

Atomabsorptionsmessungen von Blei, Cadmium, Kupfer, Eisen und Zink im Seston der Ostsee

H.-P. WEIGEL

*Biologische Anstalt Helgoland (Meeresstation);
Helgoland, Bundesrepublik Deutschland*

ABSTRACT: Atomic absorption measurements of lead, cadmium, copper, iron and zinc in seston of the Baltic Sea. During a cruise with R. V. "Alkor" from Kiel Bight to Finnish Bay, nearly 100 seston samples were taken during April/May 1973. Samples from the 23 stations were analyzed for lead, cadmium, copper, iron and zinc by flameless atomic absorption spectrometry. The mean values for lead and cadmium were 123 and 5.8 ppm, respectively; for zinc, 733 ppm, for copper, 61 ppm, and for iron, 3535 ppm. In contrast to trace-metal analyses of off shore seston, the concentrations for lead and cadmium in Baltic-Sea seston are very high; these results are in good agreement with analyses of the dissolved metals. The concentrations of zinc, copper and iron in the particulate matter from the Baltic-Sea, apart from some local influences, agree well with values published from the concentrations in off shore seston. The distribution and variation of the individual values are discussed. The method for analysing the metals and its precision are briefly described.

EINLEITUNG

Die elementare Zusammensetzung mariner Organismen beschäftigt schon lange Biologen und Chemiker (NODDACK & NODDACK, 1939; VINOGRADOV, 1953). Die Frage nach den am Aufbau der Organismen beteiligten Elementen, ihren Konzentrationsverhältnissen im Organismus und nach ihren metabolischen Funktionen stehen dabei im Vordergrund der Untersuchungen. Die meisten dieser Arbeiten bezogen sich jedoch auf die Hauptbestandteile des Meerwassers.

Nach den ersten spektakulären Vergiftungserscheinungen, hervorgerufen durch den Genuß von Quecksilber und Cadmium verseuchter Nahrung aus dem Meer (KOBAYASHI, 1969), schenkte man dem Problem der Anreicherung von Spurenmetallen mehr Bedeutung. Denn sobald Schadstoffe vom Organismus aufgenommen werden, haben die aus physikalischen Gesetzen abgeleiteten Berechnungen über ihre Ausbreitung und Verdünnung keine Berechtigung mehr. So publizierten MARTIN & KNAUER (1972), WINDOM (1972), PRESTON (1973) und andere Autoren umfangreiche Studien über den Gehalt von Spurenmetallen in der partikulären Substanz. Für den Ostseeraum muß jedoch festgestellt werden, daß entsprechend analytische Anstrengungen bisher kaum unternommen wurden. Daten über die Metallkonzentration im Wasser veröffentlichten bisher nur KOROLEFF (1968), SEN GUPTA (1972), KREMLING (1973) sowie BRÜG-

MANN (1974), und über die Anreicherung der Metalle im Seston liegen bisher gar keine Ergebnisse vor.

Die versäumten Untersuchungen erscheinen um so schwerwiegender, da die Ostsee als fast abgeschlossenes Randmeer ähnlichen Belastungen ausgesetzt zu sein scheint wie die offene Nordsee. Zwar empfängt die Ostsee kleinere Mengen an Abfallstoffen, jedoch ist bei ihr die Wassererneuerung wesentlich geringer und damit die Gefahr einer Verschmutzung genau so groß.

Die vorliegende Arbeit ist ein erster Bericht über die Verteilung einiger Spurenmetalle im Seston. Sie enthält Ergebnisse der Blei-, Kupfer-, Cadmium-, Eisen- und Zinkkonzentrationen während einer Ostseefahrt mit dem F. K. „Alkor“ im April/Mai 1973.

METHODEN

Probennahme

Auf 23 Stationen (Abb. 1) wurden ca. 100 Proben mit einem 2-Liter-Nansenschöpfer genommen. Da Rostpartikel des Winschdrahtes sowie Teile der Außenbordfarbe des Schiffes eine Kontamination und damit eine Verfälschung der Analyseergebnisse hervorrufen können, wurde auf die Entnahme einer Oberflächenprobe verzichtet.

Nr.98

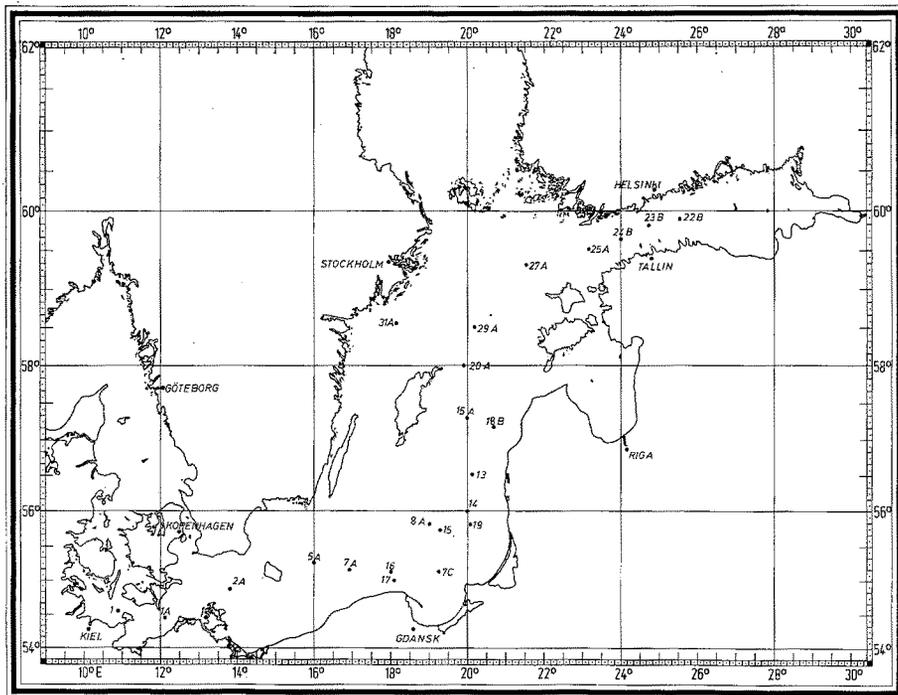


Abb. 1: Untersuchte Stationen in der Ostsee

500 ml Probenwasser wurden durch ein 300- μ -Netz vorfiltriert, um in der Probe vorhandene größere Zooplankter auszusondern. Als Filtriergestell für den eigentlichen Filtrationsvorgang diente ein Schleicher- und Schüll-Glasfiltrationsgestell, das in MIBK/APCD gereinigt worden war.

Das Probenwasser wurde bei Unterdruck über ausgewogene Nuclepore-Filter (General Electric, USA) mit einem Durchmesser von 47 mm und einer Porenweite von 0,4 μ filtriert. Die Filter wurden nach Beendigung des Filtrationsprozesses 2mal mit Austauschwasser nachgespült (BRÖCKEL, 1973), in gesäuberte Glasgefäße überführt und bis zur Analyse tiefgefroren aufbewahrt.

Analytische Verfahren

Die partikuläre Substanz wird heute ausschließlich durch einen naßchemischen Aufschluß zerstört (MARTIN & KNAUER 1972; WINDOM, 1972; NIX & GODWIN, 1970). Die Nachteile dieser Methodik sind deutlich: (a) durch die Analyse mittels Flammenatomabsorption werden auf Grund der niederen Nachweisgrenzen größere Probenmengen erforderlich; (b) durch das Veraschen mit den notwendigen Chemikalien werden weitere Mengen des zu analysierenden Elementes in die Probe eingeschleppt;

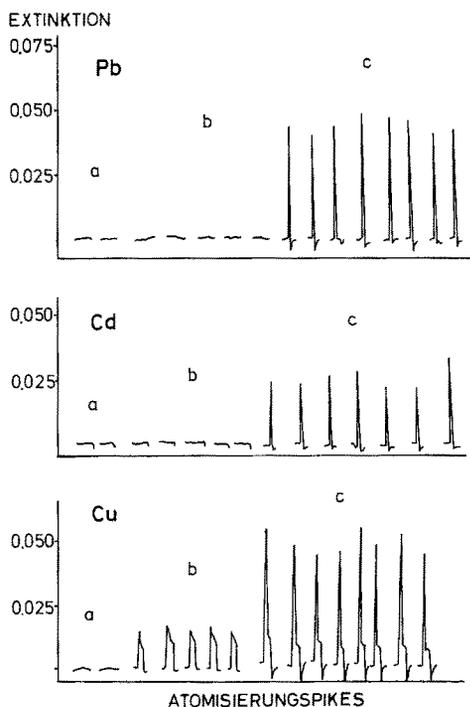


Abb. 2: Vergleich der Atomisierungspikes für die Schwermetalle in destilliertem Chloroform (a), in fünf verschiedenen Nuclepor-Filtern (b), und in einer Sestonprobe (c), die mehrmals nacheinander analysiert wurde

(c) durch die Anwesenheit der Säuren werden die Atomisierungssignale bis zu 30 % unterdrückt; (d) es kann ein von GORUSCH (1959) festgestellter Verlust an Spurenmetallen auftreten.

Dieser Methodik liegt daher auch ein hoher Blindwert zugrunde; es ist notwendig, viel Probenwasser zu filtrieren, oder die Proben müssen mit Netzfängen genommen werden, wobei jedoch keine genauen Aussagen über die vertikale Verteilung der Metallkonzentration in der partikulären Substanz gemacht werden können.

Sowohl der große Zeitaufwand bei der Filtration des Probenwassers als auch der während des Veraschungsprozesses wirkt sich als weiterer Nachteil aus. Aus diesem Grunde wurde eine Methode entwickelt, die gewährleistet, daß die Probenvorbereitung nur wenig Zeit in Anspruch nimmt und die auch die Analyse kleinerer Probenmengen erlaubt.

Ein Perkin-Elmer-Modell-403-Atomabsorptionsspektrometer wurde zur Analyse benutzt. Da die Temperatur der Atomisierungszelle stufenlos regulierbar ist, wurde der Aufschluß der partikulären Substanz in der Zelle direkt durchgeführt.

Als Filter wurden Nuclepore-Filter verwendet, sowohl wegen ihres geringen Metallgehaltes (Abb. 2) und da sie frei von Auswascheffekten sind.

Ein weiterer Vorteil dieser Filter ist ihre gute Löslichkeit in Chloroform, das durch einmalige Destillation schnell von Metallen gereinigt werden kann (Abb. 2).

500–1000 ml Probenwasser wurden filtriert und Filter und Seston über Nacht bei 70° C getrocknet. Die Filter wurden in Quarzkolben überführt, 10 ml Chloroform hinzugefügt, die Probe zum Homogenisieren 30 sec einem Ultraschallbad ausgesetzt und die Suspension in die Küvette des Spektrometers injiziert und dort verascht. Zur Berechnung des Metallgehaltes in den Proben wurde der interne Standard benutzt. Die Präzision der gesamten Methode liegt für die hier analysierten Metalle zwischen 7 und 15 %. Ausführlich ist diese Methode von WEIGEL & KREMLING (1975) beschrieben worden.

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Die Einzelergebnisse einiger Stationen sind in Tabelle 1 wiedergegeben. Auf Grund der relativ kleinräumigen Heterogenität konnten bei allen fünf Spurenmetallen keine großräumigen Gliederungen in der Konzentration im Seston unterschieden werden. Bemerkenswert ist diese Tatsache, da die dem Landeinfluß stärker ausgesetzten Areale keine wesentlich höhere Konzentration aufweisen als die zentrale Ostsee. Für die Metalle Blei und Cadmium ist ihre Verteilung auf dem Längsschnitt in Abbildung 3 wiedergegeben.

Blei

Die mittlere Konzentration des partikulär gebundenen Bleis beträgt 123 ppm (Tab. 2). Demgegenüber stehen Werte von MARTIN & KNAUER (1972) aus der Montary Bay mit 1,22 ppm für Misch- bzw. 29,4 ppm für Mikroplankton. WINDOM (1972) analysierte Konzentrationen von 32 ppm für das Phytoplankton vor der Südostküste

Tabelle 1

Metallkonzentrationen im Seston der Ostsee (in ppm) auf sieben ausgewählten Stationen

Station	Tiefe (m)	Pb	Cu	Cd	Fe	Zn
54°36' N	5	302	80	1,8	9026	948
11°09' E	10	186	62	8,5	5094	214
1	20	71	23	3,0	2792	217
	25	60	35	6,2	4068	450
55°00' N	5	80	151	7,3	7582	844
14°05' E	10	194	89	1,7	3187	4758
2A	20	359	97	4,9	6865	3150
	40	20	22	5,5	3655	908
55°15' N	5	139	53	7,7	1295	165
17°04' E	10	157	37	3,4	3197	282
7A	20	53	70	11,0	5579	344
	40	35	25	2,9	4058	214
	50	—	—	2,2	—	—
	60	109	61	2,1	1205	194
	90	115	37	5,8	2225	115
57°20' N	5	34	12	1,7	429	183
20°03' E	20	25	17	1,4	2970	697
15A	50	46	10	0,7	8086	447
	100	45	10	1,4	1938	411
	125	65	16	1,4	432	177
	150	6,5	0	0,4	1329	306
	175	6,1	9	0,3	748	115
	200	17	76	0,9	1055	80
	225	14	2	0,5	165	47
	230	40	39	0,9	1165	325
58°00' N	5	128	27	6,8	1709	1928
19°54' E	10	67	74	12,8	1116	1800
20A	20	106	224	28,1	3766	20845
	35	84	72	4,7	1396	787
	50	35	72	4,3	2998	1060
	75	49	172	4,1	4134	823
	100	53	25	5,2	405	843
	125	82	156	15,3	5470	1812
	150	0	142	4,0	5479	1059
	170	156	136	8,0	557	986
58°53' N	5	334	52	10,4	4630	478
20°19' E	10	313	354	7,0	11272	80
29A	25	351	51	7,3	2392	272
	50	149	38	4,5	7086	166
	100	44	14	2,8	2176	81
	125	216	19	7,7	6166	80
	150	395	0,0	17,6	10481	295
	160	0,0	17	5,6	2673	188
58°35' N	5	152	29	13,5	1310	2365
18°14' E	10	219	32	1,4	1917	1536
31A	25	488	55	18,2	3058	5941
	50	132	10	7,9	531	80
	75	527	10	0,0	5990	471
	100	960	408	8,4	1210	2250
	125	315	64	17,5	—	3550
	150	200	140	14,0	—	2432
	200	100	28	5,4	1399	184
	295	96	69	6,7	905	665
	395	405	23	4,4	—	1104
	425	298	81	16,8	2231	1557

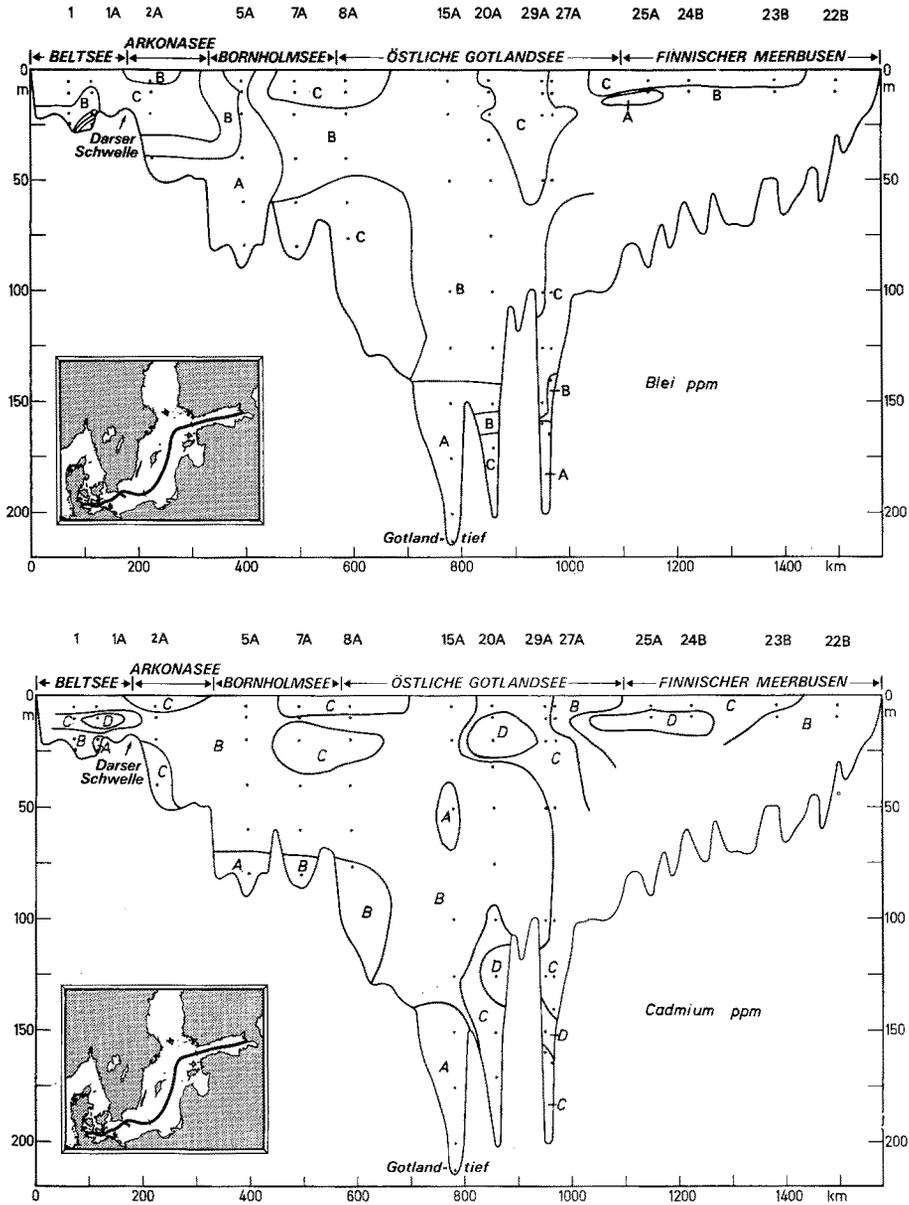


Abb. 3: Längsschnitte in der Pb- und Cd-Konzentration in der partikulären Substanz der Ostsee. (Konzentrationsbereiche Pb: A = 0-30 ppm, B = 30-100 ppm, C = > 100 ppm; Cd: A = 0-1 ppm, B = 1-5 ppm, C = 5-10 ppm, D = > 10 ppm)

der USA und in der gleichen Größenordnung liegen die von FORSTER et al. (1972) publizierten Daten mit 44,4 ppm. Die Proben stammen aus der Karibischen See, setzen sich jedoch hauptsächlich aus Zooplankton zusammen.

Tabelle 2

Mittlere Spurenmetallkonzentration im Seston der Ostsee

Metall	Probenzahl	Mittelwert (ppm)	Relative Standardabweichung (%)	Bereich (ppm)
Pb	99	123	± 102	0-527
Cu	100	61	± 110	0-354
Cd	99	5,8	± 92	0-28,1
Zn	93	733	± 139	28-4758
Fe	vgl. Tab. 3			

Auch ohne Berücksichtigung der extrem niederen Konzentration von 1,22 ppm, die MARTIN & KNAUER veröffentlichten, weist die Bleikonzentration der partikulären Substanz der Ostsee stark überhöhte Werte auf. Diese Differenz läßt sich durch die verschiedenen Meßmethoden der zitierten Arbeiten nicht erklären. Ebenso gibt der Streuungsbereich der Einzelergebnisse keinen Aufschluß über die Ursache der Abweichung.

Unter Berücksichtigung der Bleikonzentration des Ostseewassers ergibt sich jedoch ein einheitliches Bild. KREMLING (1973) analysierte die Konzentration des gelösten Bleis mit 1,1 µg/l, BRÜGMANN (1974) mit 0,65 µg/l, und SEN GUPTA (1972) gibt einen Bereich zwischen 0 und 5,6 µg/kg an. Diese Ergebnisse weisen auf stark überhöhte Konzentrationen im Ostseewasser hin, da Wasseranalysen des freien Ozeans wesentlich geringere Werte ergaben (RILEY & CHESTER, 1971; TATSUMOTO & PATTERSON, 1963; SCHAULE, 1974).

Eine Metalleanreicherung ist unter anderem von den Konzentrationsverhältnissen im Wasser abhängig (GARDINER, 1974). Daher ist die hohe Bleikonzentration im Seston Folge der hohen Bleikonzentration des Ostseewassers.

Diese Aussage über eine Bleianreicherung in der Ostsee werden durch Untersuchungen von ERLenkÄUSER et al. (1974) unterstützt, die in den oberen 20 cm des Sedimentes der Kieler Bucht zur Oberfläche hin ansteigende Bleikonzentrationen nachweisen konnten.

Cadmium

Überhöhte Werte lassen auch die Analysen der Cadmiumkonzentration in der partikulären Substanz erkennen. Die mittlere Konzentration von 5,8 ppm (Tab. 2) ist im Vergleich zu den von MARTIN & KNAUER (1972) und WINDOM (1972) publizierten Daten höher. Der um den Faktor 2 erhöhte Wert für die Ostsee spiegelt sich auch in den Konzentrationen des gelösten Cadmiums wider, denn BRÜGMANN (1974) und KREMLING (1973) geben fast übereinstimmend eine Konzentration von 0,2 µg/l an, während RILEY und CHESTER (1971) sowie CHESTER & STONER (1974) geringere Konzentrationen für den Ozean publizierten. Für eine Kontamination der Ostsee durch Cadmium sprechen weiterhin die Ergebnisse von ERLenkÄUSER et al. (1974), die paral-

lel zu Blei in den Sedimenten der Kieler Bucht ebenfalls erhöhte Cadmiumkonzentrationen ermittelten.

Die Vermutung, die erhöhten Konzentrationen durch eine Kontamination der Proben bei der Probennahme, Aufbewahrung sowie Vorbereitung zur Analyse erklären zu wollen, scheidet aus. Die überhöhten Konzentrationen im Wasser lassen eindeutig die Ursachen überhöhter Metallkonzentrationen im Seston erkennen.

Zink

Die scheinbar erhöhten Zinkkonzentrationen in der partikulären Substanz (Tab. 2) können mit erhöhten Zinkkonzentrationen des Ostseewassers nicht erklärt werden. Die von SEN GUPTA (1972) und KREMLING (1973) publizierte Werte stehen in guter Übereinstimmung mit denen von RILEY & CHESTER (1971), ZIRINO & HEALY (1970), RILEY & TAYLER (1972).

Der hier analysierte Mittelwert von 733 ppm liegt, verglichen mit Daten von 10,9 ppm (MARTIN & KNAUER, 1972), 207 ppm (WINDOM, 1972 und ROBERTSON et al., 1972) höher. Werden jedoch hier die Mittelwerte der einzelnen Stationen differenziert betrachtet, wird ersichtlich, wie stark diese untereinander variieren. Der Mittelwert für die Stationen 2A, 7C, 20A und 31A beträgt 1576 ppm, der der andern hingegen nur 299 ppm. Dieser steht jedoch in guter Übereinstimmung mit den zitierten Arbeiten. MARTIN & KNAUER (1972) geben jedoch auch für Mikroplankton eine Konzentration von 1510 ppm an, die mit der der vier genannten Stationen identisch ist. Diese Ergebnisse deuten auf starke lokale Einflüsse hin. Die Zinkkonzentration der partikulären Substanz kann aber dennoch als natürliche für die Ostsee angesehen werden.

Kupfer

Die Konzentration des partikulär gebundenen Kupfers beträgt 61 ppm (Tab. 2). Unter Berücksichtigung der Streuung, die auch andere Autoren publizierten (MARTIN & KNAUER, 1972; WINDOM, 1972; FORSTER et al., 1972), müssen diese Konzentrationen als natürliche der partikulären Substanz der Ostsee angesehen werden. Die Analysen des gelösten Kupfers bestätigen diese Aussage (RILEY & CHESTER, 1971; RILEY & TAYLER, 1972; SEN GUPTA, 1972; KREMLING, 1973).

Eisen

Im Gegensatz zu den bisher diskutierten Metallen konnte ein signifikanter Unterschied in der Konzentration des partikulär gebundenen Eisens in der salzarmen Deckschicht der Ostsee und im Tiefenwasser ermittelt werden. Die mittlere Konzentration in der Deckschicht beträgt 4471 ppm, die des Tiefenwassers 2951 ppm. Erheblichen Einfluß auf die hohen Konzentrationen der Deckschicht haben die Stationen im Finnischen Meerbusen, die für sich eine Konzentration von 10 000 ppm aufweisen (Tab. 3).

Tabelle 3

Mittlere Fe-Konzentration in verschiedenen Arealen der Ostsee
(s = relative Standardabweichung, N = Probenzahl)

ppm	s (%)	N	Areale
3616	± 151	52	Deckschicht ohne Finnischen Meerbusen
4471	± 123	60	Deckschicht mit Finnischen Meerbusen
10026	± 53	8	Finnischer Meerbusen
2951	± 118	36	Tiefenwasser

Derartige Unterschiede konnten auch von GUSTAVSSON (persönliche Mitteilung) nachgewiesen werden und scheinen durch die Süßwasserzufuhr der Newa bedingt. Ohne Berücksichtigung dieser Konzentration reduziert sich diese in der Deckschicht auf 3616 ppm (Tab. 3). Ein Vergleich der Mittelwerte in der Deckschicht ohne den Finnischen Meerbusen und im Tiefenwasser ergibt einen signifikanten Unterschied. Aber auf Grund der Genauigkeit der Analyse, die für Eisen 12 % beträgt, dürfen die beiden Konzentrationen als nicht voneinander unterschieden angesehen werden. Die mittlere Konzentration des partikulär gebundenen Eisens beträgt daher 3535 ppm. Ein Vergleich mit bisher publizierten Daten (MARTIN & KNAUER, 1972; ROBERTSON et al., 1972; FORSTER et al., 1972) läßt die Daten dennoch überhöht erscheinen. Die Vermutung, diesen Effekt als Verunreinigung der Ostsee zu interpretieren, kann auf Grund der guten Übereinstimmung der Wasseranalysen der Ostsee und des Ozeans (KOROLEFF, 1968; MENZEL & SPAETH, 1962; RILEY & CHESTER, 1971) nicht aufrecht erhalten werden. Zum einen liegt Eisen neben dem in der partikulären Substanz angereicherten kolloidal als Eisenhydroxid bzw. Eisenphosphat vor (KOROLEFF, 1968). Diese Kolloide werden gleichzeitig mit der partikulären Substanz auf den Filtern angereichert und beeinflussen somit die Analyse der Eisenkonzentration der partikulären Substanz. Der hohe Süßwasserzufluß der Ostsee verstärkt diesen Einfluß. Hierin liegt auch die Ursache der erhöhten Eisenkonzentrationen im Seston, so daß die Ostseedaten keine Differenzen zu den zitierten Arbeiten aufweisen.

ZUSAMMENFASSUNG

1. Auf einer Forschungsfahrt in die Ostsee im April/Mai 1973 wurden 100 Sestonproben entnommen und auf ihren Gehalt an Blei, Cadmium, Zink, Kupfer und Eisen mit Hilfe der flammenlosen Atom-Absorptions-Spektrometrie analysiert.
2. Die mittlere Konzentration im Seston der Ostsee beträgt für Blei 123 ppm, für Cadmium 5,8 ppm, für Zink 300 ppm, für Kupfer 61 ppm und für Eisen 3535 ppm.
3. Im Vergleich zu Metallanalysen ozeanischen Sestons müssen die Blei- und Cadmiumkonzentrationen als stark überhöht angesehen werden.
4. Die Konzentrationen des partikulär gebundenen Eisens, Zinks und Kupfers können bis auf lokal stark erhöhte Eisen- und Zinkkonzentrationen als natürlich angesehen werden.
5. Arbeitsweise und Meßgenauigkeit der Metallanalytik werden beschrieben.

Danksagung. Der Autor dankt Herrn Dr. K. KREMLING für die Bereitstellung eines Atomabsorptionsspektrometers für die Zeit der Analysen.

ZITIERTE LITERATUR

- BRÖCKEL, K. von, 1973. Eine Methode zur Bestimmung des Kaloriengehaltes von Seston. Kieler Meeresforsch. **29**, 34–49.
- BRÜGMANN, L., 1974. Die Bestimmung von Spurenelementen im Meerwasser unter Verwendung einer stationären Quecksilberelektrode. Acta hydrochim. hydrobiol. **2**, 123–138.
- CHESTER, R. & STONER, J. H., 1974. The distribution of zinc, nickel, manganese, cadmium, cobalt and iron in some surface waters from the world. Mar. Chem. **2**, 17–32.
- ERLENKÄUSER, H., SUESS, E. & WILLKOMM, H., 1974. Industrialization affects heavy metal and carbon isotope concentrations in recent Baltic Sea sediments. Geochim. Cosmochim. Acta **38**, 823–842.
- FORSTER, W. O., WOOD, E. D. & PADOVANI, F., 1972. A study program to identify problems related to oceanic environmental quality in the Caribbean. Baseline studies of pollutants in the marine environments. Workshop at Brookhaven, Nat. Lab., 275–324.
- GARDINER, J., 1974. The chemistry of cadmium in natural waters-II. The adsorption of cadmium on river muds and naturally occurring solids. Wat. Res. **8**, 157–164.
- GORUSCH, T. T., 1959. Radiochemical investigations on the recovery for analysis of trace elements in organic and biological materials. Analyt. Chem. **84**, 135–173.
- KOBAYASHI, L., 1969. Relation between Itai-Itai disease and the pollution of river water by cadmium from a mine. Advances in Water Pollution Research. Pergamon Pr., Oxford (1) I 25, 1–7.
- KOROLEFF, F., 1968. A note on the iron content of Baltic waters. Annual meeting of the International Council for Exploration of the Sea (= C.M. – I.C.E.S.) **34**.
- KREMLING, K., 1973. Voltametrische Messungen über die Verteilung von Zink, Cadmium, Blei und Kupfer in der Ostsee. Kieler Meeresforsch. **29**, 77–84.
- MARTIN, J. H. & KNAUER, G. A., 1972. A comparison of inshore vs. offshore levels of 21 trace and major elements in marine plankton. Baseline studies of pollutants in the marine environments, Workshop at Brookhaven, Nat. Lab., 35–66.
- MENZEL, D. H. & SPAETH, J. P., 1962. Occurrence of iron in the Sargasso Sea off Bermuda. Limnol. Oceanogr. **7**, 155–158.
- NIX, J. & GOODWIN, T., 1970. The simultaneous extraction of iron, manganese, copper, cobalt, nickel, chromium, lead and zinc from natural water for determination by Atomic Absorption Spectroscopy. Art. Absorp. Newsl. **9**, 119–122.
- NODDACK, I. & NODDACK, W., 1939. Die Häufigkeiten der Schwermetalle in Meerestieren. Ark. Zool. **32A**, 1–35.
- PRESTON, A., 1973. Cadmium in the marine environment of the United Kingdom. Mar. Poll. Bull. **4**, 105–107.
- RILEY, J. P. & CHESTER, R., 1971. Introduction to marine chemistry. Acad. Pr., London, 465 pp.
- & TAYLER, D., 1972. The concentrations of cadmium, copper, iron, manganese, molybdenum, nickel, vanadium and zinc in part of the tropical north-east Atlantic Ocean. Deep-Sea Res. **19**, 307–317.
- ROBERTSON, D. E., 1968. Role of contamination in trace elements analysis of sea water. Analyt. Chem. **40**, 1067–1072.
- RANCITELLI, L. A., LANGFORD, J. C. & PERKINS, R. W., 1972. Batelle-Northwest contribution to the IDEO Baseline Studies of pollutants in the marine environments, Workshop at Brookhaven, Nat. Lab., 231–274.
- SCHAULE, B., 1974. Massenspektrometrische Konzentrationsbestimmungen von Blei in Meerwasser. Diplomarbeit, Universität Heidelberg, 68 pp.
- SEN GUPTA, R., 1972. On some trace metals in the Baltic. Ambio **1**, 226–230.

- TATSUMOTO, M. T. & PATTERSON, C. C., 1963. Concentration of common lead in some Atlantic and Mediterranean water and in snow. *Nature, Lond.* **199**, 350-352.
- VINOGRADOV, A. P., 1953. The elementary chemical composition of marine organisms. *Mem. Sears Fdn. mar. Res.* **2**, 1-647.
- WEIGEL, H. P. & KREMLING, K., 1975. A new method for the determination of trace metals in seston by flameless atomic absorption spectrometry. Annual meeting of the International Council for the Exploration of the Sea (= C.M. - I.C.E.S.) **E 39**.
- WINDOM, H. L., 1972. Arsenic, cadmium, copper, lead, mercury and zinc in marine biota-North Atlantic Ocean. Baseline studies of pollutants in the marine environments. Workshop at Brookhaven, Nat. Lab. 121-148.
- ZIRINO, A. & HEALY, M. L., 1970. Voltametric measurements of zinc in the north-eastern tropical Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.* **16**, 773-778.

Anschrift des Autors: Dr. H.-P. WEIGEL
Biologische Anstalt Helgoland (Meeresstation)
D-2192 Helgoland
Bundesrepublik Deutschland