

RADIOÖKOLOGIE

Neue Erkenntnisse über die Kontamination von Fischen der südlichen Nordsee mit Cadmium, Blei und Quecksilber

Ungleich vielen, ausschließlich anthropogen bedingten Stoffen sind Schwermetalle wie Cadmium, Blei und Quecksilber normale (natürliche) Bestandteile aquatischer Lebensräume und zumindest in Spuren in dort lebenden Organismen nachweisbar.

Soweit Schwermetalle in gelöster Form im Wasser vorkommen, werden sie von der Körperoberfläche und von den Kiemenepithelien der Fische in gewissem Umfang sorbiert. Ferner kommt es zur Resorption aus dem Magen-Darmtrakt, wenn die Metalle mit der Nahrung, mit Schwebstoffen oder Sedimentbestandteilen aufgenommen werden.

Bei der Aufnahme und Speicherung von Schwermetallen durch Fische wirken verschiedene Faktoren mit. Neben der "biologischen Verfügbarkeit" der Elemente in Nahrung und Wasser spielen ernährungsphysiologische und mit dem Entwicklungszustand der Tiere einhergehende Eigenheiten des Stoffwechsels eine entscheidende Rolle. Diese Einflußgrößen führen dazu, daß ausgeprägte, individuelle Unterschiede innerhalb untersuchter Stichproben auftreten, die zu einer teilweise erheblichen Schwankungsbreite der Befunde führen.

Die Bioakkumulation von Schwermetallen ist teilweise durch ihre Affinität zu bestimmten Organen und Geweben charakterisiert. Während Quecksilber bevorzugt in der Muskulatur gespeichert wird, lagert sich Cadmium in stark durchbluteten Organen wie Leber und Niere ab. Für Blei ist ein charakteristisches Verteilungsmuster noch nicht mit ausreichender Sicherheit feststellbar. Jedoch sprechen auch hier bisherige Befunde für eine bevorzugte Anreicherung in der Leber.

In fischereilich genutzten Fischarten, wie z.B. Kabeljau und Scholle, liegt nach den bisher gewonnenen Erkenntnissen der Quecksilbergehalt des Muskelgewebes (Filet) eindeutig unter 0,1 mg/kg (100 µg/kg), sofern die Tiere aus Gebieten stammen, die nicht durch industrielle Aktivitäten des Menschen mit Quecksilber kontaminiert sind. Damit wird der gesetzlich festgelegte Höchstgehalt von 1 mg/kg erheblich unterschritten.

Zuverlässige Daten über Cadmium- und Bleigehalte im Muskelgewebe von Fischen sind auf Grund vielerorts immer noch existierender analytischer Schwierigkeiten erst wenig ermittelt worden.

Der "Internationale Rat für Meeresforschung" (ICES) kam nach einer kritischen Durchsicht der im Rahmen der von ihm koordinierten internationalen Überwachungsprogramme angefallenen Daten zu dem Schluß, daß der Bleigehalt im Muskelgewebe von Fischen bei etwa 0,0X mg/kg Frischsubstanz, und der Cadmiumgehalt bei etwa 0,00X mg/kg Frischsubstanz (X steht für eine Zahl zwischen 1 und 10) liegen dürfte (ICES, 1984).

Bei eigenen Untersuchungen, die mit einer sehr empfindlichen Methode und unter besonderer Vermeidung von Kontaminationsquellen durchgeführt wurden (HARMS, 1985) ergaben sich bei Fischen (Kabeljau und Scholle) aus der Deutschen Bucht Bleigehalte zwischen 0,0005 und 0,005 mg/kg (zwischen 0,5 und 5 µg/kg) im Muskelgewebe, d.h. die tatsächlichen Bleigehalte dürften nach eigener Auffassung in einer Größenordnung liegen, die mindestens eine Zehnerpotenz unter den bisher als "realistisch" angenommenen Konzentrationsbereichen anzusiedeln ist.

Eine ähnliche Situation zeichnet sich auch beim Cadmium ab. "Richtige", d.h. durch analytische Fehler nicht verfälschte Cadmiumgehalte im Muskelgewebe von Seefischen haben wahrscheinlich eine Größenordnung von kleiner als 0,001 mg/kg (kleiner als 1 µg/kg).

Bisher konnte noch nicht mit ausreichender Sicherheit geklärt werden, ob in Regionen, die anthropogen bedingte Blei- oder Cadmumeinträge erfahren, erhöhte Gehalte der genannten Elemente im Muskelgewebe der dort vorkommenden Fische auftreten. Der gegenwärtige Wissensstand deutet daraufhin, daß stoffwechselbedingte Regelmechanismen eine stärkere Anreicherung im Muskelgewebe verhindern.

Ergebnisse in den letzten zwei Jahren durchgeführter Untersuchungen zur Schwermetallbelastung von Fischen der Deutschen Bucht sind in der Tabelle 1 zusammengestellt worden.

Tabelle 1: Blei, Cadmium und Quecksilber im Muskelgewebe (Filet) verschiedener Fischarten der Deutschen Bucht (ICES stat. rectangles 37F7, 37F8, 38F7). Konzentrationsangaben in µg/kg Frischsubstanz. Angegeben sind die Schwankungsbreite (kleinster und größter Wert) sowie der **Medianwert**

Fischart	untersuchter Längenbereich (cm)	Pb	Cd	Hg
Kabeljau (<i>Gadus morhua</i>)	30 - 34	0,4 - 2,9 1,6	0,10 - 0,51 0,34	26 - 92 46
Scholle (<i>Pleuronectes platessa</i>)	28 - 31	1,2 - 4,4 2,4	0,08 - 0,30 0,22	18 - 64 40
Flunder (<i>Platichthys flesus</i>)	18 - 24	1,3 - 4,2 2,7	0,39 - 0,88 0,62	31 - 190 64
Kliesche (<i>Limanda limanda</i>)	20 - 25	3,0 - 9,4 7,0	0,44 - 1,1 0,75	38 - 78 56

Zu den Daten ist zu vermerken, daß sie den gegenwärtigen Zustand (die Ist-Situation) in dem untersuchten Bereich beschreiben, Aussagen über zeitliche Trends aber nicht zulassen.

Die gemessenen Schwermetallgehalte der einzelnen Stichproben sind unsymmetrisch verteilt. Die Tabelle enthält, unabhängig von der Verteilungsform, den jeweils kleinsten und größten Wert der Stichproben und den Medianwert. Sie vermittelt damit einen Einblick in die Größenordnung und die Schwankungsbreiten der jeweiligen Befunde.

Die regelmäßige Erfassung der Schwermetallgehalte von Fischen der Nordsee ist ein wichtiger integraler Bestandteil internationaler Überwachungsprogramme. Sie entsprechen in Zielsetzung und Zweck dem, was u.a. die gemeinsame Überwachungsgruppe (Joint Monitoring Group) für die Durchführung der Artikel 13 bzw. 11 der Übereinkommen von Oslo (1972) und Paris (1974) festgelegt hat.

Tabelle 2: Blei, Cadmium und Quecksilber in Flundern (*Platichthys flesus*) aus verschiedenen Fanggebieten

Angaben (Schwankungsbreite und Medianwert) in μ /kg Frischsubstanz;
Pb und Cd bezogen auf Leber, Hg bezogen auf Muskelgewebe

Fanggebiet	Pb	Cd	Hg
Weserästuar	40 - 120 80	100 - 360 180	120 - 280 200
Elbeästuar	50 - 160 120	140 - 560 290	140 - 1200 320
Innere Dt. Bucht	30 - 90 50	40 - 120 80	110 - 190 130
Skagerrak	20 - 60 40	30 - 100 50	10 - 40 20
Kattegat	10 - 60 30	30 - 100 50	20 - 50 30
Kieler Bucht	10 - 100 40	30 - 110 60	20 - 60 30

Daten nach Luckas und Harms (1987)

Darüberhinaus dienen Schwermetalluntersuchungen an Fischen als Beitrag zum Verständnis von Prozessen, welche die Verteilung und den Transport von Schwermetallen in der Nordsee steuern. Die kürzlich zusammen mit LUCKAS (LUCKAS und HARMS, 1987) durchgeführten Untersuchungen von Flundern aus verschiedenen Küstenregionen der Nord- und Ostsee sowie aus dem Elbe- und Weserästuar liefern hierfür ein Beispiel. Es ergaben sich dabei folgende Befunde (vergl. Tabelle 2):

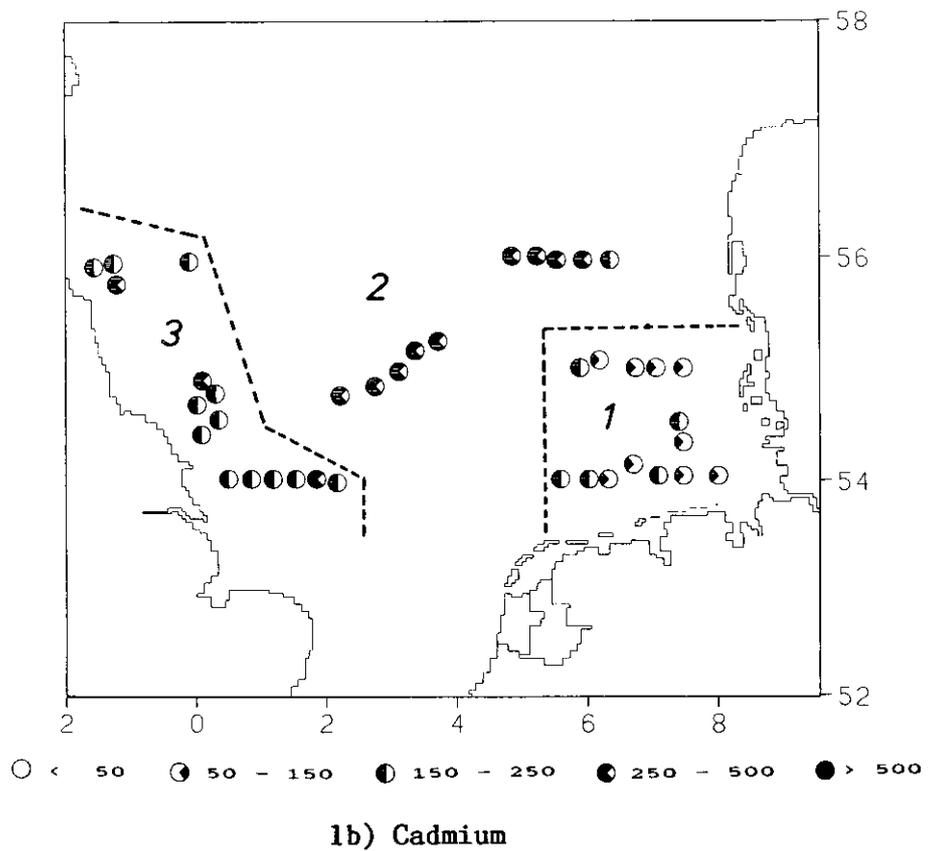
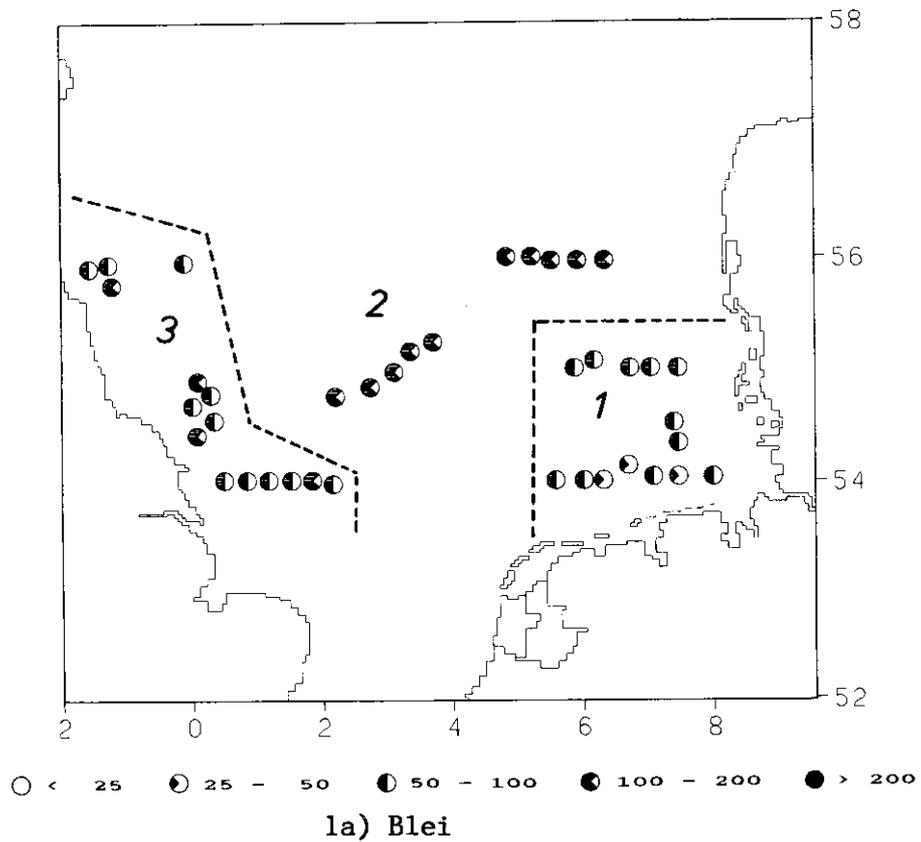
Das Kontaminationsniveau von Quecksilber in Flundern aus dem Elbeästuar war außergewöhnlich hoch.

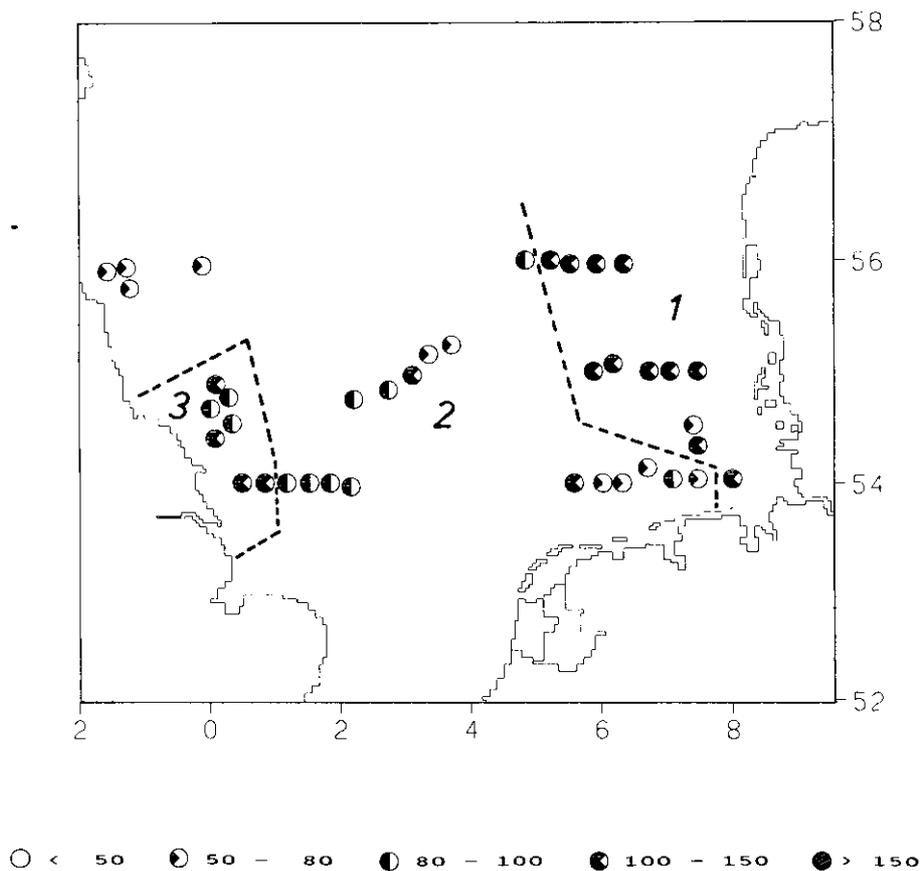
Die Quecksilberwerte nahmen innerhalb der Deutschen Bucht von der Küste zur "Hohen See" graduell ab.

Desgleichen war ein Konzentrationsabfall entlang der westjütländischen Küste festzustellen.

Die Untersuchungen stützen die bisherige Annahme, daß die Elbe die herausragende Quelle für den Eintrag von Quecksilber in die Deutsche Bucht bildet. Das entworfene Bild läßt darauf schließen, daß das eingeleitete Quecksilber mit der vorherrschenden Restströmung entlang der westjütländischen Küste verfrachtet und verteilt

Abbildung 1: Schwermetallgehalte in Lebern von Klieschen (*Limanda limanda*) unterschiedlicher Fanggebiete der südlichen Nordsee. Konzentrationsbereiche in $\mu\text{g}/\text{kg}$ Frischsubstanz





1c) Quecksilber

Tabelle 3: Blei, Cadmium und Quecksilber, in Lebern von Klieschen (*Limanda limanda*) unterschiedlicher Fanggebiete der südlichen Nordsee

Angaben (Schwankungsbreite und Medianwert) in µ/kg Frischsubstanz; Gebietsgrenzen vergleiche Abbildung 1a - 1c

Fanggebiet	Pb	Cd	Hg
Deutsche Bucht (Gebiet 1)	28 - 100 65	72 - 201 138	67 - 130 114
Zentrale südl. Nordsee (Gebiet 2)	103 - 142 122	258 - 408 283	53 - 108 80
Britische Ostküste (Gebiet 3)	69 - 143 89	164 - 312 199	82 - 135 104

Daten nach Claußen (1987)

wird, wobei sich die Elementkonzentration im Wasserkörper durch Einbindung in das Sediment und Vermischungsvorgänge reduziert. Ähnliche Gradienten konnte auch JENSEN (1985) bei Muscheluntersuchungen feststellen.

Auch beim Cadmium und beim Blei war eine Tendenz zu höheren Werten in den Lebern von Flundern aus dem Elbe- und Weserästuar erkennbar. Die Gehalte an Cadmium und Blei in Untersuchungskollektiven aus beiden Flußmündungen unterschieden sich nicht signifikant.

Beim Übergang des jeweiligen Flusssystemes auf die offene Nordsee ergaben sich sprunghafte Abnahmen der Cd- bzw. Pb-Konzentrationen, die wahrscheinlich auch ein Ausdruck für Vermischungs- und Sedimentationsprozesse sind, durch die die "biologisch verfügbaren" Schwermetallkonzentrationen im untersuchten Areal vermindert werden.

Bestätigt wird diese Annahme u.a. durch Wasseruntersuchungen in der Nähe von Flußmündungen, bei denen für eine Reihe von Metallen starke Gradienten beim Übergang in die offene See festgestellt wurden. Die Arbeiten von MART et al. (1984), MART und NÜRNBERG (1986) und SCHMIDT et al. (1986) liefern hierfür anschauliche Beispiele.

Der offensichtlich starke Verlust vieler Schwermetalle auf dem Wege in das marine Milieu beruht auf dem Zusammentreffen von zwei Wasserkörpern mit sehr unterschiedlichen physikalisch-chemischen Eigenschaften (u.a. pH-Wert, Salzgehalt).

Dabei kommt es zu Fällungs- und Sorptionsprozessen, die schon bei relativ niedrigen Salzgehalten (ca. 2‰) zur Sedimentation eines Großteils der im Flußwasser überwiegend partikulär vorliegenden Schwermetalle führen (BURTON et al., 1976, DUINKER et al., 1982).

Die durch Sedimentation aus dem Wasserkörper eliminierten Schwermetalle sind jedoch nicht grundsätzlich und auf Dauer dem Stoffkreislauf entzogen. Im Gegensatz zum offenen Ozean ist in den Küstengewässern wegen der mäßigen Wassertiefe eine Durchmischung der gesamten Wassersäule gegeben. Die häufige und intensive Wechselwirkung der Wasserphase mit den durch Ablagerung in den Bodensedimenten entstehenden Schwermetalldepots ist daher oft mit einer Remobilisierung von Schwermetallen verbunden.

Neue Erkenntnisse über die Schwermetallgehalte von Fischen der südlichen Nordsee wurden im Rahmen eines vom Bundesministerium für Forschung und Technologie geförderten interdisziplinären Projektes gewonnen. Seit Mitte 1984 beteiligt sich das Labor für Radioökologie der Gewässer an diesem Projekt, indem es die Bestimmung der Konzentrationen der Elemente Blei, Cadmium und Quecksilber in der Plattfischart Kliesche (*Limanda limanda*) von ausgewählten Stationen der südlichen Nordsee (südlich 56° 00'N) übernommen hat. Hauptzielrichtung der noch laufenden Untersuchungen ist die Erfassung geographischer Unterschiede des Schwermetallvorkommens und eventuell die Identifizierung von Belastungsschwerpunkten in einem verhältnismäßig großen Untersuchungsgebiet. Ein besonderes Interesse gilt küstenfernen Gebieten, speziell der Doggerbank, u.a. auch, weil nach Untersuchungen von DETHLEFSEN (1984) dieses Gebiet ein Schwerpunkt bestimmter Fischkrankheiten ist.

Eine solche Aufgabenstellung setzt zum einen die Wahl einer standorttreuen Fischart wie der Kliesche und zum anderen den Einsatz einer einheitlichen Probenahme-strategie voraus, um die Vergleichbarkeit der ermittelten Untersuchungsergebnisse zu gewährleisten.

Die bisher gewonnenen Untersuchungsergebnisse spiegeln sehr unterschiedliche, elementspezifische Ausbreitungs- und Verteilungsmuster wider. Die von CLAUBEN (1987) ausgewerteten Daten sind in Abbildung 1a bis 1c und Tabelle 3 wiedergegeben worden.

Für Quecksilber bestätigte sich das vielfach postulierte Bild (CARLSON, 1986), das durch eine graduelle Abnahme der Gehalte von den Küsten zur "Hohen See" gekennzeichnet ist.

Erhöhte Gehalte an der ostenglischen Küste bzw. in der Inneren Deutschen Bucht lassen den Quecksilbereintrag über Flüsse (u.a. Humber bzw. Elbe) als Hauptursache küstennaher Belastungsschwerpunkte erkennen.

In Übereinstimmung damit ergaben sich auch im Rahmen des "Joint Monitoring Programmes" Hinweise, daß im Falle des Quecksilbers einige Ästuar- und angrenzende Küstenzonen höher belastet sind, während Fische aus der "Hohen See" keine gegenüber der Grundbelastung erhöhten Quecksilbergehalte zeigen (JMG, 1985).

Die für die Elemente Cadmium und Blei ermittelten Daten lassen eine unerwartete strukturelle Vielfalt erkennen, wobei generell eine Zunahme der Konzentrationen in Richtung auf die "Hohe See" (mit einem Belastungsschwerpunkt auf der Doggerbank) beobachtet wird. Diese Befunde zwingen zu einer Revision der bisherigen Vorstellungen, die nur von regional begrenzten Belastungsschwerpunkten küstennaher Gebiete ausgehen.

Interessant und in diesem Zusammenhang erwähnenswert sind jüngste Untersuchungsergebnisse von zwei Arbeitsgruppen, die in anderen Kompartimenten gewisse Parallelen zu den oben dargestellten Befunden erkennen lassen:

Bei Seewasseruntersuchungen stellten KREMLING et al. (im Druck) auf einer Reise in die zentrale Nordsee in der horizontalen Verteilung zwischen den Wässern mit relativ niedrigem Salzgehalt ($S \sim 34$) und solchen aus der nördlichen zentralen Nordsee ($S > 35,0$) für Cadmium unerwartet geringe Konzentrationsunterschiede fest. Nach KREMLINGs Auffassung deutet das auf Prozesse, welche dem Verdünnungsvorgang (Verdünnung kontinentaler Süßwasserabläufe mit Atlantikwasser) entgegenwirken und eine weiträumige Verfrachtung (evtl. Remobilisierung) des Cadmiums begünstigen.

IRION und MÜLLER (im Druck) ermittelten in einer Studie über die Schwermetallgehalte in Oberflächensedimenten der Nordsee Belastungsschwerpunkte für Cadmium entlang den holländisch/deutschen/dänischen Küsten. Darüber hinaus stellten die genannten Autoren aber auch in einer Zone, die sich vom Humber in nordöstlicher Richtung bis in den zentralen Teil der Nordsee erstreckt, deutlich erhöhte Cadmiumgehalte fest.

Beim Blei ermittelten sie in den größten Teilen ihres Untersuchungsgebietes ein gegenüber der Grundbelastung (dem natürlichen, geochemisch bedingten Hintergrundwert) deutlich erhöhtes Niveau mit ungleichmäßig eingestreuten Regionen höherer und niedrigerer Bleigehalte.

Die Interpretation der eigenen bisher gewonnenen Ergebnisse ist selbst in Kenntnis der vorher zitierten neuen Arbeiten schwierig, weil Informationen, die zum Verständnis der komplexen biogeochemischen Prozesse in den untersuchten Gewässern beitragen, noch gesammelt werden müssen. Jedoch lassen sich einige Gesichtspunkte aufführen, die hilfreich bei späteren abschließenden Bewertungen sein können:

Während Einträge durch Flüsse regional ausgeprägte, küstennahe Schadstoffkonzentrationsverteilungen verursachen, können atmosphärische Einträge möglicherweise eine Anhebung der großflächigen Grundbelastung einzelner Schadstoffe bewirken und damit zu einem Ausgleich gradueller Unterschiede in der Belastungssituation zwischen küstennahen und küstenfernen Bereichen beitragen.

Wichtige Faktoren für die flächenhafte Ausbreitung von Schwermetallen in der Nordsee sind neben den regional vorherrschenden Strömungsverhältnissen vor allem physikalisch-chemische Verteilungsvorgänge.

Infolge sehr unterschiedlich ausgeprägter Tendenz der untersuchten Elemente, durch Schwebstoffe adsorbiert und nach deren Sedimentation aus der Wassersäule entfernt zu werden, ergeben sich offensichtlich sehr unterschiedliche, d.h. elementspezifische Möglichkeiten der durch Strömung und Vermischung bewirkten Konzentrationsverteilung biologisch verfügbarer Substanzmengen.

Zitierte Literatur

- BURTON, J.D.; LISS, P.S.: Estuarine Chemistry. London: Academic Press 1976.
- CARLSON, H.: Quality status of the North Sea. Dt.hydrogr.Z., Erg.-H. B 16: 424 pp., 1986.
- CLAUBEN, T.: Enhancement of knowledge on trace metal levels in flatfish (Dab, *Limanda limanda*) from the southern North Sea. Coun.Meet. ICES, Mar. Environ. Quality Comm., E 29, 1987.
- DETHLEFSEN, V.: Diseases in North Sea fishes. Helgoländer Meeresunters. 37: 353-374, 1984.
- DUINKER, J.C.; HILLEBRAND, M.T.J.; NOLTING, R.F.: The River Elbe: Processes affecting the behaviour of metals and organochlorines during estuarine mixing. Netherlands J. Sea Res. 15: 141-169, 1982.
- HARMS, U.: Possibilities of improving the determination of extremely low lead concentrations in marine fish by graphite furnace atomic absorptions spectrometry. Fresenius' Z.analyt. Chem. 322: 53-56, 1985.
- ICES: The ICES coordinated monitoring programme for contaminants in fish and shellfish, 1978 and 1979 and six-year review of ICES coordinated monitoring programme. International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen, Cooperative Res. Rep. (126), 1984.
- IRION, G.; MÜLLER, G.: Heavy metals in surficial sediments of the North Sea. Proc. Int. Conf. Heavy Metals in the Environment, New Orleans (im Druck).
- JENSEN, A.: Geographical trends in the concentrations of heavy metals in blue mussels from the German Bight to Hirtshals in 1983. Coun.Meet. ICES, Mar. Environ. Quality Comm., E 44, 1985.
- JMG: Assessment of the results of the Joint Monitoring Programme for 1983. Tenth meeting of the Joint Monitoring Group, Oslo, 1985. JMG 10/14/1, § 3.8., 1985.
- KREMLING, K.; WENCK, A.; POHL, C.: Summer distribution of Cd, Co, Cu, Mn and Ni in central North Sea waters. Dt.hydrogr.Z. (im Druck).
- LUCKAS, B.; HARMS, U.: Characteristic levels of chlorinated hydrocarbons and trace metals in fish from coastal waters of North and Baltic Sea. Int. J.environ. analyt. Chem. 29: 215-226, 1987.
- MART, L.; NÜRNBERG, H.W.; RÜTZEL, H.: Comparative studies on Cadmium levels in the North Sea, Norwegian Sea, Barents Sea and the Eastern Arctic Ocean. Fresenius' Z. analyt. Chem. 317: 201-209, 1984.
- MART, L.; NÜRNBERG, H.W.: Cd, Pb, Cu, Ni and Co distribution in the German Bight. Mar. Chem. 18: 197-213, 1986.
- SCHMIDT, D.; FREIMANN, P.; ZEHLE, H.: Changes in trace metal levels in the coastal zone of the German Bight. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer 186: 321-328, 1986.
- Übereinkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung durch das Einbringen durch Schiffe und Luftfahrzeuge. Oslo 1972. Bundesgesetzblatt II, S. 169, 1977.
- Übereinkommen zur Verhütung der Meeresverschmutzung vom Lande aus. Paris 1974. Bundesgesetzblatt II, S. 871, 1981.

U. Harms und T. Claußen
Labor für Radioökologie der Gewässer
Hamburg