bis Neunfache überschritten.

### *Chrom (Cr)*

Der natürliche Chrom-Hintergrundwert liegt etwa bei 80 mg/kg TM.

Im Ems-Ästuar lagen die Chromgehalte im Oberflächensediment im September 1994 im Hafen Emden und im Dollart bei 120 und 130 mg/kg TM. Im Sediment bei Emshörn waren es nur 64 mg/kg TM.

Für das niedersächsische Wattgebiet ermittelte das NLÖ 1994 Werte zwischen 60 und 100 mg/kg TM, die also im Bereich der angegebenen Hintergrundwerte liegen bzw. etwas darüber.

An den nordfriesischen Stationen variierten die Chromkonzentrationen im Berichtszeitraum an den verschiedenen Stationen zwischen 77 und 118 mg/kg TM. Im Lister Königshafen lagen 1994 - 1996 die Chromgehalte im Konzentrationsbereich des natürlichen Hintergrundwertes.

### *Kupfer (Cu)*

Der natürliche Kupfer-Hintergrundwert liegt etwa bei 20 mg/kg TM .

Im Ems-Ästuar lagen die Kupfergehalte des Oberflächensedimentes im September 1994 im Hafen Emden und im Dollart bei 17 und 18 mg/kg TM.

Die Hintergrundwerte für Kupfer werden im niedersächsischen Watt mit 15 bis 29 mg/kg TM im Schnitt eingehalten; nur einzelne Profile ragen mit Werten von 42 mg/kg TM (Borkum), 51 mg/kg TM (Spiekeroog), 82 mg/kg TM (Norderney) heraus.

An den nordfriesischen Stationen variierten die Kupferkonzentrationen im Berichtszeitraum an den verschiedenen Stationen zwischen 14 und 42 mg/kg TM. In den Sedimenten der Eider (bei Tönning) und der Hallig Oland lagen 1994 - 1996 die Werte im Bereich des natürlichen Hintergrundes.

### *Nickel (Ni)*

Der natürliche Nickel-Hintergrundwert liegt etwa bei 30 mg/kg TM.

Im Ems-Ästuar lagen die Nickelgehalte des Oberflächensedimentes im September 1994 im Hafen Emden und im Dollart bei 41 und 39 mg/kg TM.

Für die Stationen im niedersächsischen Wattgebiet ergaben die Untersuchungen Konzentrationen zwischen 22 und 44 mg/kg TM.

An den nordfriesischen Stationen variierten die Nickelkonzentrationen im Berichtszeitraum zwischen 29 und 50 mg/kg TM.



## Quecksilber (Hg)

Der natürliche Quecksilber-Hintergrundwert für die innere Deutsche Bucht liegt etwa zwischen 0,02 bis 0,04 mg/kg TM. Dieser Wert wurde in allen untersuchten Sedimenten der Jahre 1994 - 1966 deutlich überschritten.

In der Tide-Ems ist die Quecksilberbelastung von Schwebstoffen und Sedimenten im Vergleich zu den Ästuaren von Elbe und Weser. Ein einheitlicher, zeitlicher Trend ist in den letzten 10 Jahren nicht zu beobachten. Die Quecksilbergehalte des Oberflächensedimentes lagen im September 1994 im Hafen Emden bei 1,0 mg/kg TM. Im Dollart und bei Emshörn betragen sie 0,3 mg/kg TM.

Der Bereich Niedersächsisches Wattenmeer liegt mit Konzentrationen von 0,24 bis 0,52 mg/kg TM bei mindestens dem Zehnfachen des natürlichen Hintergrundwertes.

An den nordfriesischen Stationen variierten die zwischen 0,09 und 0,60 mg/kg TM. Nahezu alle beobachteten Quecksilbergehalte zeigten das Zehn- bis Zwanzigfache des natürlichen Hintergrundwertes.

## Zink (Zn)

Der natürliche Zink-Hintergrundwert liegt bei etwa 80 - 100 mg/kg TM.

Im Ems-Ästuar lagen die Zinkgehalte des Oberflächensedimentes im September 1994 im Hafen Emden und im Dollart bei 230 und 240

mg/kg TM. Geringer waren sie mit 140 mg/kg im Sediment bei Emshörn.

Im niedersächsischen Wattenmeer erreichten die Werte mit 45 bis 250 mg/kg TM die gleiche Größenordnung wie in der Ems-Mündung, also etwa zweifach erhöht im Vergleich zum Hintergrundwert.

An den nordfriesischen Stationen variierten die Zinkkonzentrationen zwischen 92 und 247 mg/kg TM. Die höchsten Zinkgehalte zeigten sich im Büsumer Watt mit 287, 263, 230 mg/kg TM (Feinkornanteil <20µm: 1,2 / 0,42 / 1,9 %).

## Weser-Ästuar

Die Schwermetallbelastung des Sedimentes bzw. des Schwebstoffes an der Station Hemelingen werden in Abb.22 und Abb.23 dargestellt. Betrachtet man die Belastung der Wesersedimente mit Schwermetallen im Verlauf der letzten Jahre, so ist ein durchgängiger Trend nur schwer zu erkennen. Zwar scheint sich in weiten Teilen eine leichte Abnahme der Schwermetallkonzentration abzuzeichnen, jedoch kann die Aussage aufgrund der vorhandenen Datenmenge nicht abgesichert werden. Ähnliches gilt für die Schwermetallbelastung am Schwebstoff. Betrachtet man die Jahresmittelwerte der Schwebstoff- und Sedimentuntersuchungen im direkten Vergleich, so liegen die Konzentrationen im Sediment durchschnittlich leicht über den Konzentrationen im Schwebstoff.

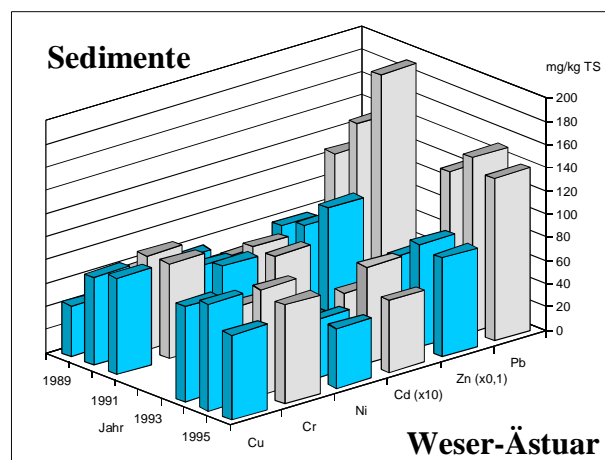


Abb. 22: Ausgesuchte Schwermetalle im Sediment an der Station Hemelingen (Basis: Einzelproben 2x jährlich (1989 und 1994-1996) bzw. 1x jährlich (1990-1991 und 1994))

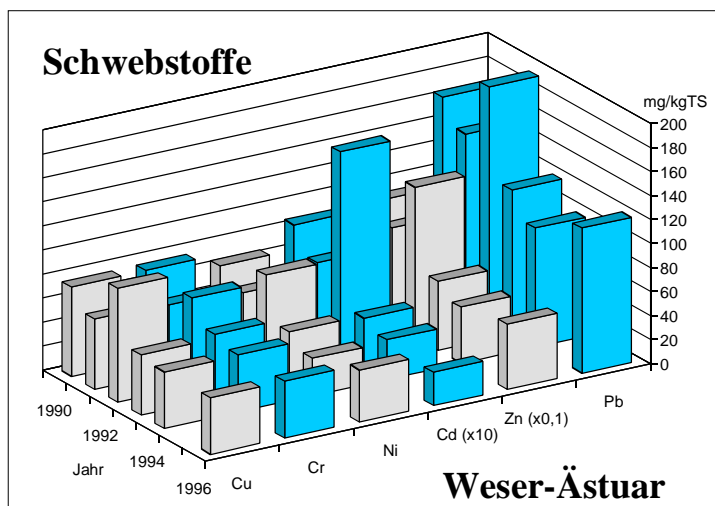


Abb. 23: Ausgesuchte Schwermetalle im Schwebstoff an der Station Hemelingen (Basis: 1990-1993; Einzelproben 2x jährlich; 1994 = 21 Einzelproben, 1996 = 17 Einzelproben).

In Tab.4 sind die Jahresmittelwerte der Schwermetallkonzentrationen im Sediment an den Stationen Hemelingen, Brake und Bremerhaven der Jahre 1994-1996 aufgeführt. Auffällig ist bei einigen Metallen (vor allem

bei Cu, Cd, Pb, Zn) die deutliche Abnahme der Belastung im Längsverlauf dieses Flussabschnittes, die die zunehmende Verdünnung der Schwermetalleinträge aus der Aller widerspiegelt.

Tabelle.4: Jahresmittelwerte der Schwermetallkonzentration im Sediment an den Stationen Hemelingen, Brake und Bremerhaven 1994-1996

<b>Hemeligen</b>									
	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
1994	12	5,3	69	82	0,37	800	41	130	710
1995	19	8,3	91	92	0,455	1035	50,5	150	890
1996	21	6,2	85,5	73,5	0,42	1350	51,5	140	850
<b>Brake</b>									
	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
1994	20	1,2	83	31	0,55	2100	37	110	300
1995	22	1,785	83,5	38	0,28	1595	36	65,5	275
1996	25,5	2,15	87	35	0,415	2250	42	78,5	350
<b>Bremerhaven</b>									
	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Hg</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
1994	18	1,2	63	41	0,37	1600	32	76	230
1995	25,5	1,95	88	38,5	0,38	1550	41	74	290
1996	27	1,55	100	32	0,385	1350	40,5	63,5	285

## Innere Deutsche Bucht

### Räumliche Verteilungen

Die Schwermetallgehalte (Hg, Cd, Pb, Cu, Zn, Ag) in der Feinkornfraktion der Sedimente des deutschen Festlandssockels einschließlich der inneren Deutschen Bucht zeigen ein ausgeprägtes Verteilungsmuster. Die generelle

Verteilung unterscheidet sich nur graduell von dem bereits in früheren Untersuchungen (1993/95, 1987, 1991) gefundenen Muster: Hohe Gehalte von Quecksilber, Cadmium und Zink im küstennahen Bereich. Hohe Gehalte von Blei auch in küstenfernen Gebieten. Silber, das erst seit 1992 bestimmt wird, ist ebenfalls in der Deutschen Bucht hoch angereichert.



Lokal variierende Gehalte an (meist "verdünndem")  $\text{CaCO}_3$ , regional variierende Li/Al-Verhältnisse, K/Al-Verhältnisse und Mg/Al-Verhältnisse sind angesichts der hohen Gehalte der oben genannten Schwermetalle ohne Bedeutung. Dies kommt erst in der nordwestlichen Nordsee zum Tragen. Auch die regional variierenden Si/Al-Verhältnisse (hoher Anteil von Quarz in der Feinkornfraktion küstennaher Sedimente) sind angesichts der hohen Schwermetallgehalte ohne Bedeutung.

Anders verhält es sich mit dem Anteil der Feinkornfraktion, dem Gehalt an Eisen, Mangan und organischem Kohlenstoff: Die aus Sanden gewonnene Feinkornfraktion enthält generell wesentlich mehr Blei als die aus schlackigen Sedimenten gewonnene. Blei reichert sich allgemein in der Feinkornfraktion an. In den sandigen Sedimenten ist diese Fraktion nur gering vorhanden und so muss sich das gesamte Blei in dem wenigen Feinkornsediment einlagern, das hier zur Verfügung steht. Deshalb sind die relativen Blei-Werte in den Feinkornfraktionen aus sandigen Sedimenten größer als in denen aus Schlackproben. Hohe Gehalte an Eisen sind mit hohen Gehalten von Zink gekoppelt. Hohe Gehalte von Mangan führen zu hohen Gehalten von Kobalt. Variationen des Gehalts an organischem Kohlenstoff scheinen die Variationen des Gehalts an Cadmium mitzubestimmen.

Das Quecksilber scheint von diesen Einflüssen weitgehend unbeeinträchtigt zu sein. Seine Verteilung weist auf Einträge über die Flüsse (insbesondere die Elbe) als Hauptquelle hin.

### Schlickgebiet: zeitliche Veränderungen

Das Schlickgebiet der inneren Deutschen Bucht wurde bereits seit 1975 regelmäßig beprobt. Hier sind die Gehalte von Quecksilber, Cadmium und Zink in der Feinkornfraktion kräftig zurückgegangen, sie liegen aber noch immer weit über den "Hintergrundwerten". Auch die Kupfergehalte zeigen einen Rückgang. Die aktuellen Werte liegen nur noch wenig über den Hintergrundwerten. Die Daten weisen auf einen durch den Oberwasserabfluss der Elbe modulierten abnehmenden Trend hin. Der Rückgang der Metallgehalte setzte bereits vor 1990 ein.

Für Blei deutet sich eine Tendenz zu niedrigeren Werten an. Eine Trendaussage ist aber noch nicht möglich. Für das erst ab 1992 bestimmte Element Silber ist ebenfalls noch keine Trendaussage möglich.

### Sandige Sedimente: zeitliche Veränderungen

Die Verhältnisse sind wesentlich komplexer in den sandigen Sedimenten vor den Küsten Niedersachsens und Schleswig-Holsteins als im Schlickgebiet.

Die hier beobachteten, in früheren Jahren als erratisch angesehenen Fluktuationen, erweisen sich zunehmend als reguläre Variationen, die nicht allein durch wechselnden Feinkornanteil, Anteil an organischem Kohlenstoff oder Eisen bestimmt sein können. Sie zeigen die generelle zeitliche Entwicklung von Quecksilber, Cadmium, Zink, Kupfer und Blei in der Feinkornfraktion sandiger Sedimente der Deutschen Bucht. Auch hier ist ein Rückgang von Quecksilber und Kupfer zu beobachten. Für die hohen Konzentrationen, insbesondere an Cadmium, in den Jahren um 1990 wurde noch keine befriedigende Erklärung gefunden.

