

Wechselbeziehungen zwischen Spurenmetallkonzentrationen (Cd, Cu, Pb, Zn) im Meerwasser und in Zooplanktonorganismen (Copepoda) der Arktis und des Atlantiks

Correlations between trace metal concentrations (Cd, Cu, Pb, Zn) in seawater and zooplankton organisms (Copepoda) of the Arctic and Atlantic Ocean

Christa Pohl

**Ber. Polarforsch. 101 (1992)
ISSN 0176 - 5027**

Christa Pohl

Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
Columbusstraße; D-2850 Bremerhaven; Bundesrepublik Deutschland

Die vorliegende Arbeit ist die inhaltlich unveränderte Fassung einer Dissertation, die 1991 am Fachbereich Biologie/Chemie der Universität Bremen angefertigt wurde.

DANKSAGUNG

Herrn Dr. habil. M. Schulz - Baldes danke ich für die Vergabe des Themas dieser Dissertation, seine stets freundliche Gesprächsbereitschaft und die Begutachtung der Arbeit. Herrn Prof. Dr. W. Ernst möchte ich für die sehr guten Arbeitsbedingungen danken.

Herrn Prof. Dr. W. Balzer danke ich recht herzlich für die Begutachtung der Arbeit.

Mit Dr. G. Kattner und seiner Arbeitsgruppe entwickelte sich im Laufe mehrerer Expeditionen eine freundschaftliche und fruchtbare Zusammenarbeit, und so manches Transportproblem auf dem Schiff wurde gemeinsam gelöst. Dafür und für die Überlassung der Nährstoffdaten bedanke ich mich.

Unterstützung während der Forschungsfahrten erhielt ich außerdem von Dr. G. Budeus und Dr. H. - J. Hirche, bei Ihnen möchte ich mich recht herzlich für die hydrographischen Meßdaten sowie die Datensätze des Parameters Chlorophyll a aus der Arktis bedanken.

Weiterhin bedanke ich mich bei der Besatzung von "PFS POLARSTERN". Die stets freundliche und kollegiale Zusammenarbeit an Bord und die Hilfe bei technischen Notlagen mit dem Schnorchelrohr haben maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Mein besonderer Dank gilt Kerstin Pfeifer für die Unterstützung und Sorgfalt bei den zahlreichen spurenanalytischen Arbeiten und der Anfertigung der Graphiken.

Meinem ehemaligen Kieler Lehrmeister Herrn Dr. K. Kremling gilt mein ganz besonderer Dank für die kritische Durchsicht des Manuskriptes, Anregungen und Diskussionen. Mit Hilfe seiner Pionierarbeit lernte ich den Umgang von Probenahmetechniken unter Schiffsbedingungen sowie die spurenanalytischen Arbeitsmethoden im Clean Lab.

INHALTSVERZEICHNIS	SEITE
KURZFASSUNG	VII
ABSTRACT	X
ABKÜRZUNGEN	XIII
1. EINLEITUNG	1
1.1. KENNTNISSTAND	1
1.1.1 Charakteristische Verteilung von Metallen in der Vertikalen	3
1.2. FRAGESTELLUNG	5
1.3. SYSTEMATIK UND BIOLOGIE ARKTISCHER UND TROPISCHER COPEPODEN	7
1.3.1 Arktische Copepoden	8
1.3.2 Tropische Copepoden	10
2. DIE UNTERSUCHUNGSGBIETE	10
2.1. ARKTIS	10
2.1.1 Die großräumigen Zirkulationen, die Hydrographie der Grönlandsee und der Framstraße	10
2.1.2 Kleinräumige und mesoskalige Prozesse in der oberen Wasserschicht	13
2.1.3 Die Eisbedeckung und ihre Einflüsse	13
2.2. OSTATLANTIK	14
2.2.1 Zirkulation und Hydrographie des Atlantiks	14
2.2.2 Der Guineadom und der Angoladom im ostatlantischen Stromsystem	16
2.2.3 Charakterisierung der Wassermassen	17
3. MATERIAL UND METHODEN	19
3.1. PROBENNAHMEMETHODEN	19
3.1.1 Ort und Zeitraum der durchgeführten Untersuchungen	19
3.1.2 Probennahmemethoden während ARK VI/3+4 und ARK VII/2	19
3.1.2.1 Arktisches Oberflächenwasser	21
3.1.2.2 Arktisches Tiefenwasser	22
3.1.2.3 Schnee- und Schmelzwasserproben	22
3.1.2.4 Arktische Copepoden	23
3.1.3 Probennahmemethoden während ANT VII/5 und ANT VIII/7	23
3.1.3.1 Atlantisches Oberflächenwasser	25
3.1.3.2 Atlantisches Tiefenwasser	25
3.1.3.3 Atlantische Copepoden der Oberfläche	26
3.1.3.4 Atlantische Copepoden aus der Tiefe	26

3.2.	ANALYTISCHE METHODEN	28
3.2.1.	Bestimmung von gelösten Spurenmetallen im Meerwasser	28
3.2.1.1.	Reinigung von Probengefäßen und Reagenzien	29
3.2.1.2.	Anreicherung und Messung der Metalle im Meerwasser	30
3.2.1.3.	Absicherung der analytischen Methode	31
3.2.2.	Aufschluß und Messung der Metalle in Zooplanktonorganismen	32
3.2.2.1.	Absicherung der Aufschluß- und Meßmethode	34
3.2.3.	Die Bestimmung des Salzgehaltes	35
3.2.4.	Die Bestimmung des Sauerstoffgehaltes	35
3.2.5.	Die Bestimmung der Nährstoffe	35
3.2.6.	Die Bestimmung von Chlorophyll a	35
4.	ERGEBNISSE DER HYDROGRAPHISCHEN UND NÄHRSTOFFCHEMISCHEN UNTERSUCHUNGEN	36
4.1.	DIE HYDROGRAPHISCHEN BEDINGUNGEN IN DER ARKTIS WÄHREND ARK VI/3 - 4, 1989 UND ARK VII/2, 1990	36
4.1.1.	Eisverhältnisse	36
4.1.2.	Salzgehalt- und Temperaturverteilung in der Arktis im Vergleich der Jahre 1989 und 1990	36
4.2.	Die HYDROGRAPHISCHEN BEDINGUNGEN IM OSTATLANTIK WÄHREND ANT VII/5, 1989 und ANT VIII/7, 1990	45
4.2.1.	Salzgehalts-, Temperatur-, und Sauerstoffverteilung im Ostatlantik im Vergleich der Jahre 1989 und 1990	45
4.3.	DIE NÄHRSTOFF- UND CHLOROPHYLL a- VERTEILUNG IN DER ARKTIS IM VERGLEICH DER JAHRE 1989 UND 1990	51
4.3.1.	Horizontale Nährstoff- und Chlorophyll a- Verteilung in der Arktis	51
4.3.2.	Vertikale Nährstoff- und Chlorophyll a- Verteilung in der Arktis	57
4.4.	DIE NÄHRSTOFF- UND CHLOROPHYLL a- VERTEILUNG IM OSTATLANTIK IM VERGLEICH DER JAHRE 1989 UND 1990	67
4.4.1.	Horizontale Nährstoffverteilung im Ostatlantik	67
4.4.2.	Vertikale Nährstoffverteilung im Ostatlantik	70
4.5.	Zusammenfassung der Nährstoffsituation	74
5.	ERGEBNISSE DER SPURENMETALLANALYTISCHEN UNTERSUCHUNGEN	75
5.1.	CADMIUM	75
5.1.1.	Cadmiumdynamik in der gelösten Phase	75

5.1.1.1.	Die horizontale Cadmiumverteilung in der Arktis im Vergleich der Jahre 1989 und 1990	75
5.1.1.2.	Cadmium in den verschiedenen Wassermassen der Arktis	77
5.1.1.3.	Cadmium in Schnee- und Schmelzwasserproben der Arktis	78
5.1.1.4.	Der Einfluß der Nährstoffe auf die Cadmiumverteilung in der Arktis	79
5.1.1.5.	Vertikale Cadmiumverteilung der Arktis unter Berücksichtigung der Nährstoffe	85
5.1.2.	Cadmiumkonzentrationen in arktischen Copepoden	95
5.1.2.1.	Zusammenhänge zwischen gelöstem Cadmium und den Cadmiumkonzentrationen in arktischen Copepoden	97
5.1.2.2.	Beziehungen zwischen den Cadmiumkonzentrationen in arktischen Copepoden und Chlorophyll a	99
5.1.2.3.	Vergleich zwischen der theoretischen Cadmiumaufnahme und den Cadmiumkonzentrationen in Copepoden	101
5.1.3.	Cadmiumverteilung im Oberflächenwasser des Ostatlantiks	103
5.1.3.1.	Der Einfluß der Nährstoffsituation auf die Cadmiumverteilung im Oberflächenwasser des Ostatlantiks	105
5.1.3.2.	Vertikale Cadmiumverteilung im Wasser unter Berücksichtigung der Nährstoffparameter Nitrat und Phosphat	108
5.1.4.	Cadmiumkonzentrationen in atlantischen Pontelliden aus der Oberfläche	114
5.1.4.1.	Cadmiumkonzentrationen in Copepoden an ausgewählten Tiefenstationen	116
5.2.	BLEI	119
5.2.1.	Bleiverteilung im Oberflächenwasser der Arktis im Vergleich der Jahre 1989 und 1990	119
5.2.2.	Bleikonzentrationen in Schnee- und Schmelzwasserproben der Arktis	121
5.2.3.	Bleikonzentrationen in arktischen Copepoden	123
5.2.3.1.	Der Einfluß der Bleikonzentrationen im Wasser auf die Bleikonzentrationen in arktischen Copepoden	125
5.2.4.	Bleiverteilung im Oberflächenwasser des Ostatlantiks	127
5.2.4.1.	Vertikale Bleiverteilung im Wasser an ausgewählten Tiefenstationen	128
5.2.5.	Bleikonzentrationen in atlantischen Pontelliden aus der Oberfläche	132
5.2.5.1.	Bleikonzentrationen in Copepoden an ausgewählten Tiefenstationen	133
5.3.	KUPFER	135
5.3.1.	Kupferverteilung im Oberflächenwasser der Arktis im Vergleich der Jahre 1989 und 1990	135
5.3.2.	Kupferkonzentrationen in Schnee- und Schmelzwasserproben der Arktis	137
5.3.3.	Der Einfluß der Chlorophyll a- Konzentrationen auf die Kupferverteilung im Oberflächenwasser	138
5.3.4.	Kupferkonzentrationen in arktischen Copepoden	139

5.3.4.1.	Der Einfluß der Kupferkonzentrationen im Wasser auf die Kupferkonzentrationen in arktischen Copepoden	140
5.3.5.	Kupferverteilung im Oberflächenwasser des Ostatlantiks	143
5.3.5.1.	Vertikale Kupferverteilung im Wasser an ausgewählten Tiefenstationen	144
5.3.6.	Kupferkonzentrationen in atlantischen Pontelliden aus der Oberfläche	146
5.3.6.1.	Kupferkonzentrationen in Copepoden an ausgewählten Tiefenstationen	147
5.4.	ZINK	149
5.4.1.	Zinkverteilung im Oberflächenwasser der Arktis im Vergleich der Jahre 1989 und 1990	149
5.4.2.	Zinkkonzentrationen in Schnee- und Schmelzwasserproben der Arktis	150
5.4.3.	Zinkkonzentrationen in arktischen Copepoden	151
5.4.3.1.	Der Einfluß der Zinkkonzentrationen im Wasser auf die Zinkkonzentrationen in arktischen Copepoden	152
5.4.2.	Zinkverteilung im Oberflächenwasser des Ostatlantiks im Vergleich der Jahre 1989 und 1990	154
5.4.3.	Zinkkonzentrationen in atlantischen Pontelliden aus der Oberfläche	155
5.5.	Vergleich der durchschnittlichen Metallkonzentrationen in Copepoden aus unterschiedlichen Wassermassen und statistische Absicherung	156
6.	DISKUSSION	161
6.1.	Die Untersuchungsmethoden und ihre Grenzen während der Probennahme, der analytischen Messungen und für die Auswertung	161
6.2.	Horizontale und vertikale Verteilung der Metalle in Abhängigkeit von der Hydrographie und der Nährstoffsituation	163
6.2.1.	Cadmium	163
6.2.2.	Blei	168
6.2.3.	Kupfer	171
6.2.4.	Zink	173
6.3.	Saisonale und regionale Veränderungen der Metallkonzentrationen im Wasser	174
6.4.	Aufnahme von Metallen durch das Phytoplankton	177
6.5.	Nahrungsselektion und Ingestionsverhalten von Copepoden	178
6.6.	Metallkonzentrationen in Zooplanktonorganismen	179
6.7.	Transport von Metallen durch das Zooplankton	183
7.	LITERATURVERZEICHNIS	186
8.	DATENANHANG	199

KURZFASSUNG

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit dem Einfluß von gelösten Spurenmetallkonzentrationen (Cd, Pb, Cu, Zn) im Meerwasser auf marine Zooplanktonorganismen in Abhängigkeit von der Hydrographie und der Nährstoffsituation. Die Proben wurden auf 4 Expeditionen mit "PFS POLARSTERN" im europäischen Nordmeer und im Ostatlantik genommen, wobei neben den Spurenmetallkonzentrationen in der Wassersäule sowie in den Organismen auch die Metallkonzentrationen in Schnee- und Schmelzwasserproben bestimmt wurden.

Zur analytischen Bestimmung der gelösten Metalle im Meerwasser wurde eine flüssig-flüssig-Extraktion durchgeführt, die Zooplanktonorganismen wurden gefriergetrocknet und einem Säureaufschluß unterworfen. Die Messung der Metallkonzentrationen in den Extrakten erfolgte mit flammenloser Atomabsorptionsspektroskopie.

Die Polar- und Arktikfront konnten auf den Schnitten in der Arktis 1989 und 1990 mit Hilfe der hydrographischen Daten und der Nährstoffparameter eindeutig lokalisiert werden.

In den Wassermassen polaren Ursprungs wurden die höchsten Cadmiumkonzentrationen gemessen, im Bereich der Polarfront wurden drastische Abnahmen um den Faktor 3 - 4 verzeichnet, im Mischwasserbereich der Grönlandsee lagen die Konzentrationen um den Faktor 2 niedriger als auf dem ostgrönländischen Schelf. Diese Ergebnisse werden auf die Austauschprozesse mit den Schelfsedimenten und die Landabflüsse des arktischen Beckens sowie den südwärts fließenden Transport dieser Einträge mit dem Ostgrönlandstrom zurückgeführt. Die starke Reduzierung der Konzentrationen im Bereich der Polarfront wurde auf die ausgeprägte Phytoplanktonblüte im Jahre 1989 zurückgeführt.

Für Cadmium wurden sehr geringe Konzentrationen im Schnee analysiert, sodaß die Eisschmelze primär einen Verdünnungseffekt auf die umgebenden Wassermassen ausübt.

Die Cadmiumverteilung im Oberflächenwasser der Arktis wird in den Sommermonaten durch die Nährstoffsituation und die damit verknüpfte Primärproduktion geprägt. Mit Hilfe von Cadmium-, Nährstoff- und Chlorophyll a-Korrelationen konnten 4 aufeinanderfolgende saisonale Phasen definiert werden, die die Abhängigkeiten zu diesen Parametern wiedergeben. Die Cadmiumfixierung durch das Phytoplankton in der euphotischen Zone beträgt ca. 80 %. Das $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ Verhältnis wurde mit $1,7 - 1,8 \times 10^{-4}$ berechnet. Lineare Korrelationen zu Nitrat und Silikat konnten ebenfalls gezeigt werden.

An den Tiefenstationen ist dieses Verhältnis etwa auf die Hälfte ($\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}: 0,5 - 1 \times 10^{-4}$) reduziert. Die Cadmiumelimination an den einzelnen Tiefenstationen beträgt 55 - 60 %. Leichte Fluktuationen in der vertikalen Cadmiumverteilung sind in den oberen 100 m der Wassersäule zu verzeichnen. Während der Phytoplanktonblüte wurde für Cadmium ein Oberflächen-/Tiefenverhältnis von 1:1 und nach Abschluß der Frühjahrsblüte von 1:5 im Mischwasserbereich der Grönlandsee ermittelt. Ursache dafür sind das Absinken und die Resuspension der Partikel.

Die Elemente Blei und Zink zeigten keine drastischen regionalen Änderungen auf den beiden Schnitten, die Konzentrationen auf dem ostgrönländischen Schelf und im polaren Frontenbereich

waren 1989 sehr niedrig. 1989 wurde ein tendenzieller Anstieg der Bleikonzentrationen von West nach Ost registriert.

Ein Vergleich mit den Bleikonzentrationen im Meerwasser sowie Schnee- und Schmelzwasserproben aus dem Jahre 1990 ergab, daß atmosphärisches Blei von der eisbedeckten Region akkumuliert und während der Eisschmelze in den umgebenden Wasserkörper eingetragen wird, ähnliche Verhältnisse konnten auch für Zink festgestellt werden. Für Blei und Zink waren keine Zusammenhänge mit der Primärproduktion erkennbar.

Kupfer zeigte erhöhte Konzentrationen von $4 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ im polaren Wasser des Ostgrönlandstromes, auch dies wird auf den südwärts fließenden Transport von Landabflüssen in das arktische Becken zurückgeführt. Im Mischwasserbereich gehen diese Konzentrationen um den Faktor 4 zurück. Die Kupferkonzentrationen im Meerwasser und Meereis sind vergleichbar. Auffällig sind die linearen Korrelationen zu Silikat.

Die vergleichenden Untersuchungen aus dem Ostatlantik zeigten anhand der hydrographischen Daten die stark erniedrigten, charakteristischen Salzgehalte im Bereich der Intertropischen Konvergenz Zone, weiterhin wurde der Oberflächenbereich durch die vollständige Nitratzehrung geprägt. Ausnahmen bildeten das europäische Schelfgebiet und ein kleines Auftriebsgebiet, welches als Ausläufer des Guineadomes identifiziert wurde.

Die Oberflächenkonzentrationen von Cadmium ($<0,02 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) waren mit Ausnahme der Schelf- und Auftriebsregion niedriger als in der Arktis. Hochsignifikante Korrelationen zu Nährstoffen und dem Chlorophyll a bestehen nicht.

An den ausgewählten Tiefenstationen im Ostatlantik bestehen hochsignifikante Korrelationen zwischen Cadmium, Phosphat und Nitrat. Das durchschnittliche $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ Verhältnis wurde mit $1,2 \times 10^{-4}$ berechnet. Die Oberflächenkonzentrationen sind um den Faktor 5 - 20 niedriger als in der Arktis und die Tiefenkonzentrationen sind um den Faktor 2 - 3 höher als in der Grönlandsee. Die Oberflächen-/Tiefenverhältnisse für Cadmium sind im tropischen Atlantik mit 1:12 am höchsten, an den nördlicheren und südlicheren Stationen nehmen sie ab. Die starken Regenfälle in den Tropen führen zur Ausbildung einer Sperrschicht, die eine Zirkulation der gelösten Anteile aus der Tiefe verhindert. Im Bereich des Nährstoffmaximums beträgt der partikulär fixierte Cadmiumanteil ca. 12 %.

Blei zeigte die niedrigsten Konzentrationen $0,05 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ im Südatlantik, im Bereich der Westwinddrift steigen sie um den Faktor 3 - 5 an und sind damit ähnlich hoch wie im atlantischen Einflußbereich der Grönlandsee. Die Bleikonzentrationen nehmen von der Oberfläche zur Tiefe hin ab. Maxima treten im Bereich der Sprungschicht auf, die weiterhin durch Sauerstoffminima geprägt wird. Sie lassen sich im Zusammenhang mit der Regeneration von organischen Partikeln sowie Umverteilungsmechanismen zwischen gelöstem und labilem, partikulär fixiertem Blei erklären. Gelöstes Blei ist nicht in der Lage, die Sprungschicht zu passieren, die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten in dieser Schicht sind unbekannt.

Die Kupferkonzentrationen in der Oberfläche des Ostatlantiks sind mit Werten zwischen $0,7-1,2 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ vergleichbar mit dem Mischwasserbereich der Grönlandsee. Zwischen Kupfer und Silikat bestehen hochsignifikante Korrelationen über alle Tiefenprofile, die Konzentrationen steigen mit zunehmender Tiefe kontinuierlich an. Da Kupfer und Zink bei der Silikataufnahme von Diatomeen

konkurrieren und Kupfer hemmende Einflüsse auf die Silikataufnahme und die Wachstumsrate ausübt, wäre dies ein möglicher Hinweis.

Für Zink wurden erstmalig sehr niedrige Konzentrationen zwischen $0,5 - 1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ im Oberflächenwasser des Ostatlantiks gemessen.

Korrelationen zwischen Metallkonzentrationen im Wasser und in Organismen sowie die Anreicherungsfaktoren der Metalle in den Tieren sind nur aussagekräftig, wenn sie im Zusammenhang mit der Nährstoffsituation und der Primärproduktion interpretiert werden.

Anhand von 4 hypothetisch erstellten zeitlichen Phasen konnte gezeigt werden, daß Cadmium von herbivoren Zooplanktonorganismen primär über die Nahrung aufgenommen wird. Auch die signifikanten Unterschiede der Cadmiumkonzentrationen in atlantischen und arktischen Copepoden, sowie die signifikanten reziproken Korrelationen zwischen den Cadmiumkonzentrationen in Copepoden und im Wasser über alle Tiefenprofile des Ostatlantiks sprechen für diese Annahme.

Mit Hilfe eines "zwei Box Modells" wurde die theoretische Cadmiumaufnahme von Copepoden für eine 30 tägige Nahrungsaufnahme berechnet. Sie liegt mit $0,45 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ um den Faktor 6,5 niedriger als die gemessene Durchschnittskonzentration.

Bei dem Element Blei werden eher Adsorptionsmechanismen und eine Aufnahme aus dem Wasserkörper vermutet. Hinweise hierfür liefern die Oberflächen-/Volumenverhältnisse der unterschiedlichen Copepodenarten. Es wurden signifikante Unterschiede der Bleikonzentrationen zwischen *C. hyperboreus* < Pontellidae < *C. finmarchicus* festgestellt. *C. hyperboreus* ist die größte und *C. finmarchicus* die kleinste hier untersuchte Art.

Für Kupfer und Zink werden stoffwechselphysiologische Regulierungsmechanismen angenommen. Eine Aufnahme über die Nahrung oder Adsorptions-/Diffusionsmechanismen über den Chitinpanzer konnten nicht nachgewiesen werden.

Es wurde hervorgehoben, daß sich die beiden Untersuchungsgebiete Arktis und Ostatlantik vor allem durch die Parameter Licht und Temperatur sowie die damit verbundene Eisschmelze und Eisbildung unterscheiden. Diese Faktoren beeinflussen weiterhin Hydrographie, Nährstoffsituation und Primärproduktion. Weiterführend wurden diese Ausgangsbedingungen den Spurenmetallkonzentrationen in den Wassermassen gegenübergestellt. Diese wurden wiederum auf Wechselbeziehungen zu biologischen Kreisläufen analysiert und in Zusammenhang mit der Metallaufnahme und Akkumulation in Organismen diskutiert.

ABSTRACT

Zooplankton plays a dominant role in heavy metal cycling in the ocean. In the euphotic zone, essential and non-essential metals are absorbed by the flora and the fauna. Chemical species change during uptake of the ionic species, resulting in complexation to organic ligands on adsorption to phytoplankton. It is the phytoplankton which are consumed by secondary producers. The zooplankton organisms transport metals to deeper waters by their excretion products and incorporated into carcasses.

Due to the significant amounts of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Zn) in the ocean, their horizontal and vertical distributions, and more importantly, their uptake by zooplankton, organisms are essential to the understanding of heavy metal cycling in the ocean. In order to further the understanding of the heavy metal cycle, four experiments based from the research vessel "RV Polarstern" in two different oceans were completed. During April 1989 and May 1990, samples of the water and the zooplankton were obtained from the eastern Atlantic Ocean at the surface and selected depths. Additionally, samples from sea ice and melt water from a glacier, as well as from the surface and selected depths, were obtained in the Arctic Ocean during June 1989 and July 1990.

Dissolved trace metal concentrations in a water sample were obtained from liquid-liquid extractions followed by Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) analysis. The trace metal concentrations in zooplankton organisms were obtained by freeze drying the organisms followed by acid digestion. The resulting sample was analyzed using AAS.

Polar and arctic fronts could be identified from the nutrients present and from hydrographic data. Dissolved cadmium (Cd) concentrations in the polar waters from the east Greenland shelf were the highest with concentrations up to $0.25 \text{ nmol kg}^{-1}$ as compared to the polar front which had concentrations three to four times less. In the mixed waters of the Greenland gyre, Cd concentrations were 0.1 nmol kg^{-1} . The low concentration at the polar front resulted from biological activities. The dissolved Cd was eliminated during primary production and accumulated in the phytoplankton. The interaction of shelf sediments and transport of water masses with low salinity out of the Arctic basin played a significant role, to the high cadmium concentrations on the east Greenland shelf.

There is insignificant Cd introduced to the ocean from melting snow and sea ice, thus providing a dilution effect on the Cd concentrations in the surrounding waters.

The distribution of Cd in the surface waters of the Arctic is associated with the nutrient situation and primary production. Four seasonal stages can be defined based on ratios between Cd, nutrients and chlorophyll. In the euphotic zone about 80% of the dissolved Cd is eliminated by phytoplankton corresponding to a $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ ratio of 1.7×10^{-4} . Additionally, there are linear relationships of Cd with nitrate and silicate.

The Cd elimination for the vertical profiles was 55-60%, corresponding to a $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ ratio of only $0.5-1 \times 10^{-4}$. There were small fluctuations in the distribution of Cd for the upper 100 m. In the mixing

waters of the Greenland Sea gyre, during the phytoplankton bloom, the surface to deep water ratio of dissolved Cd was 1:1 and after the production the ratio was 1:5. The reason for the different ratios is due to sinking and re-suspension of particles, thus Cd is enriched for depths between 50 m and 100 m. Below 100 m the Cd distribution was quite constant throughout the water column. This could be interpreted as a result of vertical convection, because the Greenland Sea gyre is one of the important areas of deep water formation during the winter.

During two transects through the Greenland Sea and Fram Strait in 1989, lead (Pb) and zinc (Zn) showed no significant regional variations in the surface water. The dissolved concentrations of these two elements are very low on the east Greenland shelf and in the frontal areas. Lead shows an increase eastward from $0.02 \text{ nmol kg}^{-1}$ to 0.2 nmol kg^{-1} . Comparable investigations of sea water and sea ice during 1990, showed that the Pb was transported by the atmosphere and accumulated in the ice covered regions. On the east Greenland shelf during the melt season in 1990, the high Pb values were a result of melt from sea ice which caused high concentrations of Pb on the water surface. This phenomenon also applies for Zn.

The highest values for copper (Cu) concentrations (4 nmol kg^{-1}) were found on the east Greenland shelf. The concentrations decreased to 1 nmol kg^{-1} in the mixing water of the gyre. The Cu concentration in sea water was similar as for sea ice. There was a linear relationship of Cu with silica.

The trace metal distribution in the Atlantic was significantly different compared to the Arctic regions. The two transects through the Atlantic passed regions which are called "oceanic deserts" because of the depletion of nitrate in the surface waters. The concentrations of Cd in the surface waters were sometimes near the detection limit ($<0.02 \text{ nmol kg}^{-1}$) with exception of the upwelling regions and on the west European shelf area the Cd concentrations were 5-20 times lower in the Atlantic surface waters than in Arctic surface waters. On the other hand the Atlantic deep water values at the nutrient maxima were 2-3 times higher than for the Arctic study areas. The mean $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ ratio over all the vertical profiles was 1.2×10^{-4} . The Cd surface to deep water concentration ratio was 1:12 for the tropical Atlantic, however this ratio was reduced to 1:8 for the northern and southern deep sea stations. It is because of the high fresh water input at the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) that the ocean surface behaves like a barrier, plus there is no vertical convection and Cd sinks down to deeper waters by the accumulation by plankton. The Cd is then redissolved after decompositions by microorganisms. Dissolved Cd is not redistributed to the surface because of the missing vertical convection in these regions. Good correlation between Cd and nutrients were found for the deep water stations, but not for the surface waters.

Lead showed the lowest values ($0.05 \text{ nmol kg}^{-1}$) in the South Atlantic, with increasing values of 3-5 times for the regions to the westerlies. It is believed that the industrial areas of the northern hemisphere are the main source. The vertical distribution of Pb is important because the maximum concentration corresponds to a depth where there is an oxygen minimum. The Pb maxima occurs because this Pb is associated with organic material and is redissolved during microbial decomposition. In contrast, there is Pb which is strongly associated to terrigenous material which is transported

throughout the water column and buried in the ocean sediments. The dissolved Pb is not able to pass the thermocline.

The concentration of Cu on the surface (0.7-1.2 nmol kg⁻¹) in the eastern Atlantic is comparable to the values in the mixing zone of the Greenland Sea gyre. The vertical distribution of Cu increases with depth and corresponds to silica concentrations similarly as it is known for Zn. Copper and zinc are competing for silica during the uptake of diatoms. The Cu inhibits the silica uptake, which could explain these results. For the first time, low Zn concentrations between 0.3-0.8 nmol kg⁻¹ were measured in the surface waters of the Atlantic.

Correlations between metal concentrations in water and organisms, as well as the enrichment factor are valuable only if they are interpreted in connection with nutrients, thus primary production. During the hypothetical seasonal phase, it is shown that herbivorous zooplankton will accumulate Cd via food. There were significant differences between the Cd concentrations in arctic copepods (*Calanus hyperboreus*, *Calanus finmarchicus*) with higher values in the copepods from the sub-tropics and tropics (Atlantic region) which supports the hypothesis that Cd accumulates in the herbivorous zooplankton via the food. While organisms of the Arctic region consume phytoplankton during a very short period, tropical and subtropical copepods consume phytoplankton during the whole year when it is available. The Cd concentrations in the organisms increased from the lowest in *C. hyperboreus*, followed by *C. finmarchicus* to the highest in Pontellid copepods. Also cadmium concentrations were lower for copepods from the deep water compared to the surface.

It was found that in waters where the dissolved Cd concentrations are high, the Cd in the copepods were low. It follows that, when the dissolved Cd concentration in the water decreased, the organisms had an increased Cd concentration.

The theoretical Cd uptake for 30 days of feeding was calculated using a "two box model" to be 0.45 µg·g⁻¹. This is 6,5 times lower than the mean of the measured values in the copepods.

There is indication that the surface to volume ratio between different species is important for Pb absorption from the water. There was a significant difference in Pb concentrations between species. Out of the investigated species, *C. hyperboreus* (largest species) showed lower concentrations as compared to Pontellidae, and even lower for *C. finmarchicus* (smallest species).

It was suspected that Cu and Zn were regulated by the metabolism from the organisms. However, the uptake of these two metals by phytoplankton or absorption/diffusion mechanisms by the chitin cuticula, could not be proven.

It is emphasized that the two investigated areas in the Arctic and East Atlantic do show differences in their hydrography, nutrient situation and their primary production. This is associated with the lighting conditions, temperature, ice melt, and ice formation in the Arctic. Furthermore, these conditions influenced the formation of dissolved trace metal concentrations in the water. The analysis showed a correlation of metal concentrations with biological cycling in the form of metal uptake and enrichment in zooplankton organisms.

Abkürzungen

AABW:	antarktisches Bodenwasser	(Antarctic Bottom Water)
AAIW :	antarktisches Zwischenwasser	(Antarctic Intermediate Water)
AIW :	arktisches Zwischenwasser	(Arctic Intermediate Water)
APDC:	Pyrrolidindithiocarbonsäure-(1)-Ammoniumsalz	
AW :	atlantisches Wasser	(Atlantic Water)
DDDC:	Diethylammonium-N,N-diethyl-dithiocarbamat	
EASIW:	Ostatlantisches-subarktisches Zwischenwasser	(Eastern Atlantic Subarctic Intermediate Water)
ECC :	äquatorialer Gegenstrom	(Equatorial Counter Current)
EGC :	Ost-Grönlandstrom	(East Greenland Current)
ENACW:	Nord-Ostatlantisches Zentralwasser	(Eastern North Atlantic Central Water)
ESC :	Ost-Spitzbergenstrom	(East Spitzbergen Current)
ITCZ :	Intertropische Konvergenzzone	
MW :	Mittelmeerwasser	(Mediterranean Waters)
NADW:	Nordatlantisches Tiefenwasser	(North Atlantic Deep Water)
NEC :	Nord-Äquatorialstrom	(Northern Equatorial Current)
NECC:	Nordäquatorialer Gegenstrom	(North Equatorial Counter Current)
NEUC:	Nordäquatorialer Unterstrom	(North Equatorial Under Current)
PW :	polares Wasser	(Polar Water)
RAC :	atlantischer Rückstrom	(Return Atlantic Current)
SACW:	Südatlantisches Zentralwasser	(South Atlantic Central Water)
SEC :	Süd-Äquatorialstrom	(Southern Equatorial Current)
SECC:	Südäquatorialer Gegenstrom	(South Equatorial Counter Current)
SEUC:	Südäquatorialer Unterstrom	(South Equatorial Under Current)
Sv :	Sverdrup; $1 \text{ Sv} = 1 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Strömungseinheit

WSC : West-Spitzbergenstrom (West Spitzbergen Current)

$\Delta\text{Cd} : \Delta\text{P}$ Steigung der Korrelationsgeraden zwischen Cadmium und Phosphat

$\Delta\text{Cd} : \Delta\text{N}$ Steigung der Korrelationsgeraden zwischen Cadmium und Nitrat

$\Delta\text{Cd} : \Delta\text{SiO}_2$ Steigung der Korrelationsgeraden zwischen Cadmium und Silikat

$\Delta\text{Cd} : \Delta\text{Chl. a}$ Steigung der Korrelationsgeraden zwischen Cadmium und Chlorophyll a

1. EINLEITUNG

1.1 KENNTNISSTAND

Das Verständnis der biogeochemischen Kreisläufe im Meer tritt heute verstärkt in den Mittelpunkt des Interesses. Dabei nehmen die Spurenmetalle eine besondere Stellung ein, da sie an den Prozessen in der gelösten Phase, der partikulär fixierten Phase sowie der Biosphäre beteiligt sind (GOLDBERG 1957; BREWER et al. 1980).

Aus biologischer Sicht sind sie weiterhin von Interesse, da sie die Rolle der limitierenden Spurenstoffe übernehmen (Fe, Zn, Cu, Mn, Co, Mo, Ni), andererseits aber als Toxine wirken können (Cu, Hg, Ag, Cr, Cd, Zn, Ni, Pb).

Wichtige Faktoren für die Verteilung von Metallen sind die chemischen und physikalischen Zustandsformen (Speziation) und die Bioverfügbarkeit (GOLDBERG et al. 1957, 1971; ANDERSON et al. 1978; MANTOURA et al. 1978a; ENGEL et al. 1981; SMIES 1983; SIGG 1987). Biologische Aspekte zur Spurenmetallspeziation, die Wechselwirkung zwischen chemischem Element und der Biologie in der aquatischen Umwelt sind abhängig von Faktoren wie Salzgehalt, pH-Wert, Alkalinität, Nährstoffangebot, Huminsäuren, kolloidalem Material, Chlorophyll, Druck und Temperatur.

Nach GOLDBERG et al. (1957, 1971) werden chemische Spezies im Ozean in drei Phasen eingeteilt: Meerwasser, die lebende Biosphäre sowie anorganische und organische Partikel.

Bei den Spurenmetallspezies in der gelösten Phase ($<0,4 \mu\text{m}$) muß weiterhin zwischen organisch komplexierten Ionen, hydratisierten Ionen, freien Ionen sowie Chlorokomplexen unterschieden werden.

Für die lebende Biosphäre können sowohl die gelösten Anteile im Wasser wie auch die partikulären Phasen durch die Nahrung als Spurenmetallquelle in Frage kommen. Für die marine Fauna sind also 2 Prozesse von Bedeutung; einerseits der Transport der gelösten Metall-Ionen-Spezies vom Wasserkörper in die Organismen und andererseits die Aufnahme von partikulärem Material, das die Metall-Spezies meistens durch Oberflächenadsorption enthält.

MARTIN (1970) vermutete einen möglichen Transport der Metalle über das Exoskelett der Copepoden, weitere Untersuchungen von Spurenmetallkonzentrationen in Zooplanktonorganismen sowie der Berechnung der Anreicherungsfaktoren gegenüber Wasser wurden in der Vergangenheit von FOWLER (1977); BRÜGMANN & NEHRING (1977) und BRÜGMANN (1978) durchgeführt.

Während die Metallkonzentrationen in den Organismen aus heutiger Sicht durchaus realistisch waren, lagen die zugrundegelegten Metallkonzentrationen im Meerwasser um den Faktor 10 - 1000 zu hoch (MARTIN 1970; MARTIN & KNAUER 1973; BRULAND 1983). Diese hohen Metallkonzentrationen im Wasser waren auf die Probenkontaminationen während der Probennahme und Aufarbeitung zurückzuführen.

Erst seit Ende 1970 gelang es durch äußerste Kontaminationskontrolle während der Probenahme, sowie Verbesserungen der Meßtechniken erhebliche Fortschritte bei der Messung von Spurenmetallkonzentrationen im Meerwasser zu erzielen.

Realistische Konzentrationen im Meerwasser wurden erstmals für die Elemente Cadmium (BRULAND et al. 1978a, BOYLE et al. 1976), Blei (SCHAULE & PATTERSON 1981), Kupfer (BOYLE et al. 1977a, 1977b, 1981, 1983) und Zink (BRULAND et al. 1978b, BRULAND 1980) publiziert.

Die Autoren fanden, daß die vertikale und horizontale Verteilung dieser Spurenmetalle zum Teil mit den Verteilungen der Nährstoffparameter Nitrat, Phosphat und Silikat korrelieren, und vermuteten, daß diese gelösten Metallkonzentrationen durch biologische Prozesse kontrolliert werden.

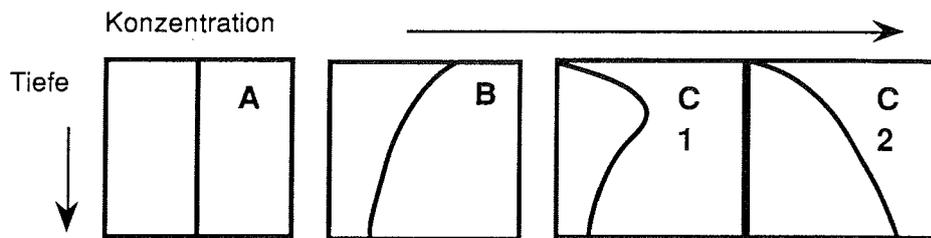
Die Metalle Aluminium, Blei, Cadmium, Kupfer, Mangan und Zink werden primär über die Atmosphäre (CHESTER et al. 1979; HYDES 1982; FLEGAL & PATTERSON 1983; NÜRNBERG et al. 1983) und durch die Flüsse, (DUINKER et al. 1974; 1982b; SALOMONS & FÖRSTNER 1984), die teilweise die Funktion einer Senke haben, sowie durch hydrothermale Aktivitäten (WANGERSKY, 1986) innerhalb der mittelozeanischen Rücken in die Ozeane eingetragen.

Abhängig von ihrer elementspezifischen Chemie sowie biologischen und ozeanographischen Einflüssen weisen sie charakteristische Muster in der vertikalen und horizontalen Verteilung im Ozean auf. Die Metallkonzentrationen im ozeanischen Bereich (BOYLE & EDMOND 1977; BRULAND et al. 1978a; BRULAND & FRANKS 1983; SCHAULE & PATTERSON 1981; MART et al. 1983; DANIELLSON 1980) sowie den Schelfgebieten (KREMLING 1983; 1985; KREMLING & POHL 1989) werden durch Wechselwirkungen zwischen gelöster und partikulärer Phase (CHESSELET et al. 1976; BUAT - MENARD & CHESSELET 1979; WALLACE et al. 1983), Austauschprozessen mit dem Sediment und den o.g. Einträgen kontrolliert.

1.1.1. Charakteristische Verteilung von Metallen in der Vertikalen

Grundlegende Erkenntnisse über die Verteilung und das Verhalten von Spurenelementen im Meerwasser sowie der Begriff "konservative Elemente" wurden von GOLDBERG et al. (1971) definiert. Auf diesem Hintergrund beschreiben WHITFIELD & WATSON (1983) in einer Übersicht drei typische vertikale Profile, die für eine große Anzahl von Metallen charakteristisch sind.

Typ A zeigt die Verteilung der gut durchmischten Elemente mit einem konservativen Verhalten, das durch Salzgehaltsänderungen kaum beeinflusst wird. Ihre Aufenthaltswahrscheinlichkeiten in der Wassersäule sind sehr lang mit Zeiten von $> 5 \times 10^5$ a, (WHITFIELD 1979). Zu diesen Elementen gehören die Alkalimetalle, die Halogene außer Jod, Mg, S, B, U, V und Mo.



Schematische vertikale Verteilung von Metallen, aus WHITFIELD (1979)

Typ B beschreibt die Verteilung von Elementen, die in die Oberfläche eingetragen werden, wodurch erhöhte Konzentrationen in der Oberfläche zu beobachten sind, und die mit zunehmender Tiefe geringer werden. Es wird unterschieden zwischen 1.) atmosphärischen Einträgen mit dem Beispiel Blei als anthropogene Quelle (SCHAULE & PATTERSON 1981; 1983; MART et al. 1983, LAMBERT et al. 1991a, 1991b) und terrigenem Mangan vor West-Afrika (KREMLING 1985), das mit dem Saharastaub eingetragen wird und 2.) dem Eintrag über die Flüsse in Oberflächenschichten.

Dieses Verteilungsmuster ist weiterhin für die Elemente Co, Th und Cr-III charakteristisch, sie werden auch als "scavenging elements" bezeichnet, die an der Oberfläche von Partikeln adsorbiert werden, mit diesen in die Tiefe gelangen und somit dem gelösten Metallanteil in der Wassersäule nicht mehr zur Verfügung stehen. Eine sehr starke Affinität zwischen Partikel und Metall verhindert meistens Resorptionsprozesse, so daß diese Metalle nach einer Aufenthalts-

wahrscheinlichkeit von 3×10^2 - 2×10^4 a im Sediment abgelagert und somit irreversibel aus dem Wasserkörper eliminiert werden.

Typ C spiegelt das Verhalten der Elemente As, Cd, Cu, Ni, P, Zn, N, Si in der Wassersäule wieder. Diese Elemente nehmen an den biologischen Kreisläufen in der euphotischen Zone teil, dabei werden sie zusammen mit den Nährstoffen mehr oder weniger zufällig (WHITFIELD & WATSON 1983) oder aktiv (ROMEO et al. 1985) in die Phytoplanktonzelle eingebaut. Das Phytoplankton ist die Hauptnahrungsquelle von Sekundärproduzenten, deren Kotpillen "fecal pellets" in tiefere Wassermassen absinken. Auf dem Weg in die Tiefe finden Abbau- und Lösungsprozesse statt, so daß ein großer Teil dieser Elemente wieder in den gelösten Zustand übergeht. Durch die Abreicherung in der Oberfläche und den vertikalen Transport erfolgt eine Anreicherung der Elemente in der Tiefe, wobei die Konzentrationsmaxima über der ozeanischen Thermoklinen zwischen warmen und kaltem Wasserkörper liegen. Als typisches Beispiel für die C1-Verhaltensweise seien das Cadmium und das Phosphat genannt. (BOYLE et al. 1976; MARTIN et al. 1976; BRULAND et al. 1978a).

Während die Regeneration von Cadmium und Phosphat schon in geringeren Tiefen und die von Silikat mit den entsprechenden Metallen erst im unteren Teil der Wassersäule erfolgt, zeigt Kupfer im Tiefenwasser keine Regeneration, sie findet erst im Sediment statt (BRULAND & FRANKS 1983). Das Tiefenwasser wird mit gelöstem Kupfer aus dem Sediment angereichert und nimmt dann an der Zirkulation des Tiefenwassers teil, so würde die vertikale Kupferverteilung dem C2-Typ entsprechen.

Die Dichtesprungschicht bildet für die gelösten Anteile eine Barriere. Nur schwerere Partikel, wie z.B. die Kotpillen von Copepoden, die in diesen Tiefen leben, passieren die Dichtesprungschicht und werden in den Kaltwasserkörper eingetragen. Weiterhin wird angenommen (KNAUER & MARTIN 1983a; 1983b), daß Tiefsee-Organismen ihren Energiebedarf aus dem "Regen" an organischem Detritus decken, der an der Oberfläche produziert wird. Die Exkretionsprodukte bzw. abgestorbene Tiere sinken ihrerseits wieder in die Tiefe usw., so daß dieses System stufenweise in Richtung Meeresboden arbeitet.

Dieses System ist sehr stabil, trotz bestimmter "Input" und "Output" - Raten sind Konzentrationsänderungen während einer Zeiteinheit kaum gegeben. Das System befindet sich im Quasi-Gleichgewicht, dem sogenannten "steady state" (BROEKER & PENG 1982).

Weiterhin konnten Konzentrationsunterschiede zwischen Atlantik, Indik und Pazifik festgestellt werden. Sauerstoffreiches Tiefenwasser wird durch vertikale Konvektion zum großen Teil in der Grönlandsee gebildet (QUADFASSEL &

MEINCKE 1987; COACHMAN & AAGAARD 1974) und in geringerem Maße auch in der Weddellsee (DIETRICH et al. 1965). Es strömt durch den Nordatlantik südwärts in den antarktischen Zirkumpolar-Strom und verteilt sich dann nordwärts im Indischen und Pazifischen Ozean. Das Tiefenwasser des Pazifiks und des Indiks ist somit wesentlich älter als das atlantische Tiefenwasser. Dies hat zur Folge, daß ein großer Teil der Elemente aus den Rücklösungsprozessen im Tiefenwasserkörper akkumuliert wird (BRULAND 1980; DANIELSSON 1980; BRULAND & FRANKS 1983). Deshalb besteht für die an biologischen Kreisläufen beteiligten Elemente des Typs C, wie z. B. dem Cadmium, im Pazifik ein höheres Tiefenwasser-/Oberflächenwasser-Konzentrationsverhältnis als im Atlantik. Bei den Nährstoffen Phosphat und Nitrat war dieses Phänomen schon seit längerem bekannt (BROEKER & PENG, 1982).

1.2. FRAGESTELLUNG

Vor diesem Hintergrund versteht sich die Absicht der vorliegenden Arbeit, realistische Metallkonzentrationen im Meerwasser mit den Metallkonzentrationen in Zooplanktonorganismen zu analysieren und zu korrelieren, um Wechselwirkungen zwischen Wasser und Organismen darzustellen.

Zunächst soll auf die horizontale und vertikale Verteilung der gelösten Konzentrationen von Cadmium, Blei, Kupfer und Zink im Meerwasser in Abhängigkeit von der Hydrographie, den Nährstoffparametern und der Primärproduktion mit dem Parameter Chlorophyll a eingegangen werden.

Weiterführend soll dann der Einfluß dieser gelösten Metallkonzentrationen auf die Metallkonzentrationen in Zooplanktonorganismen, den biologischen Sekundärproduzenten, dargestellt werden.

Als Zooplanktonorganismen wurde die Unterklasse der Copepoda ausgewählt. Sie sind nahezu in allen ozeanischen Regionen, im Oberflächenbereich als auch in der Tiefe anzutreffen, garantieren somit für ausreichendes Probenmaterial und sind untereinander aufgrund einer ähnlichen Biologie begrenzt vergleichbar.

Für den Spurenmetallkreislauf sind sie weiterhin ein sehr wichtiger biologischer Parameter, denn sie können die Spurenmetalle auf unterschiedliche Art und Weise transportieren (Abb.: 1).

--- Copepoden sind in der Lage durch aktive vertikale Migrationen Dichtesprungschichten zu passieren (PEARCY & OSTERBERG 1967).

- Spurenmetalle werden von den Kotpillen adsorbiert und in die Tiefe transportiert (OSTERBERG et al. 1963).
- Copepoden durchleben bis zur Geschlechtsreife 6 Naupliar- und 5 Copepodit-Stadien. Jedes Stadium wird durch eine Häutung abgeschlossen bei der insgesamt 11 Chitin - Exuvien zurückbleiben, die in die Tiefe sinken. Untersuchungen von YOSHINARI & SUBRAMANIAN (1976); SUBRAMANIAN, (1978) haben ergeben, daß Metalle im Chitinpanzer gebunden werden.
- Copepoden stehen als Sekundärproduzenten weit unten in der Nahrungskette, somit können die Metalle auch höhere trophische Ebenen erreichen.
- Nach dem Tod der Tiere werden die adsorbierten bzw. angereicherten Metalle ebenfalls in andere Wassertiefen transportiert.

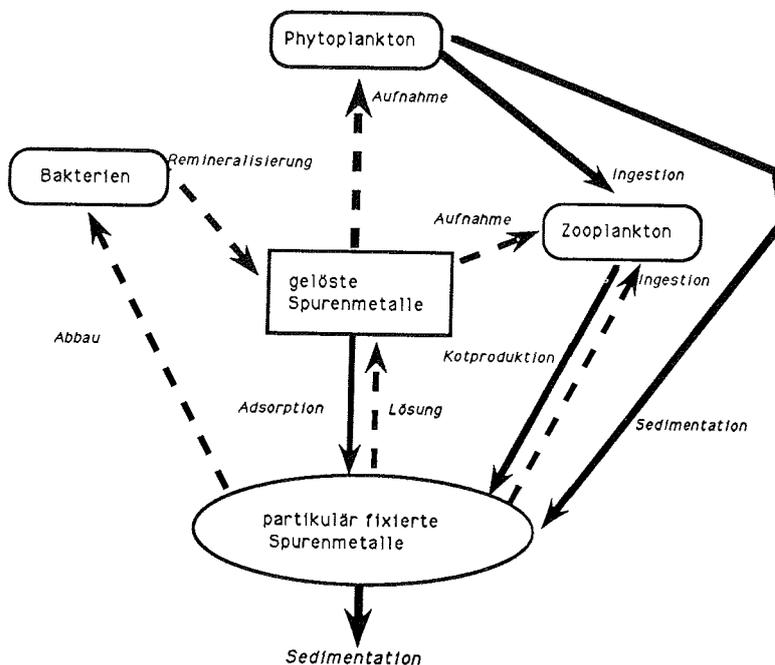


Abb.:1 Schematische Darstellung der Prozesse in der euphotischen Zone unter Beteiligung der Metalle und der Zooplanktonorganismen.

Unter den Spurenmetallen wurden die Elemente Cadmium, Blei, Kupfer und Zink als charakteristische Vertreter der vertikalen C1-, B-, C2-Verteilungstypen im Wasser gewählt. Während Cadmium und Blei zu den nicht essentiellen Metallen gehören, sind Kupfer und Zink für die marine Fauna und Flora essentiell. Die Untersuchungsgebiete Arktis und Ostatlantik (s. Kapitel 2) wurden gewählt, da sie aus hydrographischer Sicht zwei Extreme darstellen.

Folgende Fragestellungen sollen in dieser Arbeit berücksichtigt werden:

- 1.) Welche Metallkonzentrationen werden in den verschiedenen Wasserkörpern angetroffen?
- 2.) Wie wird die horizontale bzw. vertikale Verteilung der Metallkonzentrationen durch die Hydrographie, die Nährstoffparameter und die Primärproduktion beeinflusst?
- 3.) Welche Metallkonzentrationen werden in den Copepoden angetroffen, die einen bestimmten Wasserkörper als Lebensraum bewohnen?
- 4.) Wie ist die horizontale bzw. vertikale Verteilung der Metallkonzentrationen in den Copepoden?
- 5.) Wie hoch sind die Anreicherungsfaktoren von Cadmium, Blei, Kupfer und Zink in Copepoden gegenüber dem Wasser?
- 6.) Welche Zusammenhänge bestehen zwischen den Metallkonzentrationen im Wasser und in den Organismen?
- 7.) Welche Umverteilungsphasen bestehen zwischen gelösten und von Zooplanktonorganismen akkumulierten Spurenmetallen.

1.3. SYSTEMATIK UND BIOLOGIE ARKTISCHER UND TROPISCHER COPEPODEN.

Unter den Copepoden gibt es freilebende, parasitische oder in Symbiose lebende Formen. Sie gehören zu den Invertebraten, das Außenskelett ist ein Chitinpanzer, der sich in einzelne Segmente unterteilt, die teilweise verschmolzen sind. Ihre Größe (Länge) kann zwischen 1 - 250 µm liegen. Die morphologischen Merkmale tragen hauptsächlich zur Klassifizierung bei. Während der Wachstumsphase müssen sich die Tiere mehreren Häutungen unterziehen, die den Lebensrhythmus maßgeblich bestimmen (BOXSHALL & SCHMINKE 1988).

Die systematische Klassifizierung nach PARKER (1982) ist in Abb.: 2 dargestellt.

Die Copepoden der Ordnung Calanoida sind freilebend, die Majorität ist im marinen Bereich zu finden, nur wenige Gruppen leben im Süßwasser. Die meisten sind Planktonfresser, einige leben jedoch nahe dem Grund und ernähren sich vorzugsweise von benthischen Organismen. Man findet sie verteilt über alle Weltmeere, von der Oberfläche bis in 5000 m Tiefe. Viele von ihnen führen tageszeitenabhängige Migrationen zwischen Oberfläche (Nacht) und 50 - 100 m Tiefe (Tag) durch, andere führen jahreszeitenabhängige und tägliche Migrationen durch. Copepoden sind die dominierende Gruppe des marinen Zooplanktons, ihr

Fressverhalten variiert innerhalb der Spezies und der Entwicklungsstadien. Es können Filtrierer, Allesfresser und Räuber sein.

Calanoide Copepoden sind ein wichtiges Glied in der aquatischen Nahrungskette. Es sind Sekundärproduzenten, die sich von Phytoplankton ernähren, selber werden sie von größerem Zooplankton gefressen und sind die Grundnahrung von pelagischen Fischen und Fischlarven (PARKER 1982).

1.3.1. Arktische Copepoden

Die verschiedenen Wassermassen der Arktis beinhalten unterschiedliche Lebensbedingungen für Zooplanktonorganismen, die sich vor allem in den Copepodenpopulationen widerspiegeln. Untersuchungen über die Lebenszyklen, die vertikalen jahreszeitlichen Migrationen, die horizontale Verbreitung in den Sommermonaten und die Eiproduktion wurden u.a. von CONOVER (1967, 1988) und HIRCHE (1983, 1989) durchgeführt. Zwei dominante Arten und deren Biologie sollen hier vorgestellt werden.

Calanus hyperboreus

C. hyperboreus ist eine herbivore Spezies, die vor allem in den kalten polaren Gewässern dominiert. Die Fortpflanzung findet vom Spätwinter bis Anfang Frühjahr statt, also vor der Planktonblüte. Im Sommer während der Phytoplanktonblüte findet man die Tiere in Tiefen zwischen 0 - 100 m, bei bevorzugten Wassertemperaturen um 1 °C. Während der Freßphase werden Lipidreserven gespeichert, dann wandern die Tiere im Spätsommer zu ihrer Überwinterungstiefe zwischen 500 - 1000 m für adulte Tiere und 1500 - 2000 m für die Copepoditstadien C3 - C5 ab. Zum Winterende entwickeln sich dann wieder die adulten Stadien C6, die Fortpflanzung beginnt während und nach der Migration zur Oberfläche.

Calanus finmarchicus

C. finmarchicus ist eine boreale herbivore Spezies. Man findet sie in den "wärmeren" atlantischen Gewässern der Norwegischen See, die nördlichste Verbreitungsgrenze bildet der atlantische Wasserkörper des West-Spitzbergenstromes. Die Fortpflanzung findet während und nach der Phytoplanktonblüte statt, im Frühjahr bis Frühsommer. Die C5 Stadien von *C. finmarchicus* überwintern in Tiefen zwischen 1000 - 1500 m, die adulten Tiere C6 und die C1 bis C4-Stadien verteilen sich um 500 m Tiefe.

Systematik der "Copepoda" nach PARKER (1982)

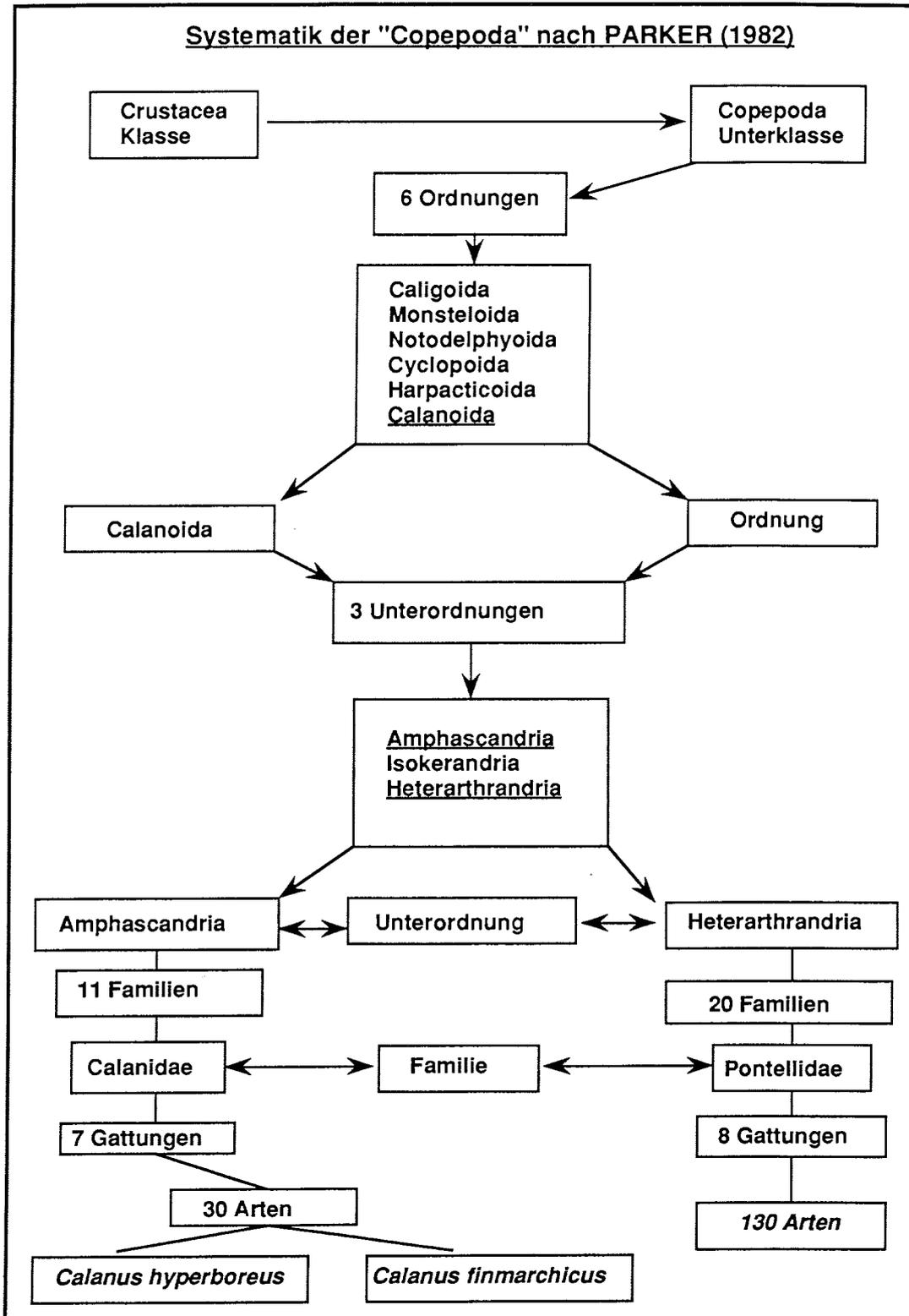


Abb.: 2

1.3.2. Tropische Copepoden (Pontellidae)

Pontellide Copepoden findet man hauptsächlich in subtropischen und tropischen Breiten. Nach HEMPEL & WEIKERT (1972) gehören sie zum Euneuston. Unter dem Begriff Euneuston werden Organismen zusammengefaßt, deren unmittelbare Individuendichte im Neustal zu allen Tageszeiten am höchsten ist. Auch die Ontogenese läuft hier im Bereich der oberen Wasserschicht zwischen 0 - 30 cm bevorzugt ab. Die grobe Beborstung der Mundwerkzeuge weist auf eine überwiegend carnivore Ernährung hin (WEIKERT 1973). Ebenfalls ist eine carnivore Lebensweise mit zunehmender vertikaler Distanz zur euphotischen Zone zu beobachten. In den phytoplanktonreichen Schelf- und Auftriebsgebieten hingegen überwiegen die herbivoren Arten.

Auffällig ist ihre starke blau-violette Färbung, HERRING (1967) interpretiert dieses zum einen als Schutz gegen ultraviolette Strahlung und zum anderen als Tarnung gegen Räuber.

WEIKERT (1975), beschreibt die Verbreitung von Pontelliden im zentralen und südlichen Atlantik nach drei Grundmustern, temperierte, subtropische und tropische Arten. Von den Umweltfaktoren, die die Verteilung der Arten beeinflussen können, erscheint die Temperatur als der wichtigste Faktor. Salzgehalte um 35 ‰ scheinen die Vorkommengrenze zwischen neritischen und ozeanischen Arten zu bestimmen. Auf dem offenen Ozean lassen sich sowohl die Verbreitung der Arten wie auch Unregelmäßigkeiten in der Verbreitung an Hand unterschiedlicher Produktivitäten einzelner Wassermassen deuten. Am häufigsten treten die Pontelliden in den Gebieten mit mittlerer Produktivität auf (150 - 250 mg C/m²/d). Somit sind sie durchaus als Bioindikator bestimmter Wassermassen geeignet (WEIKERT 1975).

2. DIE UNTERSUCHUNGSGEBIETE

2.1. ARKTIS

2.1.1. Die großräumigen Zirkulationen, die Hydrographie der Grönlandsee und der Framstraße

Erste ozeanographische Studien in der Grönlandsee wurden bereits um die Jahrhundertwende von Nansen durchgeführt (HELLAND-HANSEN & NANSEN 1909). Weiterführende Untersuchungen der Wassermassen des arktischen Beckens sowie des nördlichsten Teils des Atlantiks wurden in neuerer Zeit von

COACHMAN & AAGAARD (1974), AAGAARD & COACHMAN (1977), GORSHKOV (1983), QUADFASSEL & MEINCKE (1987) und anderen Autoren beschrieben. Daraus entstanden folgende Erkenntnisse über die Grönlandsee: Sie ist eine der wichtigsten Regionen der Ozeane, die zur Bildung von sauerstoffreichem Tiefenwasser beiträgt. Der Bildungsmechanismus dieses Tiefenwassers wird zur Zeit noch diskutiert (KILLIWORTH 1979). An ihrer östlichen Flanke fließt Atlantikwasser mit einem Salzgehalt $> 35\%$ und einer Temperatur $> 2^{\circ}\text{C}$ Richtung Norden, welches im weiteren Verlauf den West-Spitzbergenstrom (West Spitzbergen Current = WSC) bildet (Abb.: 3).

Der WSC spaltet auf seinem Weg nach Norden immer wieder Äste ab, die nach Süden abbiegen und sich mit dem Ost-Grönlandstrom (East Greenland Current = EGC) verbinden. Diese Äste werden in ihrer Gesamtheit als Atlantischer Rückstrom (Return Atlantic Current = RAC) bezeichnet.

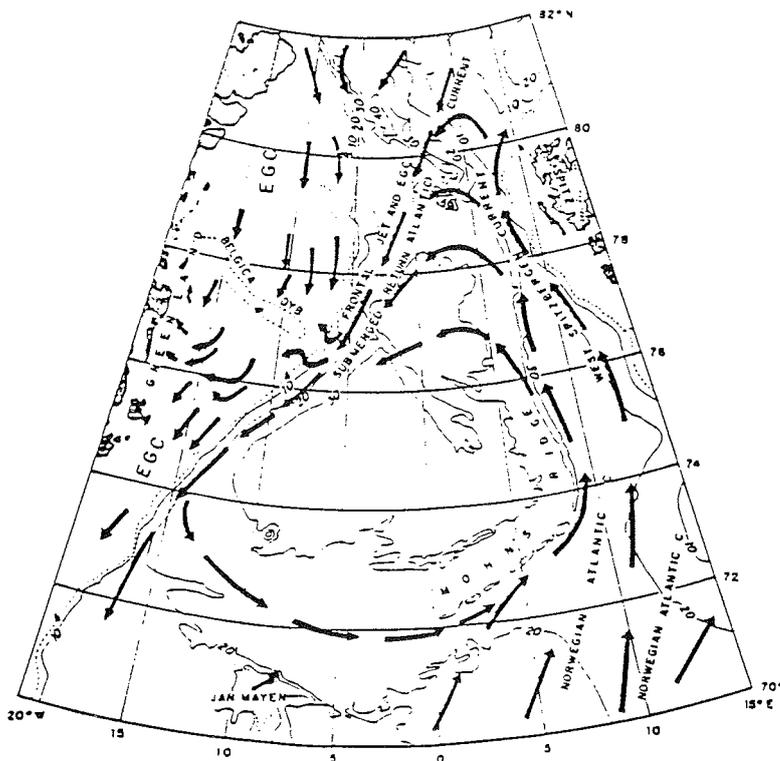


Abb.: 3 Strömungsmuster in der Grönlandsee. Karte aus PAQUETTE et al. (1985)

Zusätzlich wird der WSC auch durch den Landabfluß Spitzbergens und durch den kalten, salzarmen Ost-Spitzbergenstrom (East Spitsbergen Current = ESC) beeinflusst, der die Südspitze Spitzbergens im Uhrzeigersinn umrundet. Der ESC hat seinen Ursprung im arktischen Becken (GORSHKOV 1983).

Die Arktikfront trennt wärmeres, salzhaltigeres Atlantikwasser von kälterem, salzärmeren Grönlandseewasser; in der Grönlandsee folgt sie dem Mittelatlantischen Rücken (Knipovich Ridge).

Wasser atlantischen Ursprungs tritt in einer stark gebündelten Strömung durch die Framstraße ins Arktische Becken ein und wird dort vom Polarwasser überschichtet. Nur hier findet ein erheblicher Wassermassenaustausch über den atlantischen Ozean zwischen dem arktischen Ozean und den Weltmeeren statt.

Der EGC transportiert das polare Oberflächenwasser nach Süden. Dieses Wasser stammt zum überwiegenden Teil aus den Landabflüssen Rußlands und aus Schmelzwässern (KRAUSS 1955).

Er besteht nach COACHMAN & AAGAARD (1974) aus drei Wasserschichten: Oberflächen-, Mittel- und Tiefenwasser (Tab.: 1). Seine Hauptwassermasse strömt entlang dem ostgrönländischen Schelf. Sein Oberflächenwasser ist mit einem Salzgehalt von etwas über 30‰ relativ salzarm und mit einer Temperatur von ca. -1,8 °C nahe dem Gefrierpunkt des Meerwassers. Die Meeresoberfläche im Einflußbereich dieser Strömung ist überwiegend mit einer mehr oder weniger geschlossenen Eisschicht bedeckt. Der südwärts fließende EGC begrenzt die Grönlandsee an ihrer westlichen Flanke durch ein zweites Frontensystem, die Polarfront. Sie trennt das kalte, salzarme Wasser polaren Ursprungs von dem Grönlandseewasser, das sich aus dem polaren Wasser des Ostgrönlandstromes und dem atlantischen Wasser zusammensetzt. Diese Wassermassen bilden einen Wirbel, dessen Strömungsrichtung gegen den Uhrzeigersinn verläuft (JOHANNESSEN, 1986).

Tab.: 1 Charakterisierung der Wassermassen im Bereich der Grönlandsee und der Framstraße nach COACHMAN & AAGAARD, (1974).

Wassermasse	Temperatur	Salzgehalt	Vorkommen
Polares Wasser (PW)	< 0 °C	< 34‰	EGC 0 - 150 m
Arktisches Zwischenwasser (AIW)	> 0 °C	34 - 35‰	EGC 150 - 800 m
Atlantisches Wasser (AW)	>2 °C	> 35‰	WSC 0 - 800 m

2.1.2. Kleinräumige und mesoskalige Prozesse in der oberen Wasserschicht

Den oben beschriebenen großräumigen Prozessen überlagern sich besonders in Oberflächennähe kleinräumige und mesoskalige Prozesse (CODISPOTI 1968; WADHAMS 1981; PAQUETTE et al. 1985). Diese finden in Skalen von einigen Kilometern in der horizontalen und einigen Metern in der vertikalen Ausdehnung statt. Bodentopographie und Eisbedeckung gestalten neben den meteorologischen Bedingungen die hydrographischen Verhältnisse sehr variabel. So liegt fast ständig über dem Molloy-Tief bei 79°30'N und 2°E ein großer zyklonischer Wirbel, der in seinem Zentrum einen ständigen Auftrieb von Wasser aus tieferen Schichten an die Oberfläche bedingt (WADHAMS & SQUIRE, 1983; SMITH et al. 1984). Viele nicht permanente zyklonische und antizyklonische Wirbel als Auf- bzw. Abtriebszonen wurden bei anderen Messungen festgestellt (VINJE 1977; JOHANNESSEN et al. 1983). Sie sind häufig mit der Polarfront oder der Arktisfront assoziiert und bewirken dort eine Vermischung der sonst durch die Fronten recht stark getrennten Wasserkörper.

Nicht zu vernachlässigen ist die Frage, ob das Phytoplankton einen Einfluß auf den Dichtegradienten und somit auf horizontale und vertikale Mischungsprozesse hat (MITCHELL et al. 1989). Denn zum einen bestehen direkte Zusammenhänge mit dem Gashaushalt und dem Nährstoffhaushalt in der Wassersäule, zum anderen kann eine starke Phytoplanktonblüte aufgrund ihrer höheren Dichte gegenüber Seewasser die Dichtegradienten im Meerwasser ähnlich beeinflussen wie Salzgehalts- und Temperaturänderungen.

2.1.3. Die Eisbedeckung und ihre Einflüsse

Der westliche Teil der Framstraße ist fast ständig mit Packeis bedeckt, das mit der Ost - Grönlandströmung transportiert wird, während auf der Ostseite das wärmere Atlantikwasser für Eisfreiheit sorgt. Deshalb existiert in der zentralen Framstraße während des gesamten Jahres eine Eisgrenze, deren Lage relativ stabil ist. Sie stimmt in etwa mit der Grenze zwischen kaltem und warmem Wasser (Polarfront) überein, denn das Eis beginnt verstärkt abzuschmelzen, wenn es vom Wind in den wärmeren Wasserkörper getrieben wird (VINJE 1977). Im Einzelfall können Polarfront und Eisgrenze auch mehrere Meilen auseinander liegen. Bei der Eisschmelze im Frühjahr und Sommer kommt es zur Ausbildung von flachen Oberflächenschichten mit erniedrigtem Salzgehalt, die eine erhöhte Stabilität der Wassersäule bewirken, d.h. eine Durchmischung effektiv verhindern.

JOHANNESSEN et al. (1983) konnten an der Eiskante nördlich von Spitzbergen örtlich begrenzte, vom Wind induzierte Auftriebsereignisse nachweisen. Die Mechanismen, die zu diesen Vorgängen führen, sind im einzelnen noch nicht erforscht. Solche Phänomene haben zum Beispiel Auswirkungen auf die Nährstoffverteilung (PARSONS et al. 1984) und wahrscheinlich auch auf die Spurenmetallverteilung im Wasser.

Auf dem ostgrönländischen Schelf entsteht im Sommer eine große Polynya, die sich entlang der Küste erstreckt und über 100 km lang werden kann. Ihre Entstehung ist vermutlich strömungs- und gezeitenbedingt (WADHAMS 1981) und wird durch das Abschmelzen des Eises im Frühjahr und Sommer begünstigt.

Zusammengefaßt läßt sich das Untersuchungsgebiet im großskaligen Bereich durch den West-Spitzbergen Strom (WSC) und den Ost-Grönlandstrom (EGC) sowie die Mischwassermasse zwischen den beiden Strömungen charakterisieren. Im meso- und kleinskaligen Bereich sind Polynyas, mehr oder weniger langlebige Wirbel, Auf- und Abtriebsvorgänge an der Eiskante und Ausbildung von Wasserschichten durch Schmelzwasserbildung im Frontenbereich typisch.

2.2. OSTATLANTIK

2.2.1. Hydrographie des Ost - Atlantiks

Im folgenden sollen die großskaligen Oberflächenströmungen mit ihren meteorologischen Ursachen und den hydrographischen Verhältnissen im Ostatlantik zwischen der Biskaya um ca. 45°N und Kapstadt um ca. 35°S zusammenfassend beschrieben werden: Für den Südatlantik wurden sie erstmalig intensiv auf der Meteor-Expedition (1925 - 1927) erforscht und von DEFANT (1932 - 1962) und WÜST (1949) publiziert.

Im allgemeinen läßt sich das Oberflächenströmungssystem im Atlantik aus dem großräumigen Windfeld ableiten. Das Druckfeld wird im wesentlichen durch das Subtrophenhoch und den äquatorialen Tiefdruckgürtel bestimmt, wodurch die Westwindzone und die Passatwinde bedingt sind. Zwischen den entgegengesetzt gerichteten zonalen Winden der Westwinddrift mit ihren ostwärts gerichteten Windfeldern und dem NO/SO-Passat mit seinen westwärts gerichteten Bewegungskomponenten befinden sich die Roßbreiten (Abb.: 4).

Bezogen auf die wichtigsten großskaligen Strömungsverhältnisse im Meer, befindet sich im Bereich der Roßbreiten die subtropische Konvergenzzone, auf der Nordhalbkugel ca. 30°N - 40°N, auf der Südhalbkugel ca. 30°S - 40°S. In diesen

geographischen Breiten werden hohe Oberflächensalzgehalte gemessen, die auf hohe Verdunstungsraten durch intensive Sonneneinstrahlung zurückzuführen sind. Die Passatstromregion zwischen ca. 35°N - 15°N sowie ca. 25°S - 5°S hat neben den westwärts gerichteten nord- und südäquatorialen Stromsystemen (NEC / SEC) die äquatorwärts gerichteten Bewegungskomponenten, den Kanarenstrom im Nordatlantik und den Benguelastrom im Südatlantik.

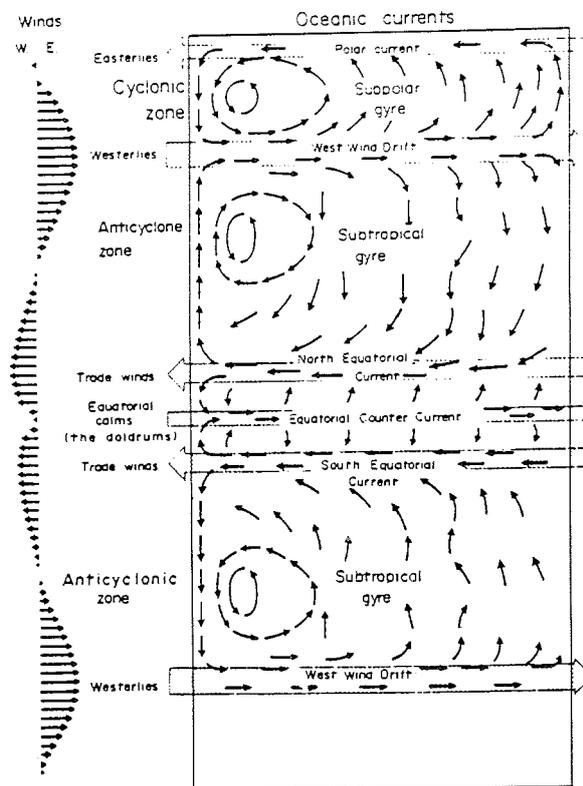


Abb.: 4 Vom Wind induzierte Strömungen im Atlantik
(nach MUNK, aus TCHERNIA, 1980)

Die Hauptursachen für die Entstehung der Auftriebszonen im Küstenbereich vor West-Afrika sind die nahezu küstenparallelen Passatwinde, die im Zusammenhang mit der Begrenzung des Meeres durch die Küste einen Ekman Transport von der Küste weg hervorrufen, sodaß an der Küste kaltes Tiefenwasser (Auftriebswasser)

aufsteigt. Weiterhin werden diese Auftriebsgebiete durch hohe Nährstoffkonzentrationen und durch hohe Primärproduktionsraten geprägt.

Im zentralen ozeanischen Bereich des Süd- und Nordatlantiks sind zwei antizyklonische Wirbelsysteme mit einer warmen und salzreichen Deckschicht ausgebildet. Da diese Region zwischen 20° - 5°S bzw. 20° - 5°N frei von Divergenzzonen ist, und außerdem der Jahresgang der Temperaturänderungen gering ist, wird keine tiefgreifende Vertikalkonvektion eingeleitet. Ein Nährstofftransport aus der Tiefe in die Oberfläche, wie er in den Auftriebszonen angetroffen wird, findet nicht statt, das Phytoplanktonwachstum ist begrenzt.

Folgt man einer weiteren Annäherung an den Äquator zwischen ca. 5°N - 10°N, dann trifft man eingebettet in die westwärts gerichteten Nord- und Südäquatorialströmungen auf den ostwärts gerichteten äquatorialen Gegenstrom (ECC). Im Nordsommer, wenn die Passatwinde nicht so stark sind, ist er sehr intensiv ausgeprägt. Im Nordwinter wird gewöhnlich nur der äußerste östliche Teil des ECC, der Guineastrom, beobachtet.

Äquatoriale Kalmenzonen und Gegenströme fallen stets zusammen. Diese Divergenzzonen am Äquator sind mit bestimmten hydrographischen Erscheinungen verknüpft.

Der äquatoriale Auftrieb hat seine Ursache in der Umkehrung der Ablenkungsrichtung der Corioliskraft von links (Südhalbkugel) nach rechts (Nordhalbkugel) am Äquator. Sie übernimmt die Funktion einer Begrenzung, die Wassermassen werden am Äquator auseinandergetrieben, sodaß in Abhängigkeit von der Jahreszeit ein Auftrieb von äquatorialen Kaltwasserzungen resultiert. Am Äquator kann auf diese Weise ein schmaler Streifen verhältnismäßig niedriger Oberflächentemperaturen entstehen.

Weiterhin kommt es unter dem Einfluß der hohen Niederschläge und der verstärkten Flusswasserzufuhr in der Intertropischen Konvergenzzone (ITCZ) zu einer Minderung des Oberflächensalzgehaltes. Die geringe Tiefenlage der Dichtesprungschicht, die hier den Charakter einer Sperrschicht annimmt, verhindert den vertikalen Austausch und trägt somit zu einer Verstärkung der Aussüßung bei (DIETRICH & KALLE 1965; TCHERNIA 1980).

2.2.2. Der Guineadom und der Angoladom im ostatlantischen Stromsystem

Zur Beschreibung mesoskaliger hydrographischer Verhältnisse im Ostatlantik soll im folgenden kurz auf die Entstehung der Dome eingegangen werden.

Der Guineadom hat seine mittlere Position nördlich des Äquators bei 12°N, 22°W und der Angoladom hat sein Zentrum südlich des Äquators bei 13°S, 3 - 4°E. Die Entstehung dieser Phänomene wird nach MAZEIKA (1967) und VOITURIEZ (1981a, b) auf das Zusammenwirken des nordäquatorialen Gegenstromes (NECC) bzw. südäquatorialen Gegenstromes (SECC) an der Meeresoberfläche und des nordäquatorialen Unterstromes (NEUC) bzw. südäquatorialen Unterstromes (SEUC) in den Schichten unterhalb der Sprungschicht mit der durch die Rotation der Windschubspannung erzeugten Vertikalgeschwindigkeit im Niveau der Ekman Tiefe zurückgeführt.

Sie werden durch eine kuppelförmige Aufwölbung der Sprungschicht charakterisiert, die in den Sommermonaten bis auf etwa 20 m unter der Meeresoberfläche aufsteigt. Durch die Kuppelbildung gelangt im zentralen Teil des Domes nährstoffreiches Tiefenwasser in die euphotische Zone, daher zeichnet sich die Umgebung der Dome durch eine erhöhte biologische Produktivität aus.

HAGEN & SCHEMAINDA (1984) konnten an Hand von aktuellen Beobachtungen zeigen, daß das Südatlantische Zentralwasser (SACW) ganzjährig bis 15°N bis zur Breite von Cap Verde vorkommt, im Winter und Frühjahr ist es sogar im Upwelling Unterstrom (UUC) bis 18°N zu beobachten. Daraus ergibt sich die Schlußfolgerung, daß das äquatoriale Stromsystem ganzjährig mit dem Auftriebsgebiet vor Nordwest - Afrika gekoppelt ist. Der Guineadom ist das ganzjährige Bindeglied zwischen diesen beiden Stromsystemen.

2.2.3. Charakterisierung der Wassermassen

Einen zusammenfassenden Überblick über die globalen Wassermassen geben EMERY & MEINCKE (1986). Dabei differenzieren sie den Oberflächenbereich zwischen 0 - 500 m, den Zwischenbereich 500 - 1500 m und den Tiefenbereich von 1500 m - Boden (Abb.: 5).

Im **Oberflächenbereich** des Ostatlantiks unterhalb der Sprungschicht dominieren zwei Wassermassen.

Eastern North Atlantic Central Water (ENACW) zwischen ca. 10°N - 65°N, mit einem Salzgehalt von 35,2 - 36,7‰ und einer Temperatur von 8,0 - 18,0 °C.

South Atlantic Central Water (SACW) zwischen ca. 40°S - 10°N mit einem Salzgehalt von 34,3 - 35,8‰ und einer Temperatur von 5,0 - 18,0 °C.

Die Hauptwassermassen zwischen 500 - 1500 m.

Antarctic Intermediate Water (AAIW) im Bereich zwischen 60°S - 10°N gebildet. Der Salzgehalt beträgt 33,8 - 34,8‰, und die Temperatur liegt zwischen 2,0 - 6,0 °C.

Eastern Atlantic Subarctic Intermediate Water (EASIW) im Bereich von 10°N - 60°N, mit einem Salzgehalt von 34,4 - 35,3‰ und einer Temperatur von 3,0 - 9,0 °C.

Dieser Wasserkörper umschließt eine Zunge des Mediterranean Waters (MW), die sich nach Westen hin bis ca. 30°W und zwischen 20°N - 40°N ausdehnt. Es strömt bei Gibraltar in einer Tiefe von etwa 300 m aus, schichtet sich seiner Dichte entsprechend ein, gleitet den Kontinentalabhang hinab und breitet sich dann in einer Tiefe von 1000 - 2000 m aus. Dieses Zwischenwasser ist durch höhere Salzgehalte 35,0 - 36,2‰ und höhere Temperaturen 2,6 - 11,0 °C charakterisiert.

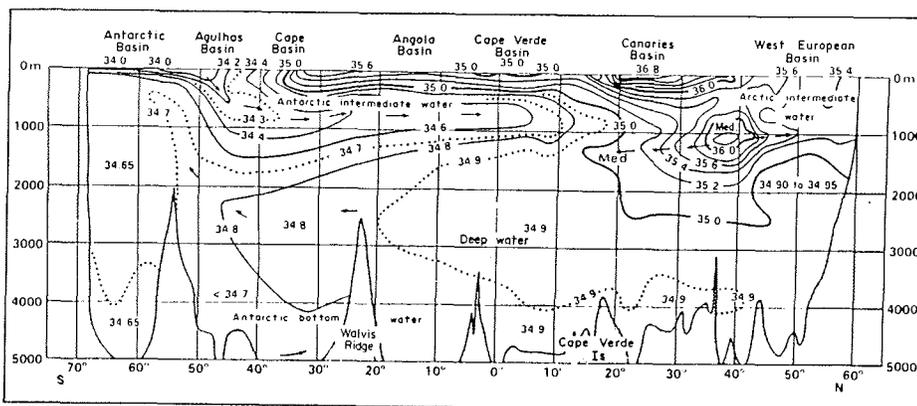


Abb.: 5 Querschnitt durch die Ostatlantischen Becken mit Angabe des Salzgehaltes in ‰ aus TCHERNIA, (1980).

Die Bodenwassermassen zwischen 1500 m - Boden.

North Atlantic Deep Water (NADW) mit Salzgehalten von 34,8 - 35,0 ‰ und Temperaturen von 1,5 - 4,0 °C.

Antarctic Bottom Water (AABW) mit Salzgehalten von 34,64 - 34,72 ‰ und Temperaturen von -0,9 - 1,7 °C.

3. MATERIAL UND METHODEN

3.1. PROBENNAHMEMETHODEN

3.1.1. Ort und Zeitraum der durchgeführten Untersuchungen

Seewasser- und Zooplanktonproben aus der Oberfläche und dem Tiefenwasser wurden im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen auf insgesamt vier Expeditionen mit RV "POLARSTERN" genommen. Die Untersuchungsgebiete umfaßten die Arktis im Bereich der Grönlandsee und der Framstraße mit den Reisen ARK VI/3 - 4, vom 5.6. - 7.7.1989 und ARK VII/2 vom 10.7. - 15.8.1990, sowie den Ostatlantik zwischen Kapstadt und Bremerhaven mit den Reisen ANT VII/5 vom 12.3. - 6.4.1989 und ANT VIII/7 vom 29.4. - 22.5.1990.

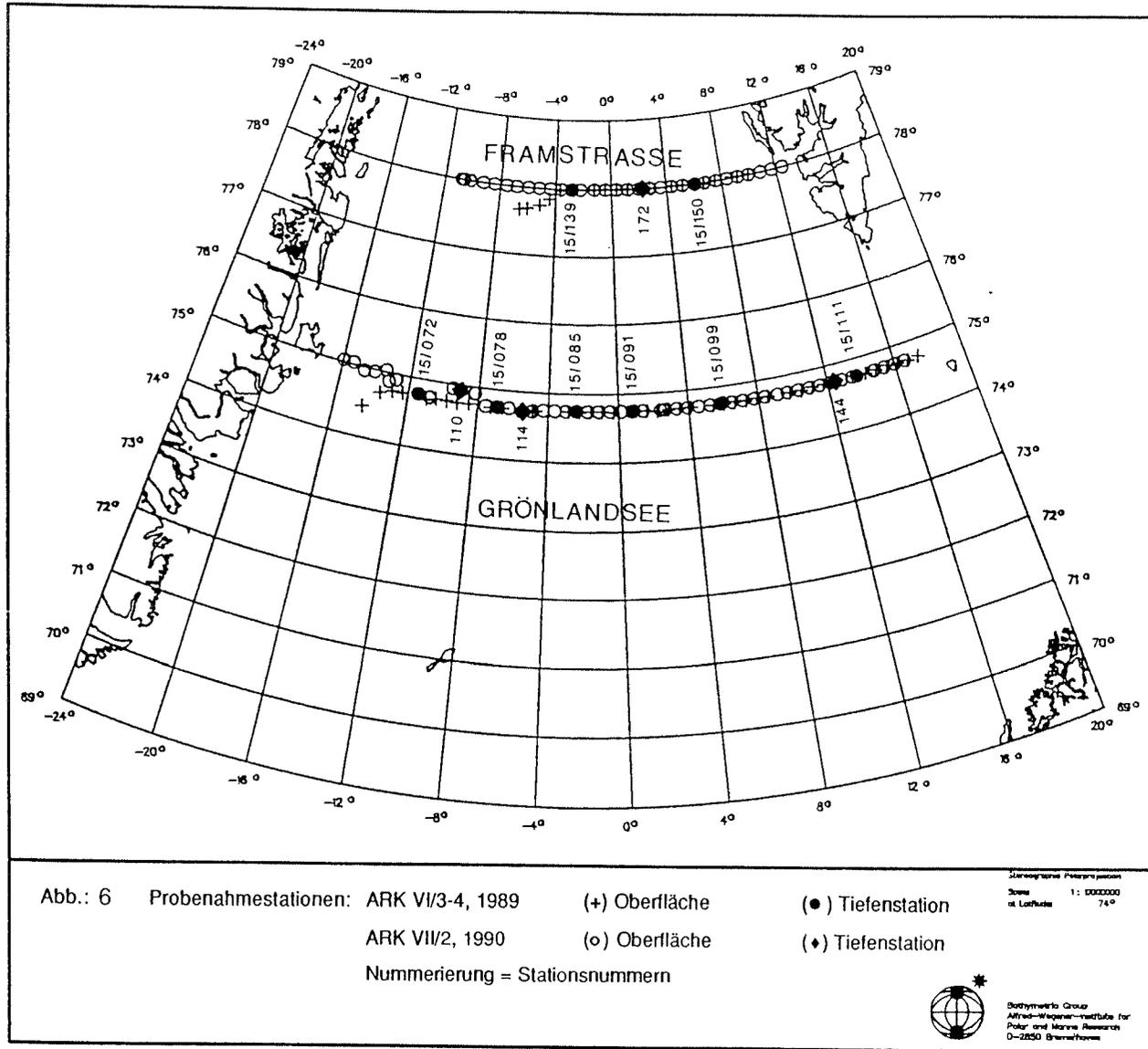
Die Kombination meteorologischer, ozeanographischer, biologischer und chemischer Arbeitsgruppen an Bord von "Polarstern", zeitaufwendiges Eisbrechen sowie der limitierende Faktor Schiffszeit hatten zur Folge, daß Kompromisse mit anderen wissenschaftlichen Disziplinen geschlossen werden mußten, die vor allem die Probenahme von Tiefenwasser und die Multinetzeinsätze betreffen. So konnten auf den Atlantikschnitten aus Zeitmangel die Multinetzeinsätze nicht wiederholt werden, wenn zu wenig Material vorhanden war.

3.1.2. Probennahmemethoden während ARK VI/3 - 4 und ARK VII/2

Der im folgenden als "**Grönlandsee**" bezeichnete Schnitt umfaßt eine Stationsfolge von 44 Einzelstationen im Jahre 1989 und 53 Einzelstationen im Jahre 1990 durch die Grönlandsee auf 74,5° nördlicher Breite zwischen dem ostgrönländischen Schelf und der Bäreninsel (Abb.: 6).

Der im folgenden als "**Framstraße**" bezeichnete Schnitt umfaßt eine Stationsfolge von 21 Einzelstationen im Jahre 1989 und 31 Einzelstationen im Jahre 1990 auf 78° nördlicher Breite zwischen dem Kontinentalabhang Ostgrönlands und West-Spitzbergens (Abb.: 6).

Die Distanz zwischen den einzelnen Stationen auf den Horizontalschnitten betrug ca. 10 sm.



3.1.2.1. Arktisches Oberflächenwasser

Voraussetzung für die Messung von extrem niedrigen Spurenmetallkonzentrationen im Meerwasser ist eine einwandfreie Probenahme, um Kontaminationen, die durch das Schiff verursacht werden können, weitestgehend zu vermeiden. Besondere Vorsicht ist bei dem Kupfer geboten, welches oft in den Antifoulingfarben für den Schiffsrumpf verwendet wird, bei Blei, das in der Bleimennige enthalten ist, und bei Zink, welches für die Schiffsanoden verwendet wird. Es wurden Techniken angewendet, die die Kontamination bei der Probenahme auf ein Minimum beschränken. Im folgenden soll auf die Arbeitsweise an Bord von Polarstern, sowie die verwendeten Probenahmegeräte genauer eingegangen werden.

Die Probenahme des Oberflächenwassers erfolgte mit einem MERCOS-Wasserschöpfer (FREIMANN & SCHMIDT, 1983).

Dieser Wasserschöpfer wurde direkt vor der Probenahme in einem Reinraumlaborcontainer der Klasse 100 (laminar flow) mit zwei Teflonflaschen bestückt und in einem gereinigten, verschließbaren Kunststoffgefäß zum Bugausleger des Schiffes transportiert.

Mit einer hier installierten Handwinde wurde der Schöpfer an einem Kevlarseil 12 m vor dem Schiff, bei mäßiger Vorrusfahrt ins Wasser gefiert. Der Schöpfer wurde mit einem kunststoffummantelten Bleigewicht ausgelöst und nach zwei Minuten gehievt. Zur Bestimmung der gelösten Metallkonzentrationen wurden die Wasserproben direkt nach der Probenahme im Reinraumcontainer durch ein säuregereinigtes Polycarbonat-Filter ($0,4 \mu\text{m}$) (PATTERSON & SETTLE, 1976) mittels einer Sartoriusfiltrationseinheit zur Druckfiltration (N_2) filtriert (KREMLING et. al., 1983).

Unter den Begriff "gelöst" fallen alle Stoffe, die durch ein Filter mit der Porengröße $0,4 \mu\text{m}$ filtriert werden können, während der Filtrerrückstand unter dem Begriff "partikuläres Material" zusammen gefasst wird (GOLDBERG 1952). Dabei kann die gelöste Fraktion durchaus organisch und anorganisch komplexierte, kolloidal gelöste und an Partikel $< 0,4 \mu\text{m}$ adsorbierte Metalle enthalten.

Das Filtrat wurde mit 1 ml HNO_3 suprapur auf einen pH-Wert von ca. 1,7 angesäuert und in gereinigten Teflonflaschen aufbewahrt. Die Säurekonservierung verhindert eine Adsorption der Metalle an die Gefäßwand, weiterhin werden organisch komplexierte gelöste Metallverbindungen zerstört, so daß ca. 90 % des Total-Schwermetallgehaltes erfasst werden (MART, 1983). Die Flaschen wurden einzeln in Polyethylenbeuteln verpackt und in Aluminiumkisten transportiert. Die weitere Aufarbeitung der Proben wurde im Institut durchgeführt. Aus der zweiten

Flasche wurden Proben zur Bestimmung der Nährstoffkonzentrationen und des Salzgehaltes abgefüllt.

3.1.2.2. Arktisches Tiefenwasser

Zur vertikalen Verteilung der Metallkonzentrationen wurden während ARK VI/3 - 4 und ARK VII/2 insgesamt 12 Tiefenprofile in den verschiedenen Wassermassen der Arktis gefahren (Tab.: C, Anhang).

Es kam ein Kranzwasserschöpfer der Firma General Oceanics zum Einsatz, der mit 12 GO - FLO Schöpfern à 12 dm³ bestückt wurde. Die handelsüblichen Dichtungsringe wurden durch Teflon-O-Ringe ersetzt. Sofort nachdem die Rosette an Deck war, wurde Probenwasser zur Bestimmung der Spurenmetallkonzentrationen abgefüllt. Parallel dazu wurden auch hier Proben zur Bestimmung der Nährstoffkonzentrationen und des Salzgehaltes abgefüllt. Im folgenden wurde wie oben verfahren.

3.1.2.3. Schnee- und Schmelzwasserproben

Im Juni 1989 wurden im Bereich des Ostgrönlandschelfs bei einer Eisbedeckung von 9/10 sehr niedrige Bleikonzentrationen im Wasser gemessen. Es wurde vermutet, daß der größte Teil des durch die Atmosphäre eingetragenen Bleianteils im Oberflächenschnee der eisbedeckten Region enthalten sein könnte.

1990 bestand die Möglichkeit, bei einer Expedition in das gleiche Gebiet eine Schneeprobe zu nehmen, Station: 78°10,6N / 14°03,7W.

Der schon etwas härtere Schnee wurde mit einer Kunststoffschaufel in einem säuregereinigten 5 l Becherglas gesammelt und mit einem Urglas abgedeckt. Dann wurde die Probe im Reinraumcontainer bei 20 °C aufgetaut, Dauer ca. 3 Stunden. Ein Teil der Probe wurde durch ein gereinigtes Polycarbonat 0,4 µm Filter druckfiltriert. Danach wurde die filtrierte und unfiltrierte Probe mit HNO₃ suprapur auf einen pH - Wert von ca.1,7 angesäuert und bis zur weiteren Aufarbeitung, die nach 2 Monaten erfolgte, in gereinigten Polyethylenflaschen aufbewahrt.

Gleichzeitig bestand auf dieser Station die Möglichkeit, Schmelzwasser aus einem sogenannten "melting pool" (kleine Schmelzwasserbereiche von ca. 1 m² Fläche und 30 - 60 cm Tiefe) zu entnehmen. Dieses wurde direkt mit einer Kunststoffkelle in eine gereinigte Polyethylenflasche abgefüllt und mit HNO₃ angesäuert.

Eine weitere Probe wurde im Bereich der ostgrönländischen Polynya bei 81°53,8N / 10°46,9W von einem einzelnen, schwimmenden Gletschereisberg, der ca. 2 - 3 m

aus dem Wasser ragte, entnommen. Die Fläche betrug ca. 1 km². Dieser im Auftauen begriffene Eisberg war von Sedimenten durchsetzt, das Eis wird auch als "dirty ice" bezeichnet. An den Rändern des Eisberges wurde das Schmelzwasser in "kleinen Wasserfällen" in das umgebende Meerwasser eingetragen. Es bestand die Möglichkeit, mit einer langen Vorrichtung vom Schiff aus eine Probe zuzunehmen, die unfiltriert mit HNO₃ suprapur angesäuert wurde. Damit soll eine qualitative Aussage über den Metalleintrag aus dieser Quelle gemacht werden. Die weitere Aufarbeitung erfolgte im Institut.

3.1.2.4. Arktische Copepoden

Im Zooplankton der Arktis wurden die zwei dominanten Copepodenarten für die Spurenanalytik ausgewählt. *Calanus hyperboreus* ist eine arktische Spezies, *Calanus finmarchicus* eine überwiegend boreale Art. Auch gibt es Regionen, in denen beide Arten gleichzeitig vorkommen. Die Tiere sind in den Sommermonaten hauptsächlich in der euphotischen Zone zur Futteraufnahme zu finden. Für den Fang der Tiere kam ein Bongonetz (Maschenweite 330 µm; Rahmendurchmesser 50 cm) zum Einsatz. Das Netz wurde auf 100 m Wassertiefe gefiert und langsam mit gleichbleibender Geschwindigkeit an die Oberfläche gehievt.

Ein Aliquot der Probe wurde in einen Kunststoffeimer überführt. Aus dieser Probe wurden nach 5 - 10 Stunden (die zur teilweisen Darmentleerung dienen sollten) lebende adulte Tiere (C6 - Stadien) für die metallanalytischen Konzentrationsbestimmungen sortiert. Pro Station wurden drei Proben mit 20 - 40 Tieren (falls vorhanden) ausgezählt. Um Salz und andere Partikel abzuspülen, wurden die einzelnen Tiere während des Zählvorganges in Milli-Q-Wasser getaucht und anschließend in gereinigten Eppendorfgläsern (Polyethylen) bei -20 °C aufbewahrt. Die weitere Aufarbeitung erfolgte unter Reinraumbedingungen im Institut.

3.1.3. Probennahmemethoden während ANT VII/5 und ANT VIII/7

Der im folgenden als "Atlantik" bezeichnete Schnitt umfaßt eine Stationsfolge von 43 Einzelstationen im Jahr 1989 und 38 Einzelstationen im Jahr 1990 durch den Ostatlantik zwischen Kapstadt und dem Iberischen Becken. Die Distanz zwischen den einzelnen Stationen betrug ca. 150 sm (Abb.: 7).

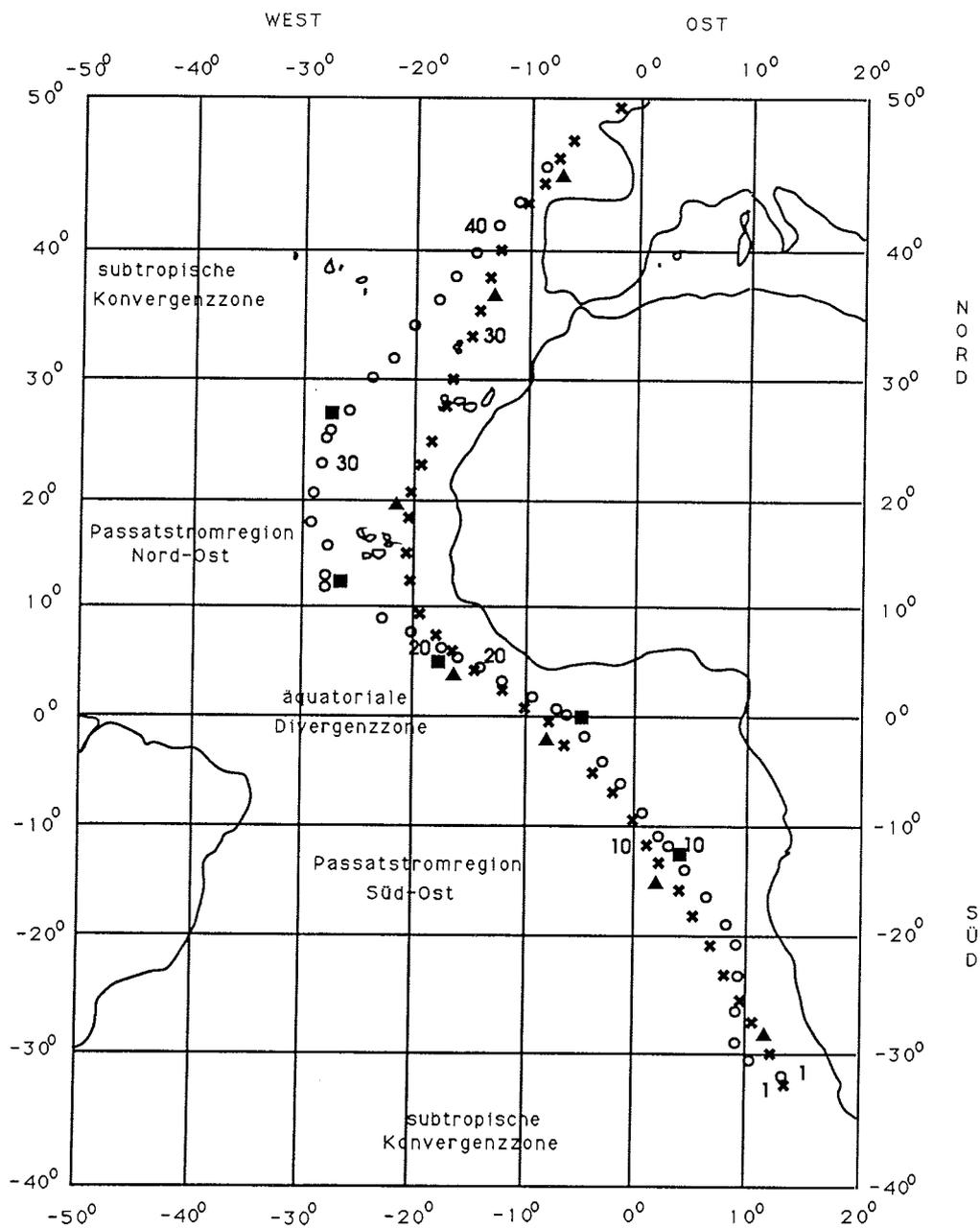


Abb.: 7 Probenahmestationen: ANT VII/5 (o) Oberfläche (■)Tiefenstation
 ANT VIII/7 (*)Oberfläche (▲)Tiefenstation
 Nummerierung = Stationsnummern

3.1.3.1. Atlantisches Oberflächenwasser

Die Probenahme von Oberflächenwasser erfolgte 1989 nur mit dem Mercoschöpfersystem vom Bugausleger, während 1990 zusätzlich das KPS (Kieler Pumpsystem) eingesetzt wurde (KREMLING, 1983). Dabei handelt es sich um ein Schnorchelrohr, das im hydrographischen Schacht des Schiffes verankert wurde. Der Ansaugstutzen besteht aus Teflon und befindet sich 2 m unter dem Schiffsrumpf von Polarstern, also in einer gesamten Wassertiefe von ca. 14 m. Über einen Polyethylenschlauch wurde mit Hilfe einer Teflonmembranpumpe das Wasser kontinuierlich durch eine Cleanbench (laminare Reinraumzone) gepumpt. Über ein "By-pass-System" wurden die Proben genommen. Da die Metallkonzentrationen und die partikulären Anteile im ozeanischen Bereich des Atlantiks sehr gering sind, wurden die Wasserproben, um Kontaminationen durch Filtration zu vermeiden, direkt mit HNO₃ suprapur angesäuert.

3.1.3.2. Atlantisches Tiefenwasser

Auf ANT VII/5, 1989 und ANT VIII/7, 1990 wurden insgesamt 12 Tiefenprofile gefahren (Tab.: D, Anhang).

1989 wurden 6 "close-open-close" Schöpfer à 10 dm³ der Fa. General Oceanics benutzt. Die Schöpfer wurden geschlossen an einem hostalenummantelten Draht durch die Wasseroberfläche in Serie gefahren, sie öffneten sich bei ca. 10 m Wassertiefe durch den hydrostatischen Druck und wurden dann bei den entsprechenden Tiefen mit einem kunststoffummantelten Bleigewicht geschlossen. Direkt nachdem die Schöpfer an Bord waren, wurden Proben für die Bestimmung der Metallkonzentrationen, Salzgehalte und Nährstoffe abgefüllt. Die Einsatztiefe wurde durch die Drahtlänge bei 1200 m limitiert.

1990 kam ein Kranzwasserschöpfer mit 12 GO-FLO Schöpfern à 12 dm³ und einem integrierten CTD-Multisonden-Meßsystem zum Einsatz. Das CTD-System registrierte während des Fierens kontinuierlich Salzgehalt, Dichte, Temperatur und die Sauerstoffkonzentration.

Sofort nachdem die Rosette an Deck war, wurden Vergleichsproben zur Messung der Sauerstoffkonzentration genommen, fixiert und nach einer Stunde gemessen.

Weiterhin wurden Proben zur Bestimmung der Spurenmetallkonzentrationen, des Salzgehaltes und der Nährstoffe abgefüllt.

3.1.3.3. Atlantische Copepoden aus der Oberfläche

Neustonproben wurden zweimal täglich (20 min vor Sonnenaufgang bzw. 20 min nach Sonnenuntergang) mit dem Neustonschlitten gefangen. Netzrahmen und Gestell bestehen aus Aluminium. Der Schlitten wurde mit 2 x 4 Netzen, Maschenweite 330 µm, bestückt, die Netzöffnungen betragen 30 x 15 cm. Zwei Netze wurden jeweils übereinander montiert, so daß die obere Netzöffnung nur zur Hälfte eintauchte, während von dem unteren Netz die oberen 10 - 30 cm der Wasseroberfläche im Abstand von ca. 20 m von der Bordwand durchfischt wurden. Bei einer Schleppzeit von 15 min, und einer Schiffsgeschwindigkeit von 4 kn wurde ein Wasservolumen von ca. 450 m³ durchfischt.

Die lebenden Organismen wurden unter dem Binokular sortiert, den verschiedenen Taxa zugeordnet und in gereinigten Eppendorfgläsern bei -20 °C tiefgefroren. Die Aufarbeitung der Proben mit Gefriertrocknung, Druckaufschluß und AAS-Analyse erfolgte im Labor.

3.1.3.4. Atlantische Copepoden aus der Tiefe

Auf ANT VII/5 und ANT VIII/7 bestand die Möglichkeit, parallel zu der horizontalen Probennahme des Neustons, Zooplankton an ausgewählten Tiefenstationen zu fangen. Als Fanggerät wurde ein Multischließnetz der Fa. Hydrobios, Kiel eingesetzt. Es besteht aus einem Metallrahmen, Öffnungsfläche 0,25 m², einem eingebauten Druckmesser und einem elektrischen Auslösemechanismus.

Insgesamt können 5 Netze von 2,5 m Länge angebracht werden. Die Maschenweite betrug 330 µm, das Fanggerät wurde mit 0,5 m/s auf Tiefe gefiert und mit 1 m/s gehievt. Somit konnten 5 vorgegebene Tiefenabschnitte beprobt werden.

Die Tiere wurden entsprechend der vorgegebenen Tiefen aus den einzelnen Netzen sortiert und wie oben für die weitere Bearbeitung im Institut tiefgefroren.

SPURENANALYTIK VON SPURENMETALLEN IM MEERWASSER

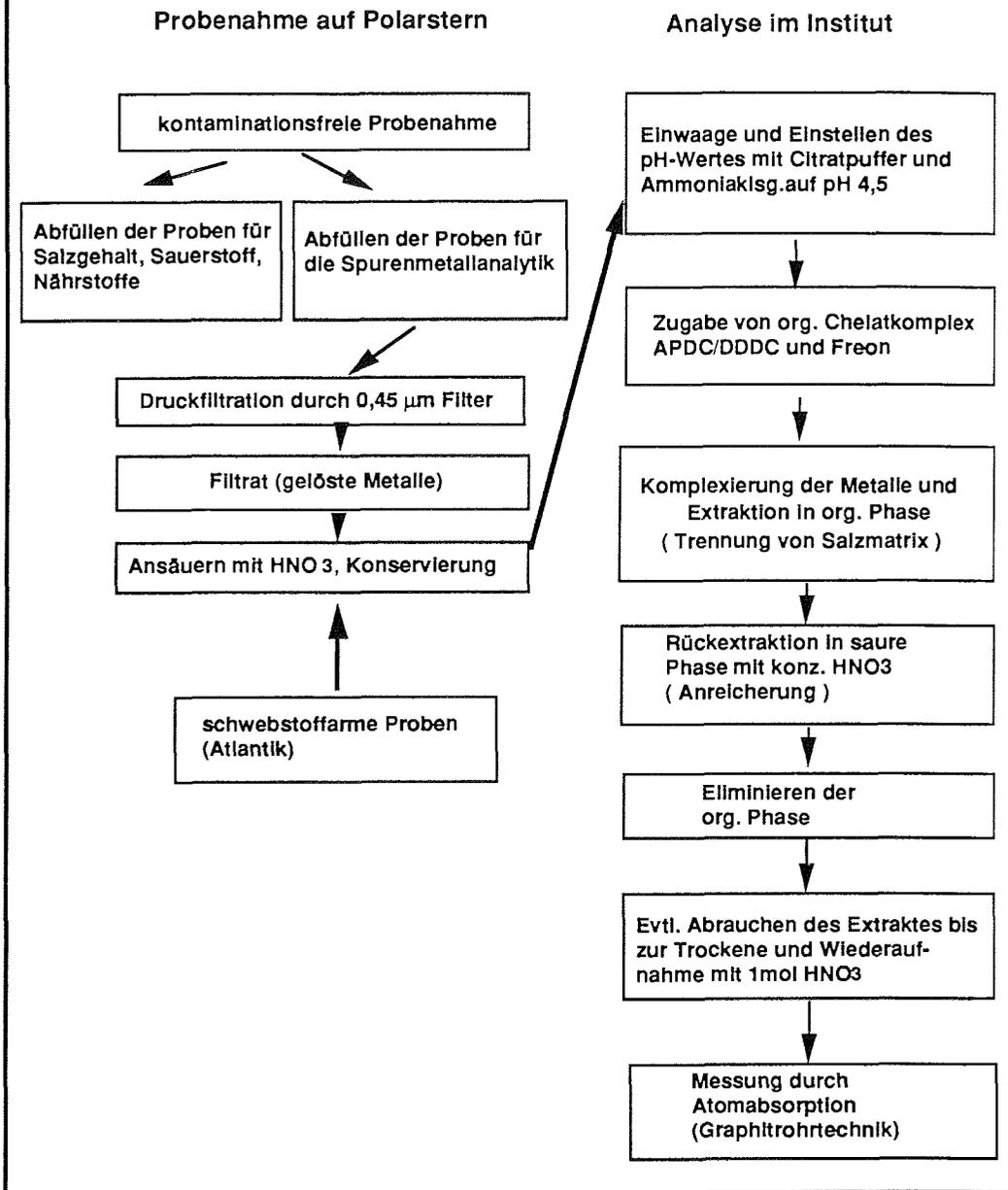


Abb.: 8 Probenahme und Aufarbeitungsschema für Meerwasserproben.

3.2. ANALYTISCHE METHODEN

3.2.1. Bestimmung von gelösten Spurenmetallen im Meerwasser

Die Spurenmetallkonzentrationen von Pb, Cd, Cu, Zn, (Co, Ni, Fe, Mn siehe Anhang) wurden 4 - 8 Wochen nach der Probennahme in den angesäuerten Meerwasserproben analysiert. Um indirekte und direkte Kontaminationen zu vermeiden, wurde in einem Reinraum der "Klasse 100" (laminar flow) gearbeitet. Indirekte Kontaminationen können durch Staubpartikel bei geöffneter Probenflasche und einer falschen Handhabung der Probennehmer hervorgerufen werden, z. B. durch Abrieb von laufenden Drähten auf dem Schiff. In Abb.: 9 werden die kritischen Momente während der Probenaufarbeitung graphisch dargestellt.

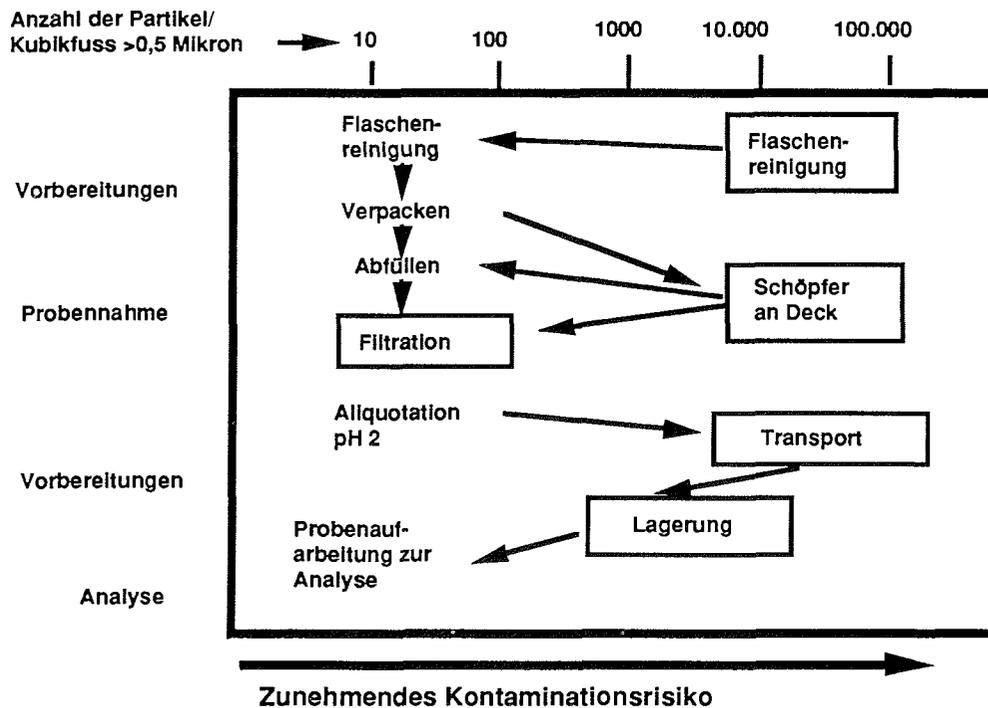


Abb : 9 Kontaminationsrisiken während der Probenaufarbeitung, nach MART (1982).

Direkte Kontaminationen können durch das Material der Probenflasche, des Probennehmers sowie durch Säuren, andere Chemikalien und Filter hervorgerufen

werden. Dieses läßt sich jedoch weitestgehend einschränken, indem die Gefäße und Reagenzien einer vorherigen sorgfältigen Reinigung unterzogen werden.

3.2.1.1. Reinigung von Probengefäßen und Reagenzien

Für die analytische Aufarbeitung wurden nur Teflon-, Nalgene- oder Quarzglasgefäße benutzt. Die Gefäße wurden für die Grundreinigung mindestens 1 Woche in einer alkalischen Reinigungslösung (Mucasol) aufbewahrt. Als nächstes erfolgte eine Reinigung mit 1:1 verd. konz. HCl. Auch hier wurden die Gefäße mindestens 1 Woche im Reinigungsbad aufbewahrt. Dann wurden die Gefäße mit Reinstwasser (Fa. Millipore) gespült und mit 1 molare HNO_3 suprapur gereinigt.

Die verwendeten Teflonprobenflaschen für die Mercoschöpfer wurden an einer Ausdämpfappatur der Fa. Hydrobios, Kiel, unter Rückfluß mit HNO_3 konz. suprapur gereinigt.

Pipettenspitzen wurden vor der Benutzung mit APDC/DDDC - Lösung gereinigt, mit Reinstwasser gespült und unter der Cleanbench getrocknet.

APDC/DDDC - Lösung (4 %):

Je 1 g APDC (Pyrrolidindithiocarbonsäure-(1)Ammoniumssalz) und DDDC (Diäthylammonium-N,N-diäthyl-dithiocarbamat) wurden in 50 cm^3 Reinstwasser gelöst und zweimal mit je 10 cm^3 Freon in einem 100 cm^3 Teflonscheidetrichter extrahiert (Reinigungsprozeß). Die Freonphasen wurden verworfen, die Komplexlösung wurde täglich neu angesetzt und in einem Teflonkolben bei 4 °C aufbewahrt.

Oxin (0,06%)

0,15 g Oxin wurden in 250 cm^3 Chloroform gelöst.

Freon TF und Chloroform

Das handelsübliche Freon bzw. Frigen 113, Fa. Dupont und Chloroform wurde destilliert und in Quarzkolben aufbewahrt.

Citrat-Puffer-Lösung (10 %)

Diammoniumhydrogen-Citrat wurden in Reinstwasser gelöst, 100 cm^3 wurden mit 1 cm^3 der APDC/DDDC-Lösung versetzt und in einem 250 cm^3 Teflonscheidetrichter mit 2 x 20 cm^3 Freon extrahiert (Reinigungsprozeß). Die Freonphasen wurden verworfen, die Puffer-Lösung wurde in einer Teflonflasche aufbewahrt.

Salpetersäure

Konz. HNO_3 (p.A. Merck) wurde mit Hilfe einer Quarzdestille zur Oberflächenverdampfung (Fa. Kürner) gereinigt und in einer Quarzflasche aufbewahrt. Die

benötigte 1 molare HNO_3 wurde durch entsprechende Verdünnung mit Reinstwasser hergestellt und ebenfalls in einem Quarzgefäß aufbewahrt.

Ammoniaklösung (1:10 verd.)

Ammoniaklösung suprapur, Fa. Merck.

Metall - Eichlösungen

Es wurden Standardlösungen der Fa. Merck/Titrisol verwendet. Der Arbeitsstandard wurde in 1molarer HNO_3 mit folgenden Konzentrationen angesetzt.

Zn, Cd	$2 \times 10^{-6} \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$
Mn	$1 \times 10^{-5} \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$
Cu, Co	$2 \times 10^{-5} \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$
Pb, Fe, Ni	$4 \times 10^{-5} \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$

NASS-2

Northern Atlantic Seawater Standard Reference Material for Trace Metals; National Research Council, Canada.

IQRT-1

Lobster Hepatopankreas; Marine Reference Material for Trace Metals; National Research Council, Canada.

3.2.1.2. Anreicherung und Messung der Metalle im Meerwasser

Die Direktbestimmung der Spurenmetalle Pb, Cd, Co, Cu, Ni, Zn, Fe und Mn im Meerwasser und Schnee mit Hilfe der AAS (Atom Absorptions Spektroskopie) ist wegen der geringen Konzentrationen und/oder der hohen Salzmatrix nicht möglich. Deshalb wurde eine flüssig-flüssig Extraktion in Anlehnung an die Methode von DANIELSSON et al. (1978) durchgeführt. Die gesamte Probenaufarbeitung wird in Abb.: 8 graphisch dargestellt.

Die Wasserproben wurden eingewogen, der pH - Wert von 4,5 mit Diammoniumhydrogencitrat - Puffer und Ammoniaklsg. (1:10 verd.) eingestellt.

Die o.g. Metalle wurden mit APDC/DDDC komplexiert. Als Extraktionsmittel wurde Freon verwendet, es hat eine sehr geringe Löslichkeit in Wasser (0,017 Gew.-% bei 21 °C), einen niedrigen Metallblindwert und es erfolgt eine schnelle Trennung von der wässrigen Phase. Durch Rückextraktion in Salpetersäure erfolgte die Anreicherung. Die gewonnenen Extrakte wurden bis zur Trockene abgeraucht und mit 1 molarer HNO_3 aufgenommen. Der Anreicherungsfaktor war 1:200 für die Arktisproben und 1:400 für die Atlantikproben.

Mangan wurde als Manganoxinat mit Chloroform bei einem pH - Wert von 9,3 extrahiert (GRASSHOFF et al. 1983).

Die sauren Extrakte wurden mit einem Perkin-Elmer Atom-Absorptions-Spektrometer (Modell 3030 / Graphitrohrtechnik / Zeemankorrektur) in Verbindung mit einer HGA 600 und einem Autosampler (Modell AS 60) mit folgenden Temperatur - Zeitprogrammen gemessen (Tab.: 2).

Tab.: 2 Temperatur - Zeitprogramme für die Messung der Meerwasserproben
* Argongas - Stop

Element	Wellenlänge	Meßvol. (µL)	Veraschung	Atomisierung
Cd	228,8	20 - 40	350 °C/40 sec	1600 °C/6 sec*
Pb	283,3	20 - 40	500 °C/40 sec	1600 °C/6 sec*
Cu	324,7	20 - 40	1200 °C/40 sec	2400 °C/6 sec*
Ni	232,0	20 - 40	1300 °C/40 sec	2600 °C/6 sec*
Zn	213,9	20 - 40	330 °C/40 sec	1800 °C/6 sec*
Co	242,5	20 - 40	1300 °C/40 sec	2600 °C/6 sec*
Fe	248,3	20 - 40	1200 °C/40 sec	2500 °C/6 sec*
Mn	279,5	20 - 40	1100 °C/40 sec	2200 °C/6 sec*

3.2.1.3. Absicherung der analytischen Methode

Die Reproduzierbarkeit der Aufarbeitungs- und Meßmethodik wurde mit Hilfe eines Meerwasserstandards während der Arbeiten im Labor kontrolliert. In Tabelle 3 sind die Sollwerte des Standards und deren Standardabweichungen sowie die gemessenen Einzelwerte und deren Mittelwerte und Standardabweichungen aufgeführt.

Wie aus der Tabelle 3 zu entnehmen ist, stimmen die gemessenen Mittelwerte sehr gut mit den Sollwerten des Standards überein.

Nur für Eisen wurden tendenziell höhere Konzentrationen gemessen, welches auf eine geringe Kontamination des Standards schließen läßt, da in einigen Meerwasserproben wesentlich niedrigere Konzentrationen gemessen wurden. Sehr hohe Kontaminationen wurden für Cu und Zn bei einer neuen Lieferung des Standards registriert (12.-16.), deshalb wurden diese Meßwerte in der Auswertung nicht berücksichtigt.

Tab.: 3 Analysen des Meerwasserstandards, NASS2, National Research Council, Canada Konzentrationen in ng·kg⁻¹

NASS2	Pb	Cd	Cu	Co	Ni	Zn	Fe	Mn
Soll	39 +/-6	29 +/-4	109 +/-11	4 +/-1	257 +/-27	178 +/-25	224 +/-34	22 +/-7
1.)	36,8	21,4	119	4,4	240	180	364	23,8
2.)	29,5	20,3	101	4,4	235	164	373	21,0
3.)	43,5	27,2	113	4,0	247	167	190	-
4.)	-	23,2	104	?	271	143	209	-
5.)	39,1	25,0	122	5,0	295	234	236	-
6.)	40,1	26,3	109	4,4	272	219	-	-
7.)	44,4	26,7	118	3,9	259	147	241	-
8.)	-	32,9	99,0	3,9	251	182	335	-
9.)	-	30,4	112	5,0	270	191	-	-
10.)	36,2	25,0	98	3,2	225	162	389	-
11.)	-	-	93	3,5	229	160	264	-
12.)	-	24,0	-	4,3	287	-	288	-
13.)	-	-	-	3,5	253	-	247	-
14.)	43,6	25,2	-	3,9	279	-	-	-
15.)	35,7	22,6	-	4,2	285	-	-	-
16.)	33,6	21,1	-	4,4	245	-	277	-
mean	38,3	25,1	108	4,1	259	177	284	22,4
+/-s.d.	+/-4,6	+/-3,4	+/-9,2	+/-0,5	+/-21	+/-27	+/-64	+/-1,4

3.2.2. Aufschluß und Messung der Metalle in Zooplanktonorganismen

In Abbildung 10 wird die Aufarbeitung der Zooplanktonorganismen graphisch dargestellt. Auch hier soll nochmals darauf hingewiesen werden, daß alle verwendeten Gefäße einschließlich der Präparationsbestecke aus Kunststoff bestanden und einer vorherigen Reinigung unterzogen wurden.

Die tiefgefrorenen Proben wurden bei - 40 °C über 24 Std. gefriergetrocknet und bis zur Einwaage bei 20 °C im Exsikkatorschrank aufbewahrt.

Alle Konzentrationsangaben werden auf das Trockengewicht der Zooplanktonorganismen bezogen und in µg·g⁻¹ angegeben. Für den Vergleich mit den Wasserproben wurden sie auf mmol·kg⁻¹ umgerechnet.

Um Störungen, die während der Messung durch die Matrix auftreten können, zu reduzieren, wurden die wasserklaren Proben nach dem Aufschluß mit 100 µl HClO₄ versetzt und unter einer Absaugvorrichtung bis zur Trockene abgeraucht. Der Rückstand wurde mit 1 ml 1 molarer HNO₃ aufgenommen und nach Bedarf mit Milli-Q-Wasser verdünnt. Von diesen Lösungen gelangten definierte Volumina zur Messung.

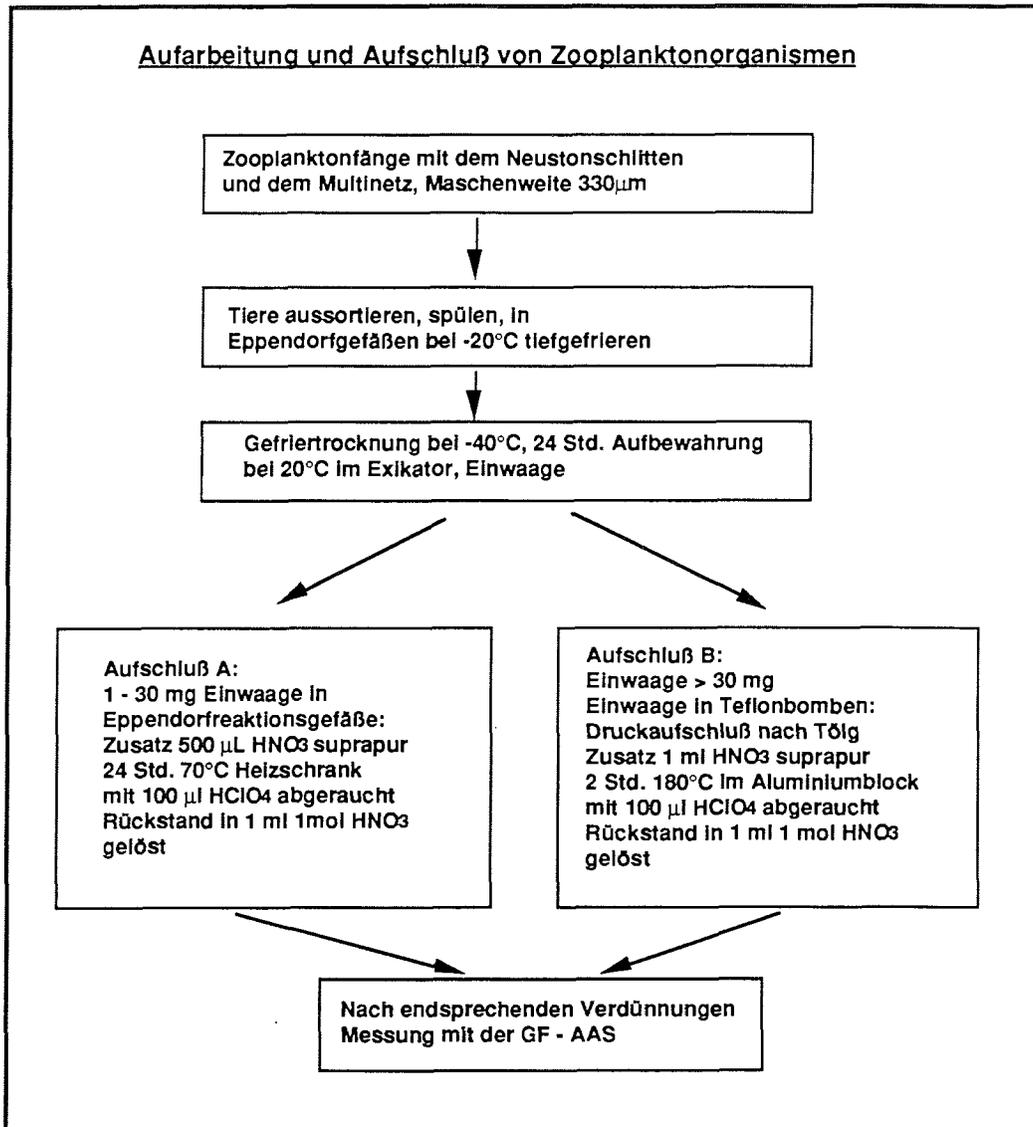


Abb.: 10 Aufarbeitungsschema und Aufschluß

In Tabelle 4 sind die verwendeten Temperatur-Zeitprogramme aufgeführt. Die Elemente Blei und Cadmium wurden mit Hilfe des Matrixmodifiers Palladiumnitrat (15 µg Pd/Messung) gemessen. Wichtigstes Ziel der Modifizierer-Technik ist die Veränderung des Temperatur-Zeitprogrammes im Graphitrohrföfen zur Abtrennung möglichst großer Matrixanteile vor der eigentlichen Atomisierung. Damit sollten

sowohl spektrale als auch nichtspektrale Interferenzen verhindert und die unspezifische Absorption verringert werden (SCHLEMMER et al. 1987).

Bei dem Element Zink wurde trotz niedriger Veraschungstemperatur (330 °C) auf den Matrixmodifizier verzichtet, da die Proben um den Faktor 100 - 200 verdünnt werden mußten und keine Störungen auftraten.

Tab.: 4 Temperatur - Zeitprogramme für die Messung der Zooplanktonproben
1.) Es wurde mit Matrixmodifizier Pd (NO₃)₂ (15% in HNO₃) gearbeitet

Element	Wellenlänge	Meßvol. (µL)	Veraschung	Atomisierung
Cd 1.)	228,8	20 - 40	700 °C/20 sec	1700 °C/4 sec
Pb 1.)	283,3	20 - 40	1000 °C/20 sec	2000 °C/3 sec
Cu	324,7	20 - 40	1200 °C/40 sec	2400 °C/5 sec
Ni	232,0	20 - 40	1300 °C/40 sec	2600 °C/6 sec
Zn	213,9	20 - 40	330 °C/40 sec	1800 °C/6 sec
Fe	248,3	20 - 40	1200 °C/40 sec	2500 °C/6 sec

3.2.2.1. Absicherung der Aufschluß- und Meßmethode

Aufschluß und Meßmethodik wurden mit Hilfe von TORT - 1 kontrolliert. In Tabelle 5 sind die Sollwerte des Standards mit der Standardabweichung, sowie die eigenen Einzelmeßwerte Mittelwerte und Standardabweichungen aufgeführt.

Tab.:5 Messung des TORT - 1 Lobsterhepatopankreas, Marine Biological Reference Material for Trace Metals.

TORT - 1	Pb µgg ⁻¹	Cd µgg ⁻¹	Cu µgg ⁻¹	Ni µgg ⁻¹	Fe µgg ⁻¹	Zn µgg ⁻¹
Soil	10,4 +/- 2,0	26,3 +/- 2,1	439 +/- 22	2,3 +/- 0,3	186 +/- 11	177 +/- 10
1.)	10,1	22,4	350	-	-	160
2.)	11,7	20,4	345	-	-	-
3.)	9,6	27,8	431	3,3	215	158
4.)	8,5	26,1	414	3,0	205	159
5.)	7,4	25,4	409	2,1	140	144
6.)	8,2	25,0	445	2,2	140	199
7.)	9,1	26,3	416	1,4	161	241
8.)	8,2	26,6	418	2,4	160	287
9.)	12,6	24,6	398	1,5	127	187
10.)	7,9	24,7	403	1,2	132	118
mean	9,3	24,9	403	2,1	160	184
+/-s.d.	+/-1,6	+/-2,0	+/-30	+/-0,7	+/-31	+/-49

3.2.3. Die Bestimmung des Salzgehaltes

Der Salzgehalt wurde mit einem Salinometer der Fa. Guildline (Modell AutoSal 8400A) gemessen. Dabei wird der Salzgehalt über die direkte Bestimmung der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit gemessen.

3.2.4. Die Bestimmung des Sauerstoffgehaltes

Sauerstoffmessungen wurden mit einer O₂-Elektrode, die in ein CTD-Multisonden-System integriert war, gemessen. Vergleichsmessungen wurden direkt auf dem Schiff nach der Methode von Winkler durchgeführt (GRASSHOFF et al. 1983).

3.2.5. Die Bestimmung der Nährstoffe

Die Nährstoffkonzentrationen Nitrat, Phosphat und Silikat wurden mit einem Autoanalyser der Fa. Technicon photometrisch an Bord des Schiffes gemessen und von der Arbeitsgruppe Dr. Kattner, AWI, Bremerhaven zur Verfügung gestellt. Die standardisierte Methode wird bei GRASSHOFF et al. (1983) beschrieben.

3.2.6. Die Bestimmung von Chlorophyll a

Der Chlorophyllgehalt ist ein Maß für die im Seewasser vorhandene Menge an Phytoplankton. Die Bestimmung wurde nach der UNESCO Methode durchgeführt. Das Prinzip dieser Messung besteht in der Extraktion der Pigmente aus abfiltrierten partikulären Substanzen mit 90%-igem Aceton und der nachfolgenden Konzentrationsmessungen des herausgelösten Chlorophylls in einem Spektralphotometer. Chlorophyll a wurde bei einer Wellenlänge von 663 nm gemessen. Die Chlorophylldaten beider Arktis-Expeditionen wurden von der Arbeitsgruppe Dr. Hirche, AWI, Bremerhaven zur Verfügung gestellt.

Die Chlorophylldaten von ANT VII/5 wurden direkt an Bord über ein Sondensystem, welches im hydrographischen Schacht installiert wurde, gemessen. Es ist eine In situ-Messung der optischen Fluoreszenz mit Hilfe eines Impulsfluorimeters des Types BACKSCAT der Fa. Dr. Haart (K. OHM, AWI, pers. Mittlg.).

4. ERGEBNISSE DER HYDROGRAPHISCHEN UND NÄHRSTOFFCHEMISCHEN UNTERSUCHUNGEN

In den graphischen Darstellungen wurden für die westlichen Längengrade und die südlichen Breitengrade negative Zahlen und für die östlichen Längengrade und nördlichen Breitengrade positive Zahlen gewählt. Die Fragezeichen in den Graphiken deuten auf vermutete Probenkontaminationen hin.

4.1. DIE HYDROGRAPHISCHEN BEDINGUNGEN IN DER ARKTIS WÄHREND ARK VI/3 - 4, 1989 UND ARK VII/2, 1990

4.1.1. Eisverhältnisse

Die Eisverhältnisse sind von GARRITY & RAMSEIER (1989); GARRITY (1990) auf beiden Expeditionen untersucht worden. Die Zeitspanne zwischen beiden Expeditionen betrug ca. 13 Monate, es wurden die Eiskarten ausgewählt, die die Eisverhältnisse zum Zeitpunkt des "Durchquerens" darstellen.

Auf dem Framstraßenschnitt 1989 befand sich die Eisgrenze mit 3/10 Eisbedeckung bei 3°E und mit 6/10 bei 1°W (Eiskarte vom 24.6.1989) und 1990 ca. einen Monat im Jahr später war sie auf ca. 3,5°W mit 3/10 und 5°W mit 6/10 Eisbedeckung lokalisiert (Eiskarte vom 27.7.1990).

Auf dem Grönlandseeschnitt 1989 lag die Eisgrenze mit 3/10 Eisbedeckung bei 9,5°W und die 6/10 bei 12°W (Eiskarte vom 15.6.1989) und 1990 bei 8,3°W - 3/10 und 12°W - 6/10 (Eiskarte vom 14.7.1990).

Der Grad der Eisbedeckung nimmt von Ost nach West zu und erreicht auf dem ostgrönländischen Schelf mit Ausnahme der Polynyas das Maximum von 9/10. Nach NIEBAUER & ALEXANDER (1985) besitzt die Eisrandzone im Verlauf eines Jahres eine Variabilität von 400 km, sie unterscheidet sich damit von den anderen polaren Regionen, wie z.B. der Bering See.

4.1.2. Salzgehalt- und Temperaturverteilung in der Arktis im Vergleich der Jahre 1989 und 1990

Die hydrographische Situation wird durch die unterschiedlichen jahreszeitlichen Eisverhältnisse vor allem im Oberflächenbereich beeinflusst.

In Abb.: 11 sind die Salzgehalts- und Temperaturverteilungen in der Oberfläche des "Framstraßenschnittes" auf 78°N und des "Grönlandseeschnittes" auf 74,5°N aus den Jahren 1989 und 1990 graphisch dargestellt.

Die Tiefenverteilung der beiden Schnitte aus den Jahren 1989 und 1990 ist in Abb.: 13 - 16 wiedergegeben. Es wurden die Stationsnummern berücksichtigt, an denen in Kapitel 5 speziell auf einige ausgewählte Vertikalprofile eingegangen werden soll.

Framstraße

1989 stiegen die Salzgehalte im Bereich der Framstraße von 32 ‰ (7°W) auf ca. 33 ‰ (3°W) stetig an, die Temperatur in dem zu 8/10 eisbedeckten Wasser ist mit ca. -1,5 °C nahe dem Gefrierpunkt des Meerwassers (Abb.: 11). Dieser westliche Teil des Schnittes liegt im polaren Wasser, der südwärts fließende EGC transportiert Eis in niedrigere Breiten.

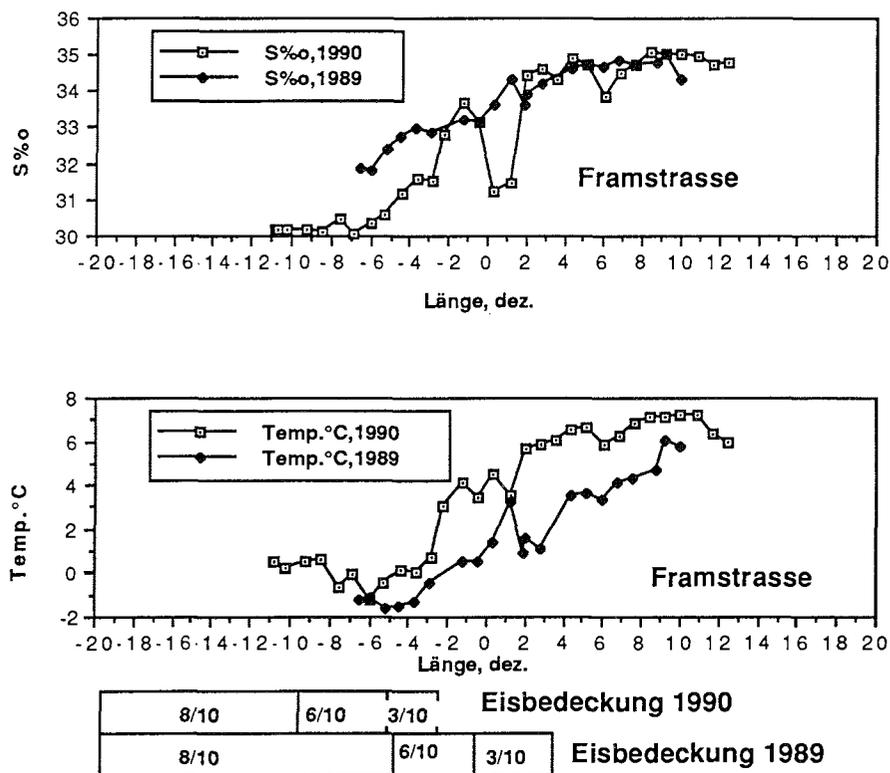


Abb.: 11 Salzgehalt- und Temperaturverteilung im Oberflächenbereich der Framstraße im Juni 1989 und im Juli 1990

Die Polarfront befindet sich im Bereich zwischen 2° - 3°W. Es folgt ein sprunghafter Anstieg des Salzgehaltes auf 34,5 ‰ (1°E) und nimmt dann wieder ab, auf 33,5 ‰

(2°E). Dieser Oberflächenbereich wird sehr stark durch den Eintrag von Schmelzwasser geprägt, welches auf den Anstieg der Wassertemperatur auf 3 °C und eine Abnahme der Eisbedeckung auf 3/10 zurückzuführen ist.

Die Arktikfront ist weniger deutlich gekennzeichnet, BECKER (1991) lokalisierte sie aufgrund der vertikalen Konzentrierung der Nährstoffgradienten sowie der 2 °C-Isothermen in den Bereich zwischen 2° - 3°E.

Der östliche Teil des Schnittes zwischen 3° - 11°E umfaßt den atlantischen Wasserkörper. Mit Salzgehalten etwas unter 35 ‰ und ansteigenden Wassertemperaturen auf ca. 6 °C ist es allerdings ein Wasserkörper, der durch Mischungsvorgänge mit salzärmeren Wasser modifiziert ist.

An Hand der vertikalen Salzgehalts- und Temperaturverteilung läßt sich die Polarfront bei Station 15/139 lokalisieren, die Arktikfront liegt zwischen den Stationen 15/147 und 15/148. Weiterhin ist als Deckschicht das arktische Oberflächenwasser bis in Tiefen um 100 m zwischen den Stationen 15/139 - 15/149 zu erkennen, die Salzgehalte sind <34,8 ‰. Darunter befindet sich das arktische Zwischenwasser (AIW), definiert mit Salzgehalten um 34,9 ‰ und Temperaturen von 0 - 1 °C. An Station 15/150 ist in Tiefen zwischen 100 - 200 m ein Ast des atlantischen Rückstromes (RAC) zu beobachten, mit Salzgehalten von bis zu 35 ‰ und einer Temperatur von 2,5 °C (Abb.: 13 - 14).

1990 wurde die Polarfront anhand der 0° - Isothermen zwischen 4° - 5°W lokalisiert, während sich die 34 ‰ Isolinie für den hier relevanten polaren Wasserkörper auf 1°W verschiebt. Die stark erniedrigten Salzgehalte auf 30 ‰ in diesem westlichen Teil des Schnittes sind auf die Schmelzwassereinträge im Oberflächenbereich zurückzuführen. Dieser Schnitt wurde im Vergleich zum Vorjahr einen Monat später durchgeführt, so daß sich der Oberflächenbereich bereits auf ca. 0 °C erwärmt hatte, und die 3/10 Eisgrenze in den Bereich auf 5°W zurückgegangen war. Zwischen 3°W und 2°E sind starke Salzgehaltsgradienten mit einem Maximum von 34 ‰ (1°W) und einem Minimum von etwas über 31 ‰ (1°E) zu beobachten.

Die Arktikfront wurde wie im Vorjahr zwischen 2° - 3°E angetroffen. Ostwärts von 2° - 14°E dominiert die atlantische Wassermasse mit Salzgehalten von etwas unter 35 ‰ und für die Jahreszeit entsprechenden Temperaturen um 7 °C.

Die vertikale Salzgehalts - und Temperaturverteilung in Abb.: 13 - 14 zeigt die Polarfront zwischen den Stationen 181/182 und die Arktikfront zwischen den Stationen 173/174. Ähnlich wie im Vorjahr ist die Deckschicht des arktischen Oberflächenwassers ca. 100 m dick. Auffallend ist weiterhin ein Ast des RAC an

Station 174 in Tiefen von 100 - 200 m. Der Sektor östlich der Arktikfront wird über die gesamte Tiefe durch den atlantischen Wasserkörper beeinflusst, deutlich zu erkennen an den erhöhten Salzgehalten >34,9 ‰ und Temperaturen bis 6 °C.

Grönlandsee

Auf dem Grönlandseeschnitt von 1989 läßt sich die Lage der Polarfront bei 11° - 12°W festlegen. Sie fällt hier mit dem Bereich von 6/10 Eisbedeckung zusammen. Die Oberflächensalzgehalte westlich der Polarfront liegen zwischen 33 - 34,5 ‰, die Temperatur beträgt im Bereich der Polarfront 0 °C, westlich im polaren Wasser des EGC erreicht sie ein Minimum von - 1,8 °C (Abb.: 12).

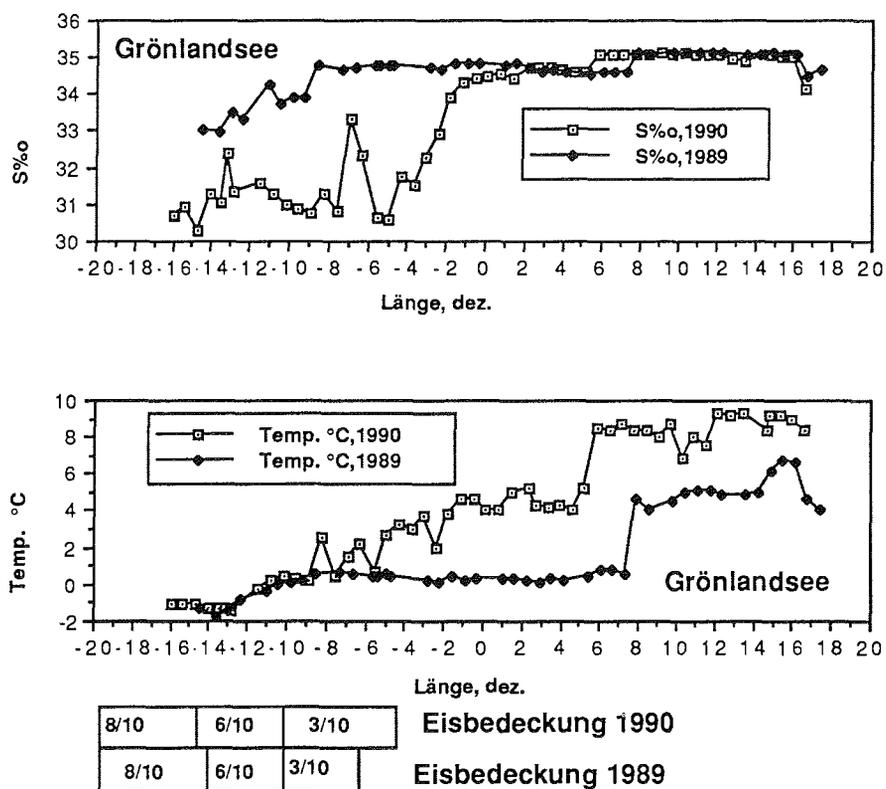
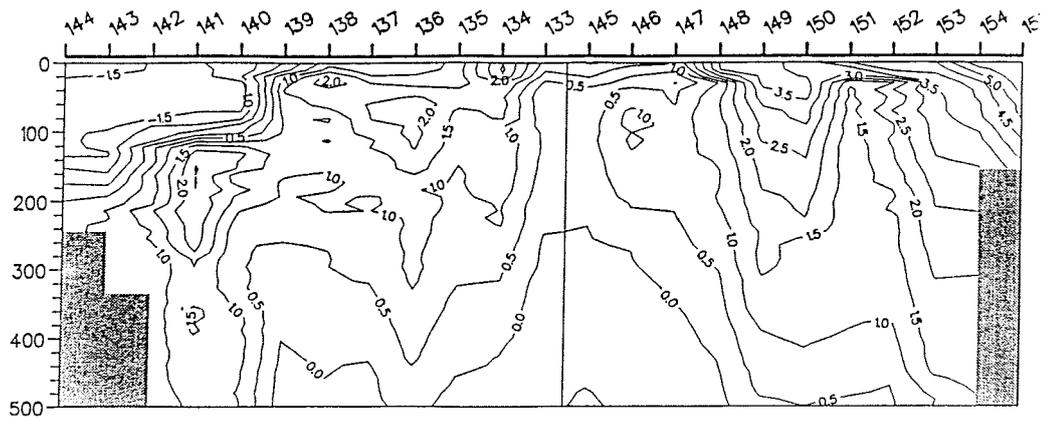
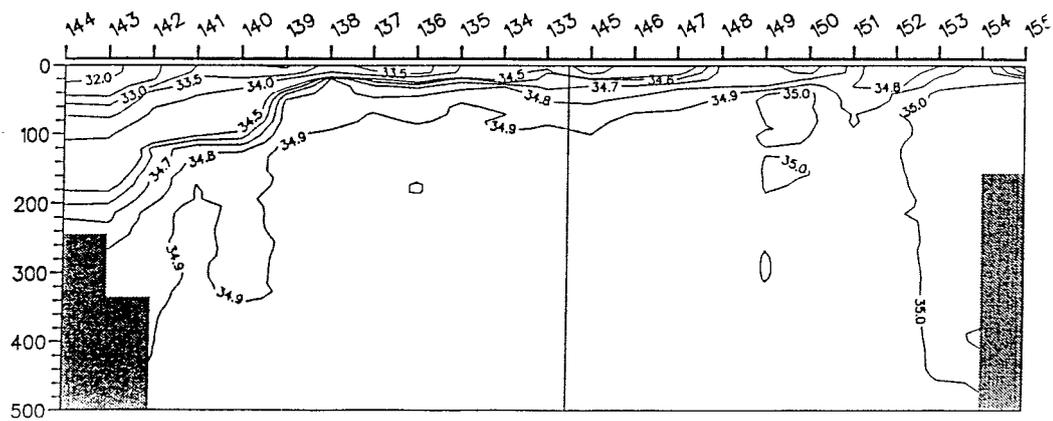


Abb.: 12 Salzgehalt- und Temperaturverteilung im Oberflächenbereich der Grönlandsee im Juni 1989 und im Juli 1990

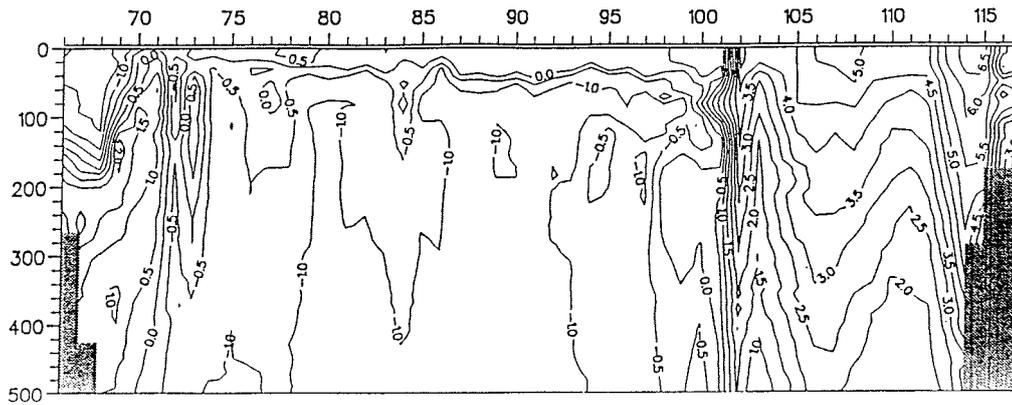


Temperatur

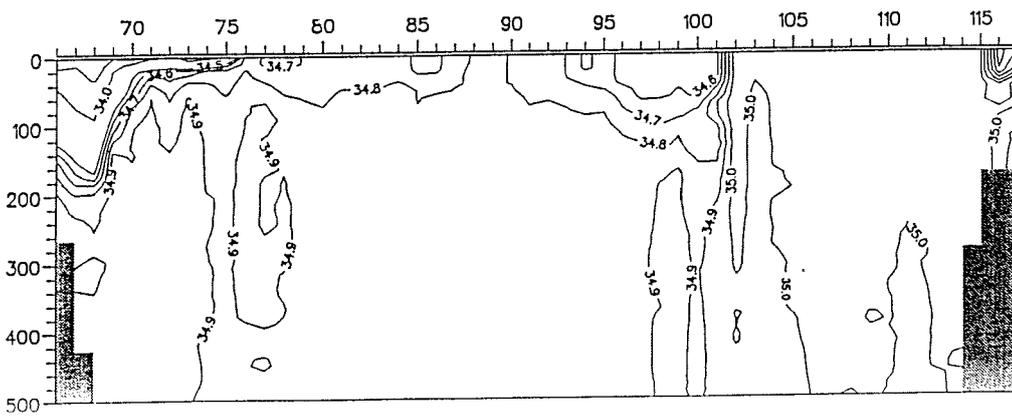


Salzgehalt

Abb.: 13
Vertikale Temperatur- und Salzgehaltsverteilung über den
Framstraßenschnitt 1989, Temperatur in °C und Salzgehalt in ‰.



Temperatur



Salzgehalt

Abb.: 15
Vertikale Temperatur- und Salzgehaltsverteilung über den Grönlandseeschnitt 1989, Temperatur in °C und Salzgehalt in ‰.

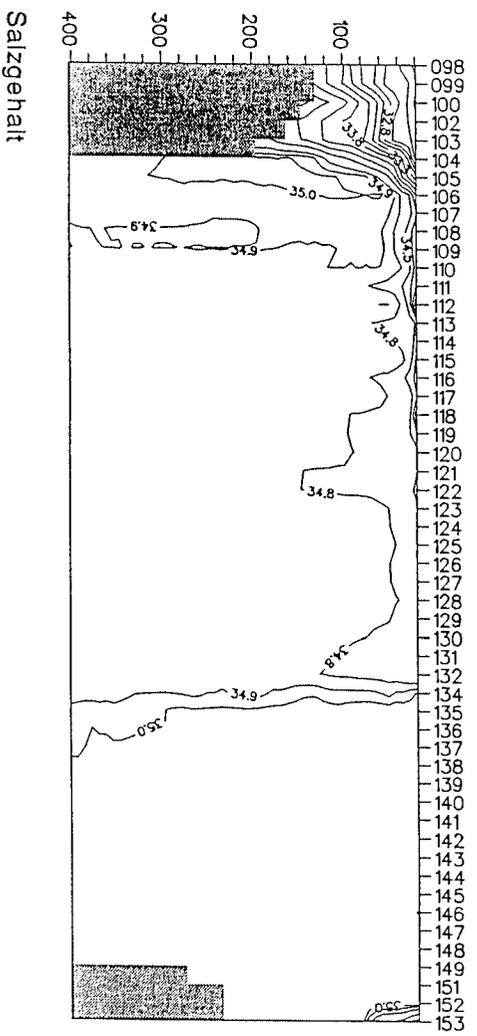
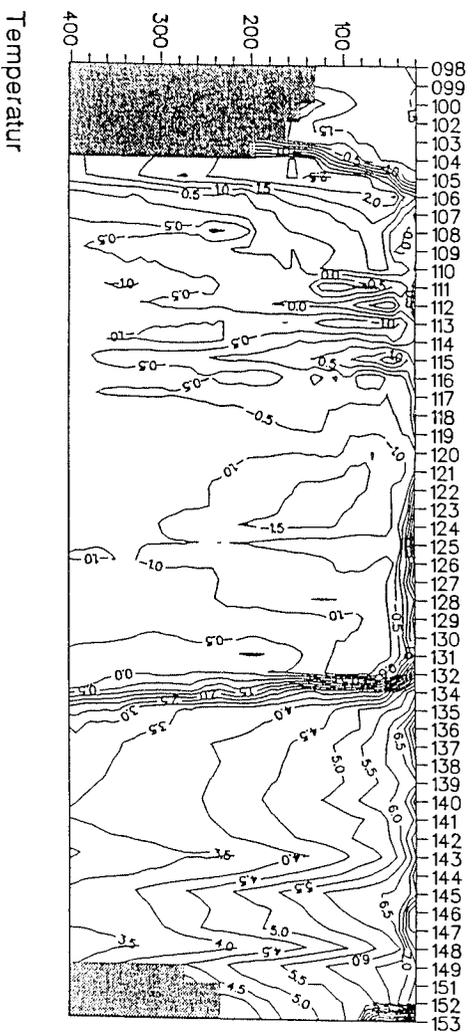


Abb.: 16
Vertikale Temperatur- und Salzgehaltsverteilung über den
Grönlandseeschnitt 1990, Temperatur in °C und Salzgehalt in ‰.

Zwischen 9°W - 9°E wurde ein homogener Wasserkörper mit Salzgehalten um 34,5 ‰ und Temperaturen zwischen 0° - 1 °C angetroffen.

Diese Wassermasse im Oberflächenbereich des Grönlandseewirbels ist ein Mischwasserkörper aus atlantischem und polarem Wasser, der bis zu einer Tiefe von 100 m das AIW überlagert.

Die Arktikfront befindet sich auf diesem Schnitt bei 9°E. Es schließt sich der atlantische Wasserkörper des WSC an, der durch Salzgehalte über 35 ‰ und Temperaturen zwischen 5 °C - 7 °C eindeutig charakterisiert ist. Das Absinken der Temperatur auf 3 °C und der Salinität auf unter 35 ‰ im Bereich 16°E ist ein Beweis für den Eintrag von salzärmeren und kälterem Wasser aus der Barentssee durch den Ost - Spitzbergenstrom.

Die Tiefenverteilung zeigt weiterhin einen Ausläufer des RAC an Station 15/072 in ca. 150 m Tiefe, mit Salzgehalten von 34,9 ‰ und Temperaturen von bis zu 2 °C. Der Mischwasserkörper des Grönlandseewirbels ist zwischen den Stationen 72 und 101 bis 100 m Tiefe erkennbar, (Salzgehalt 34,7 ‰ - 34,8 ‰; Temperatur 0 °C - 1 °C). Darunter liegt das arktische Zwischenwasser (AIW) mit Temperaturen um 1 °C und Salzgehalten um 34,9 ‰. Östlich der Arktikfront Station 101/102 ist die vertikal gut durchmischte atlantische Wassermasse mit Salzgehalten um 35 ‰ zu erkennen.

Während 1989 die Wassermassen über den gesamten Grönlandseeschnitt durch die Fronten auch im Bereich der Oberfläche eindeutig festgelegt werden konnten, weisen die Wassermassen **1990** vor allem im westlichen Teil des Schnittes Gradienten auf. Anhand der vertikalen Verteilung (Abb.: 15 - 16) läßt sich die Polarfront zwischen 11° - 13°W lokalisieren, die Temperatur steigt auf 0 °C an. Westlich der Polarfront treten Salzgehaltsgradienten auf, die auf Schmelzwassereinträge hinweisen. Der Bereich östlich der Polarfront bis 1°W ist durch ansteigende Temperaturen bis 5 °C und durch Salzgehaltsgradienten mit einem Maximum bei 7°W mit 33,5 ‰ geprägt.

Im allgemeinen ist dieser gesamte Bereich zwischen 1° - 6,5°W durch wesentlich niedrigere Salzgehalte als im Vorjahr charakterisiert, welches eindeutig auf Schmelzwassereinträge zurückzuführen ist.

Der für den Oberflächenbereich der Grönlandsee typische Mischwasserkörper mit Salzgehalten um 34,5 ‰ stellt sich erst ab 1°W ein und wird bei 5°E durch die Arktikfront begrenzt. 1990 liegt sie somit um ca. 4° westlicher als im Vorjahr. Östlich der Arktikfront dominiert wieder die atlantische Wassermasse mit Temperaturen um 9 °C und dem Einfluß des Ost - Spitzbergenstromes auf 16°E.

Die vertikale Verteilung ist gegenüber der kleinskaligen Verteilung im Oberflächenbereich wesentlich stabiler. Wie im Vorjahr ist im westlichen Teil des Schnittes an Station 105/106 ein Ausläufer des RAC zwischen 100 - 200 m Tiefe zu beobachten. Interessant ist weiterhin im östlichsten Teil an den Stationen 152/153 ein Ast des polaren Ost - Spitzbergenstromes (ESC), der bis in eine Tiefe von 100 m ausgeprägt ist.

4.2. DIE HYDROGRAPHISCHEN BEDINGUNGEN IM OSTATLANTIK WÄHREND ANT VII/5, 1989 UND ANT VIII/7, 1990

4.2.1. Salzgehalts-, Temperatur- und Sauerstoffverteilung im Ostatlantik im Vergleich der Jahre 1989 und 1990

Zwischen 33° - 20°S, im Bereich des nordwärts gerichteten Benguelastromes liegen die Salzgehalte in beiden Jahrgängen zwischen 35,5 - 35,8‰ und die Temperaturen im Jahre 1989 bei ca. 21°C (Abb.: 17).

Im weiteren Verlauf Richtung Norden bis 6°S wurden maximale Salzgehalte bis zu 36,8‰ gemessen, die Temperatur erreicht Werte um 28°C. Die hohen Salzgehalte in der Oberflächenschicht sind auf die hohen Verdunstungsraten durch intensive Sonneneinstrahlung zurückzuführen.

Bei 6°S gehen die Salzgehalte auf ca. 35,2‰ zurück, erreichen 1989 bei 2°N ein Minimum von ca. 34,7‰, danach steigen die Konzentrationen bei 6°N wieder auf 35,7‰ an. Die Temperatur steigt in beiden Jahren auf maximale Werte von 29°C an. Im Vergleich zum Vorjahr weichen 1990 die Salzgehaltskonzentrationen zwischen 6°S - 6°N ab. Am Äquator erreichen sie Werte um 35,5‰ und bei 5°N gehen sie auf unter 34,5‰ zurück. Die stark erniedrigten und im Vergleich der beiden Jahrgänge unterschiedlichen Salzgehalte hier im Bereich der ITCZ (Intertropische Konvergenzzone) erklären sich durch die enormen Niederschläge in diesen Breiten.

Zwischen 6°N - 12°N fluktuieren die Salzgehalte in beiden Jahren um 35,7‰, und die Temperatur geht auf Werte um 23°C zurück.

Im weiteren Verlauf Richtung Norden zwischen 12°N - 27°N im Bereich des nordatlantischen Wirbel wurden 1989 Salzgehalte bis maximal 37,1‰ und 1990 maximal 36,7‰ gemessen, die Temperatur sinkt weiter auf Werte um 21°C.

Die unterschiedlichen Salzgehalte lassen sich folgendermaßen interpretieren. 1989 wurde der Schnitt westlich der Kapverdischen Inseln bei ca. 29°W gefahren und 1990 östlich der Kapverdischen Inseln bei ca. 21°W. Da die Verdunstungsraten in diesem Bereich von Ost nach West zunehmen, (DIETRICH &

ULRICH 1968; ULRICH 1986) sind die erniedrigten Salzgehalte 1990 auf eine geringere Verdunstungsrate in dieser östlichen Region zurückzuführen.

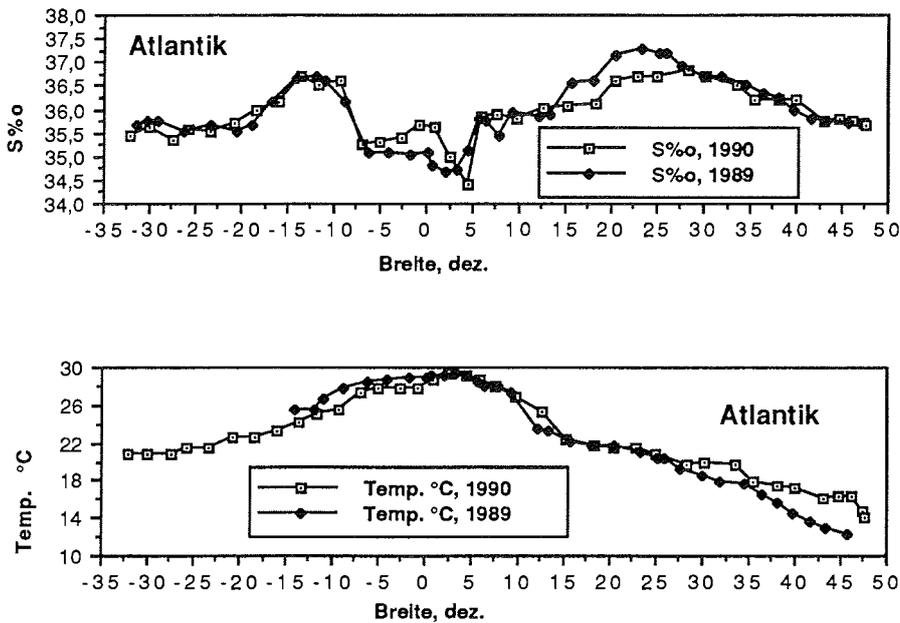


Abb.: 17 Salzgehalts- und Temperaturverteilung im Oberflächenbereich des Ostatlantiks aus Polarsterndaten von 1989 und 1990

Zwischen 30°N - 47°N nehmen die Salzgehalte allmählich von ihren maximalen Werten auf durchschnittlich 35,7‰ ab, und auch die Temperatur geht im April 1989 auf 12°C und im Mai 1990 auf 14°C zurück.

Auf die vertikalen hydrographischen Verhältnisse an den einzelnen Tiefenstationen soll im folgenden zusammenfassend eingegangen werden (Abb.: 18 - 20).

Die Salzgehalte in der Deckschicht liegen zwischen 35,4‰ und 36,7‰. Zwischen 500 m - 1000 m Tiefe erreichen sie minimale Werte unter 35‰ und auch im weiteren Tiefenverlauf erfolgt nur ein geringer Anstieg auf etwa 34,9‰.

Die Temperaturen erreichen in der Oberflächenschicht Werte zwischen 18°C und 27°C, bei 500 m Tiefe sind sie bereits auf ca. 5°C abgekühlt und im weiteren Tiefenverlauf gehen sie allmählich auf unter 2 - 3°C zurück.

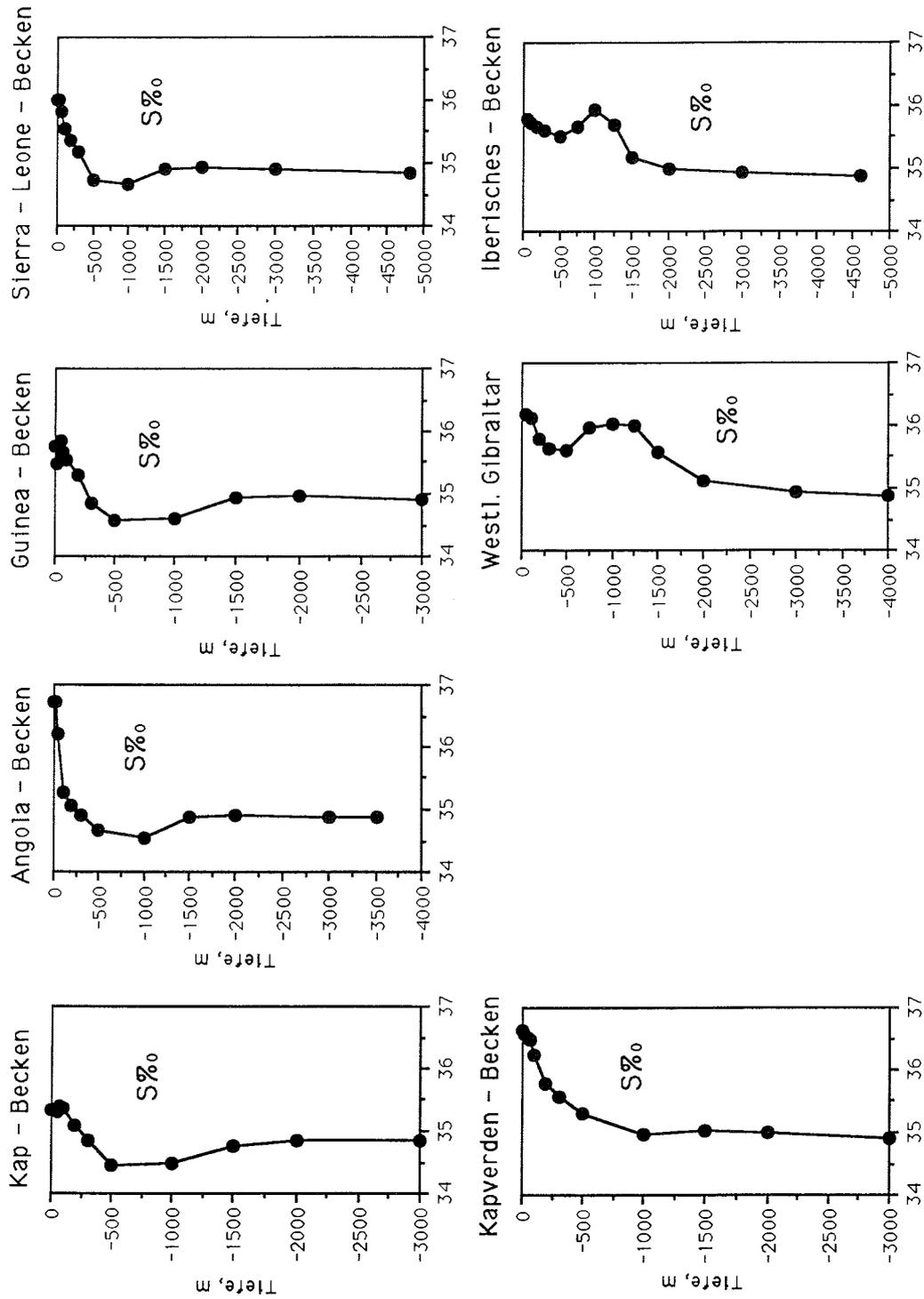


Abb.: 18 Tiefenprofile an den Stationen im Atlantik 1990. Salzgehalt in ‰

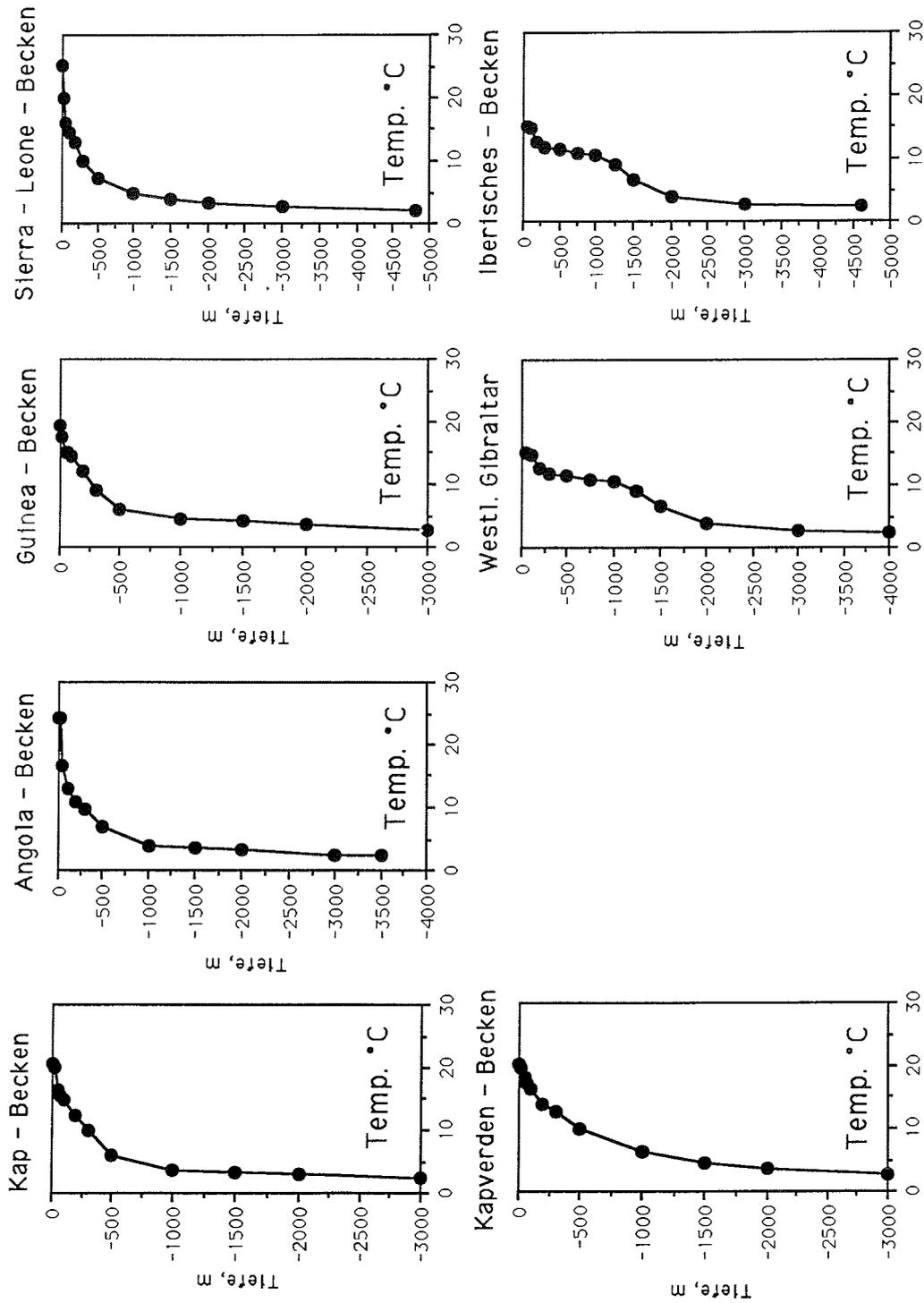


Abb.: 19 Tiefenprofile an den Stationen im Atlantik 1990, Temperatur in °C

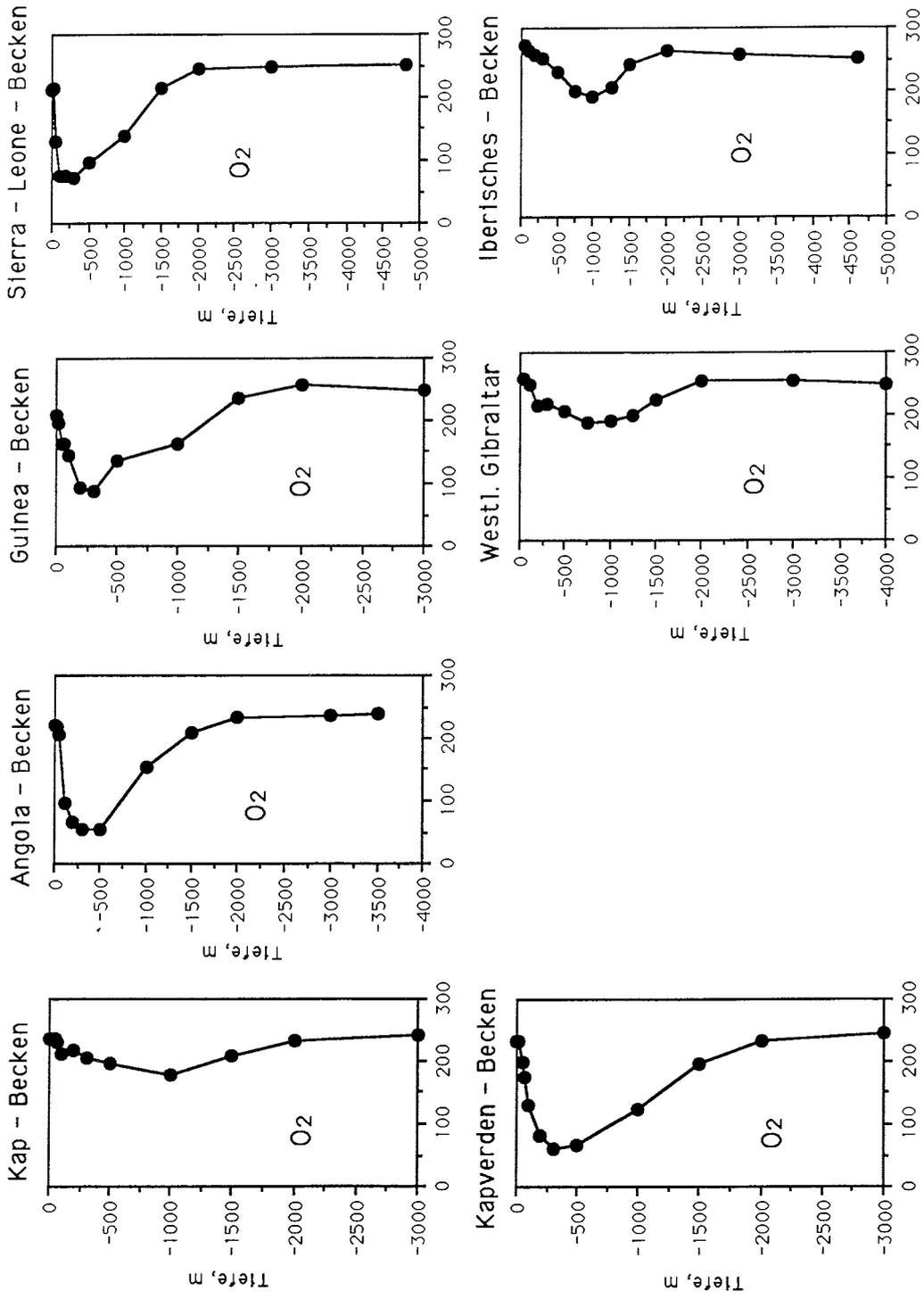


Abb.: 20 Tiefenprofile an den Stationen im Atlantik 1990, Sauerstoff in $\mu\text{mol/l}$

Ausnahmen bilden die Tiefenstation "Westlich Gibraltar" und "Iberisches Becken". Hier ist zwischen 500 - 1500 m eine Zunahme des Salzgehaltes auf etwa 36‰ zu beobachten und auch die Temperaturen sind in diesem Tiefenbereich um ca. 4°C höher als an den anderen Stationen. Dieses Ergebnis ist eindeutig auf den Einfluß von salzhaltigerem und wärmerem Mittelmeerwasser zurückzuführen, das in Tiefen um 500 m bei Gibraltar ausströmt und langsam in tiefere Schichten absinkt.

Die Sauerstoffkonzentrationen zeigen in der Deckschicht an allen Stationen gesättigte Konzentrationen.

Im Kap-Becken ist kein ausgeprägtes Minimum über den vertikalen Verlauf zu erkennen, die Sauerstoffkonzentrationen sinken bis 1000 m Tiefe auf Werte um $190 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ ab, und erreichen im Tiefenwasser wieder Konzentrationen um $250 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Angola-, Guinea-, Sierra Leone- und Kapverden-Becken zeigen ausgeprägte Minima zwischen 200 - 500 m mit Werten von $50 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$. Es kann davon ausgegangen werden, daß in diesen Tiefen Oxidations- und bakterielle Zersetzungsprozesse stattfinden, die gleichzeitig mit einer Sauerstoffzehrung einhergehen.

Eine Ausnahme bilden auch die beiden nördlichsten Stationen "Westlich Gibraltar" und "Iberisches Becken". Hier erstrecken sich die weniger ausgeprägten Sauerstoffminima über einen Tiefenbereich zwischen 500 - 1500 m, die Konzentrationen liegen um $175 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$. Die Ursache für diese Situation ist wiederum der Einfluß des Mittelmeerwassers. Dieses Wasser ist ursprünglich sauerstoffgesättigtes Oberflächenwasser, welches aufgrund von Sonneneinstrahlung und Verdunstung seine Dichte verändert, in tiefere Schichten absinkt und wie oben erwähnt in Tiefen um 500 m durch die Meerenge von Gibraltar in den Atlantik strömt.

4.3. DIE NÄHRSTOFF- UND CHLOROPHYLL a-VERTEILUNG IN DER ARKTIS IM VERGLEICH DER JAHRE 1989 UND 1990

4.3.1. Horizontale Verteilung

Die Nährstoffverteilung in der Arktis ist sehr stark mit den hydrographischen Verhältnissen assoziiert. Schon 1930 erkannten BÖHNECKE, HENTSCHEL & WATTENBERG diese Zusammenhänge. Sie beschreiben, daß das Schmelzwasser der Gletscher und des Meereises keine wesentliche Nährstoffquelle bildet, dagegen das aus dem kalten und warmen Wasser gebildete Mischwasser "Polarfrontwasser" auffallend reich an Nährstoffen ist. Sie vermuteten, daß dieser Nährstoff offenbar aus der Tiefe mit Hilfe konvergenter Wirbel in die Oberfläche "gesaugt" wird.

Für das Phytoplanktonwachstum ist Licht der limitierende Faktor. Perioden langer Dunkelheit mit einer flächendeckenden Eisschicht im Winter und intensiven Lichtverhältnissen mit Schmelzwassereinträgen im Sommer wechseln sich ab. Durch die zunehmende Sonneneinstrahlung im Frühjahr und das Abschmelzen des Eises entsteht im Oberflächenbereich der Grönlandsee eine stabile Deckschicht, die das Phytoplanktonwachstum begünstigt. Parallel dazu werden die vorhandenen Nährstoffe Nitrat, Phosphat und Silikat verbraucht. Gerade in den Frontenbereichen, die meistens mit der Eisgrenze zusammenfallen, finden sich Regionen mit hoher biologischer Produktivität (SMITH 1987).

Nach Untersuchungen von SPIES et al. (1988) in der Framstraße werden die Nährstoffkonzentrationen im Bereich der Fronten und der Eisrandzone durch folgende Faktoren beeinflusst:

- 1.) Hohe Primärproduktion führt zu einem schnellen Verbrauch der Nährstoffe, vor allem des Nitrats im Oberflächenbereich. Phosphat ist selten der limitierende Faktor, da es schon während der Verdauung durch herbivore Zooplanktonorganismen zum Teil regeneriert wird.
- 2.) Stickstoff wird als Nitrat, Nitrit, Ammonium und DON (Dissolved organic nitrogen) durch regionale Mischvorgänge an der Eisgrenze oder durch den Auftrieb von nährstoffhaltigem Atlantikwasser in die Oberfläche eingetragen. Ammoniummaxima sind ein Hinweis auf Resuspension der Nährstoffe durch Bakterien und Sekundärproduzenten.

Framstraße

Der Framstraßenschnitt 1989 läßt sich auch anhand der Nährstoffverteilung in drei Abschnitte einteilen, die jeweils durch die Frontenbereiche der Polar- und Arktikfront begrenzt werden (Abb.: 21).

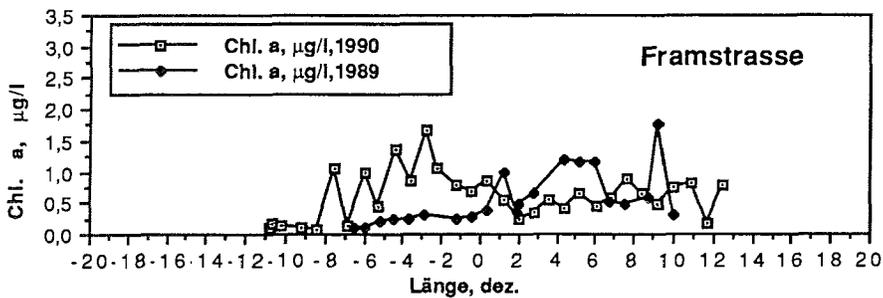
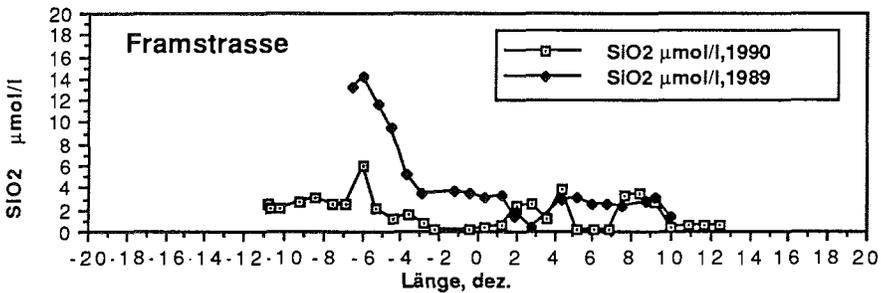
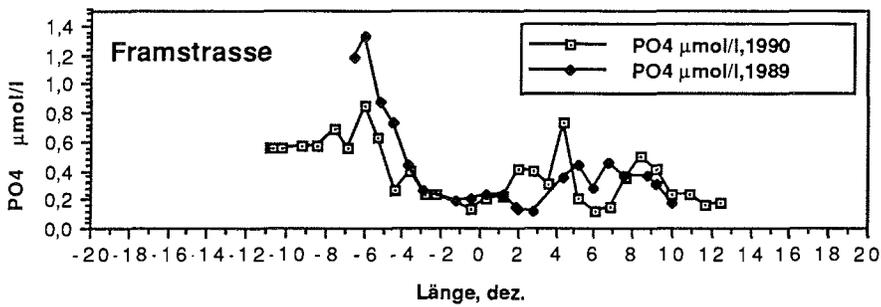
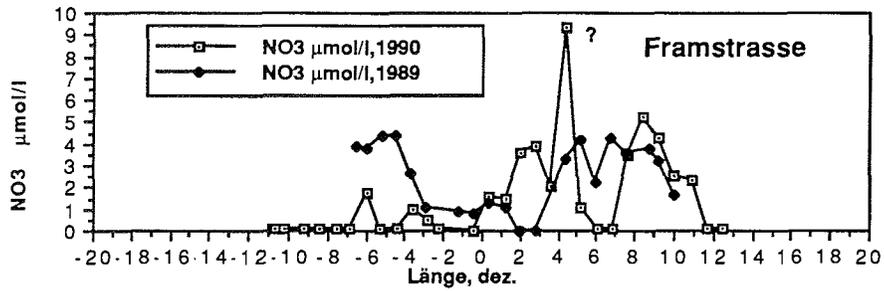


Abb.: 21 Nährstoff- und Chlorophyll a- Verteilung in der Framstraße im Juni 1989 und Juli 1990

Im polaren Bereich zwischen 7° - 3°W wurden die höchsten Konzentrationen für Nitrat von bis zu 4,5 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, Phosphat 1,4 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ und Silikat bis zu 15 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ in der Oberfläche gemessen.

Die relativ hohen Silikatkonzentrationen sind typisch für diese Region. Nach Berechnungen von ANDERSON & DYRSSEN (1981) zum Silikatbudget der Arktis wird das Silikat in Form eines "Silikat Jets" aus dem Pazifik durch das arktische Becken mit dem EGC in den Atlantik transportiert. Die hohen Phosphat- und Nitratkonzentrationen lassen auf einen vertikalen Austausch schließen, der für Schelfgebiete typisch ist.

Während die Nährstoffkonzentrationen hoch sind, liegen die Chlorophyll a-Werte in diesem Bereich unter 0,4 $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$. Daraus läßt sich folgern, daß in dieser Region noch keine Primärproduktion stattgefunden hat. Ursache dafür sind die bestehenden Eisverhältnisse, die eine Lichtbarriere bilden und somit die Photosynthese verhindern.

Zwischen 3°W - 3°E erfolgt eine Abnahme der Nährstoffkonzentrationen. Die Nitratwerte liegen bei <1 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, Phosphat <0,3 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ und Silikat <4 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$. Alle drei Komponenten zeigen ein Minimum im Bereich der Arktikfront. Gleichzeitig steigen die Chlorophyll a-Werte an und erreichen ein Maximum von 1,2 $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ bei 5°E. Diese Situation entspricht dem 1.) Nährstoffsystem (SPIES et al., 1988). Im atlantischen Bereich des Schnittes zwischen 5° - 10°E steigen die Nährstoffkonzentrationen wieder an, Nitrat erreicht Werte um 4 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, Phosphat 0,5 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ und Silikat 4 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$. Die Chlorophyll a-Werte weisen hier maximale Werte bis 1,8 $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ auf.

Auch 1990 ist der Framstraßenschnitt durch unterschiedliche biologische Aktivitäten geprägt. Im polaren Wasser zwischen 11° - 5°W sind die Konzentrationen für Nitrat <0,1 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, Phosphat um 0,6 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ und Silikat um 3 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, alle 3 Komponenten zeigen ein Maximum bei 3°W auf. Im Vergleich zum Vorjahr sind die Nährstoffkonzentrationen in diesem westlichen Bereich reduziert, wobei das Nitrat die limitierende Größe darstellt. Gleichzeitig nehmen die Chlorophyll a-Konzentrationen stetig zu. Sie unterliegen allerdings starken Fluktuationen, die wiederum auf die hydrographischen Einflüsse und die Eisschmelze zurückzuführen sind. Im weiteren verlaufen die Nährstoffkonzentrationen synchron. Im Bereich der Arktikfront bei 3°E ist eine Zunahme für Nitrat auf 4 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, Phosphat auf 0,8 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ und Silikat auf 4 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ zu verzeichnen, während die Chlorophyll a-Konzentrationen auf <0,5 $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ zurückgehen. Der atlantische Wasserkörper zwischen 3° - 13°E wird durch Nährstoffmaxima bei 4°E und 9°E, sowie Minima bei 6°E und 12°E charakterisiert.

Das Nährstoffmaximum könnte auf den Eddy, der über dem Molloy-Tief liegt, zurückzuführen sein, eine Kontamination ist jedoch nicht auszuschließen.

Die Chlorophyll a-Konzentrationen schwanken zwischen $0,5 - 1 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ und deuten auf den Beginn der Planktonblüte hin.

Zusammenfassend kann man die Nährstoffsituation 1990 im Vergleich zum Vorjahr folgendermaßen beschreiben. Durch den Anstieg der Temperatur, den Eintrag von Schmelzwasser und die Verlagerung der Eisgrenze nach Westen hat sich die Wassersäule westlich 0° im Oberflächenbereich stabilisiert, die Primärproduktion ist durch die Nitratlimitierung bereits abgeschlossen.

Östlich 0° überwiegen Nährstoffgradienten im Oberflächenwasser, Maxima und Minima lösen sich ab. Dieses ist zum einen auf die Schmelzwassereinträge zurückzuführen, zum anderen aber auch auf Mischungs- und Auftriebsvorgänge zwischen polaren und atlantischem Wasser.

Grönlandsee

Auf dem Grönlandseeschnitt **1989** wird der polare Frontenbereich bei 11°W durch die Abnahme der Nährstoffe sehr gut wiedergegeben. Die Nitrat- ($5 - 6 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$), Phosphat- ($0,8 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) und Silikat- ($10 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) Konzentrationen im polaren Wasser nehmen an der Polarfront auf Werte von; Nitrat ($2 - 3 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$), Phosphat ($0,3 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$), Silikat ($3 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) ab.

Die Chlorophyll a-Konzentrationen verhalten sich in diesem Bereich genau reziprok zu den Nährstoffen, im Bereich der Polarfront steigen sie auf Werte bis $3,2 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ im Oberflächenbereich an (Abb.: 22).

Der Oberflächenbereich der Grönlandsee zwischen $7^\circ\text{W} - 8^\circ\text{E}$ ist durch Nitratkonzentrationen zwischen $6 - 8 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, Phosphat um $0,6 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ und Silikat um $1 - 2 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ charakterisiert. Die erniedrigten Silikatwerte lassen auf eine Diatomeenblüte schließen. Die Chlorophyll a-Konzentrationen liegen größtenteils unter $1 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$, diese Situation kennzeichnet wahrscheinlich das Ende der Diatomeenblüte.

Die Arktikfront bei 8°E wird im Oberflächenbereich nur durch eine geringe Abnahme der Nährstoffe und einen geringen Anstieg der Chlorophyll a-Konzentrationen wiedergegeben. Im atlantischen Wasserkörper zwischen $10^\circ\text{E} - 16^\circ\text{E}$ finden sich im Oberflächenbereich Nitratkonzentrationen bis $8 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, Phosphat bis zu $0,7 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ und auch ein Anstieg des Silikats auf Werte um $5 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ ist zu verzeichnen. Die beiden östlichen Stationen bei $17^\circ - 18^\circ\text{E}$ sind wieder durch niedrige Nährstoffkonzentrationen gekennzeichnet.

Der atlantische Bereich ist durch Oberflächenkonvektion bis in Tiefen von 70 m charakterisiert, während sich im Bereich des Grönlandseewirbels eine stabile Deckschicht von 10 - 15 m ausbildet. Der atlantische Wasserkörper liefert

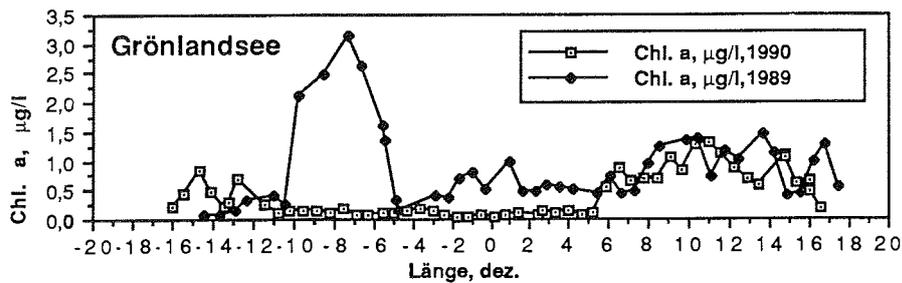
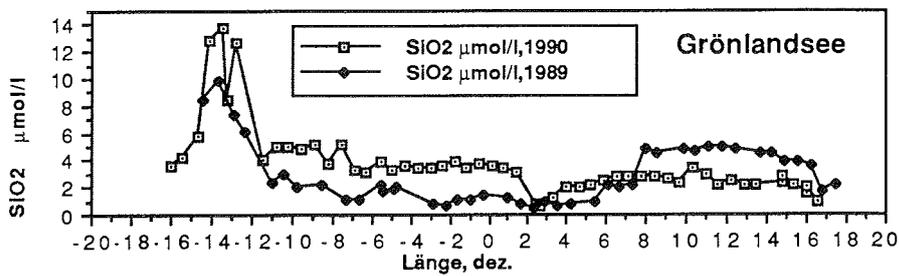
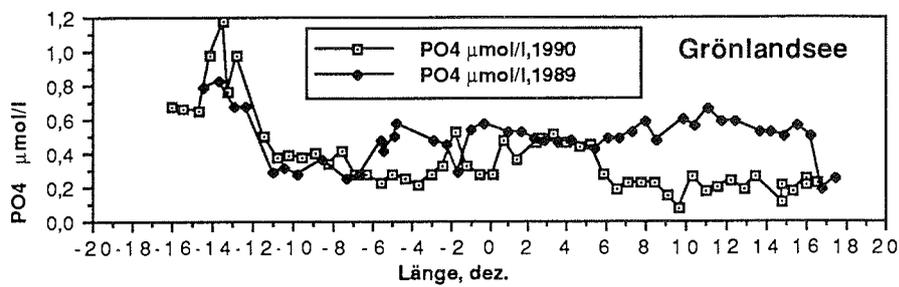
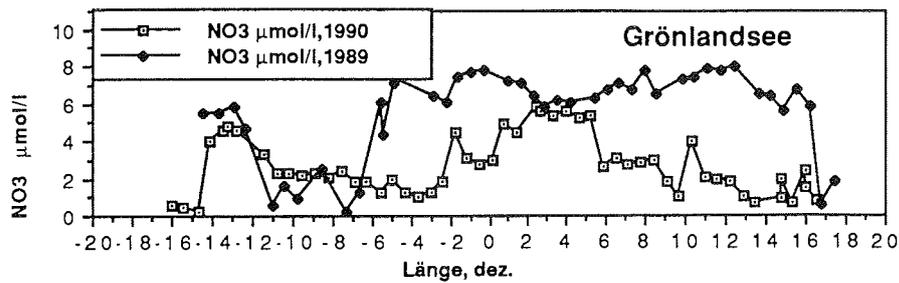


Abb.: 22 Nährstoff- und Chlorophyll a- Verteilung in der Grönlandsee im Juni 1989 und Juli 1990

kontinuierlich Nährstoffe nach, so daß im Juni/Juli eine ausgeprägte Phytoplanktonblüte stattfinden kann. Durch die vertikale Konvektion der Wassermassen gelangt sie schneller in die Tiefe, und bei ca. 20 m Tiefe liegt dann ein Chlorophyll a-Maximum vor. Dieses könnte auch die Ursache für die fluktuierenden Chlorophyll a-Konzentrationen im Bereich zwischen 8° - 17,5°E sein, die hier trotz hohem Nährstoffangebot wiedergegeben werden.

1990 haben sich auf dem Ostgrönlandschelf zwischen 17° - 12°W im polaren Wasser ähnliche Nährstoffsituationen wie 1989 eingestellt. Die drei westlichsten Stationen konnten im Vorjahr aufgrund der Eisverhältnisse nicht beprobt werden. Sie zeichnen sich durch limitierende Nitratkonzentrationen, niedrige Phosphat- und Silikatkonzentrationen aus.

Im weiteren Verlauf nach Osten gibt es einen Anstieg der drei Komponenten auf $5 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Nitrat, $1,2 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Phosphat und $14 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Silikat, mit einer anschließenden Abnahme der Nährstoffe im Bereich der Polarfront.

Die Chlorophyll a-Konzentrationen fluktuieren zwischen $0,2 - 1 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$, im Bereich der Polarfront nehmen sie auf $<0,2 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ ab. Auch im Bereich der Grönlandsee zwischen 11°W - 5°E wurden diese niedrigen Konzentrationen gemessen.

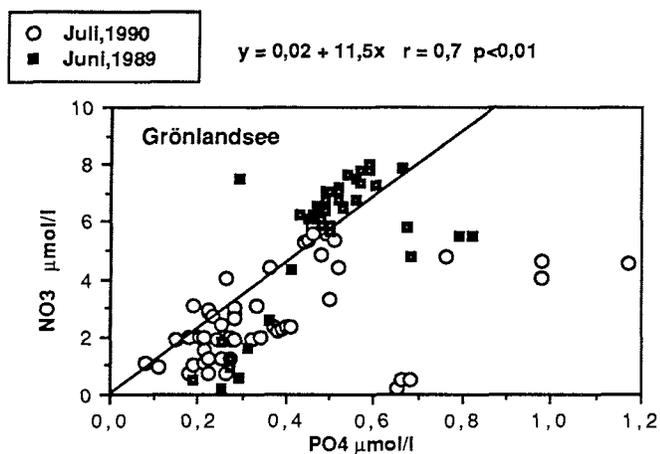


Abb.: 23 Korrelation zwischen Nitrat und Phosphat in der Oberfläche der Grönlandsee.

Die Nährstoffkonzentrationen in diesem Bereich sind anfangs erniedrigt, und erst zwischen 2° - 5°E zeigt sich für Nitrat ein ausgeprägtes Maximum mit bis zu $6 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ und für Phosphat bis zu $0,5 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, während die Konzentrationen für Silikat weiterhin niedrig sind. Erst ab 6°E im Bereich der Arktikfront und im

atlantischen Wasserkörper werden die Nährstoffe reduziert, während die Chlorophyll a-Konzentration zunimmt, welches auf eine Phytoplanktonblüte hinweist.

Die Korrelation zwischen Nitrat und Phosphat aus den Jahren 1989 und 1990 ergibt ein "Redfield ratio" von 1:11,5. Verglichen mit dem globalem Verhältnis von 1:15 und Werten aus dem westlichen Nord Atlantik 1:13 (BROEKER & PENG, 1982) ist es etwas niedriger. Dies ist auf die Nitratzehrung während der Primärproduktion zurückzuführen (Abb.: 23).

Zusammenfassend kann man die Nährstoffsituation 1990 in der Grönlandsee wie folgt interpretieren: Nährstoffangebot und Nährstoffzehrung wechseln sich vor allem im Bereich westlich der Arktikfront ab, dennoch ist keine ausgeprägte Phytoplanktonblüte im Frontenbereich oder in der Grönlandsee zu erkennen, was darauf schließen läßt, daß ein großer Anteil der Primärproduktion durch Wegfraß dezimiert wurde. Sekundärproduzenten, wie die herbivoren Copepoden *Calanus finmarchicus* und *Calanus hyperboreus* bilden zu dieser Jahreszeit den größten Anteil an der Zooplanktonbiomasse in der euphotischen Zone (HIRCHE 1983, SMITH 1988).

4.3.2. Vertikale Nährstoff- und Chlorophyll a- Verteilung in der Arktis

1989 und 1990 wurden Tiefenprofile auf dem Framstraßen- und dem Grönlandseeschnitt durchgeführt (Abb.: 24 - 27). Unter Berücksichtigung der verschiedenen Wassermassen soll mit 12 ausgewählten Beispielen, die auch für die Spurenmetallverteilung relevant sind, die vertikale Situation beschrieben werden. Schwerpunktmäßig wird auf den Tiefenbereich bis 200 m eingegangen. Einige Stationen wurden bis in Tiefen um 4000 m beprobt, die Meßdaten sind in den Tabellen im Anhang aufgeführt.

Grönlandsee, 1989

Station **15/072** liegt auf dem Grönlandseeschnitt bei 11°W im Bereich der Polarfront. Die Phosphatkonzentrationen steigen von ca. 0,25 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ mit zunehmender Tiefe an und erreichen bei 150 m 1,0 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$. Die Nitratkonzentrationen nehmen in 30 m Tiefe bis auf 9 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ zu und erreichen bei einer Tiefe von 200 m Konzentrationen von 13 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$. Auch für Silikat ist eine stetige Zunahme von 3 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ (0 m) auf ca. 7 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ bei 100 m zu

verzeichnen. Chlorophyll a weist ein Maximum zwischen 30 - 40 m (ca. $1 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$) auf, mit zunehmender Tiefe gehen die Konzentrationen gegen Null.

Die Stationen **15/078**, **15/085** und **15/091** befinden sich im Grönlandseewirbel. Die Nährstoffkonzentrationen steigen mit zunehmender Tiefe an, und erreichen bei 100 m Tiefe an der Grenze zwischen arktischem Oberflächenwasser und arktischem Zwischenwasser Konzentrationen um $0,8 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Phosphat, $12 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Nitrat und $6 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Silikat. Die Chlorophyll a-Konzentrationen erreichen bei 100 m Tiefe fast $0 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$. Auffallend sind an Station 15/078 die hohen Oberflächenkonzentrationen bis 10 m Tiefe um $3 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$, an Station 15/085 das ausgeprägte Maximum bei 30 m Tiefe mit $1,5 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ und Werte um $1 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ zwischen 0 - 20 m Tiefe an Station 15/091.

Die Station **15/099** liegt ebenfalls im Grönlandseewirbel, allerdings im Einflußbereich der Arktikfront. Zwischen 0 - 50 m sind die Konzentrationen für Phosphat um $0,6 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, Nitrat um $7 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, Silikat um $2 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$. Auffällig im Vergleich zu Station 15/072 (Polarfront) ist die gleichmäßige Verteilung der drei Parameter über die oberen 50 m. Erst ab dieser Tiefe ist ein Anstieg der Konzentrationen um das doppelte zu verzeichnen, Phosphat auf $1 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ in 200 m Tiefe, Nitrat auf $14 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ in 200 m Tiefe und für Silikat sogar um den Faktor 3 auf $6 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$. Die Chlorophyll a-Verteilung ist nur im Bereich oberhalb 30 m mit Konzentrationen um $1 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ konstant, und nimmt dann mit zunehmender Tiefe ab.

Die Station **15/111** befindet sich im atlantischen Bereich des Grönlandseeschnittes. Für Phosphat und Nitrat liegen ähnliche Verhältnisse wie an Station 15/099 vor. Die Silikatkonzentrationen verhalten sich anders, sie sind zwischen 0 - 50 m auf $4,5 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ angestiegen, bei 200 m erreichen sie ebenfalls eine Konzentration um $7 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$. Auch die Chlorophyll a-Konzentrationen sind in den oberen 30 m mit Werten um $1,3 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ etwas höher als auf Station 15/099.

Framstraße, 1989

Die Station **15/139** liegt im Bereich der Polarfront auf dem Framstraßenschnitt. Auffallend sind wieder die sehr niedrigen Phosphat- ($0,25 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$), und Nitrat- ($1 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) Konzentrationen in den oberen 20 m. Unterhalb dieser Tiefe nehmen die Konzentrationen auf bis zu $0,9 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Phosphat und $12 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Nitrat zu.

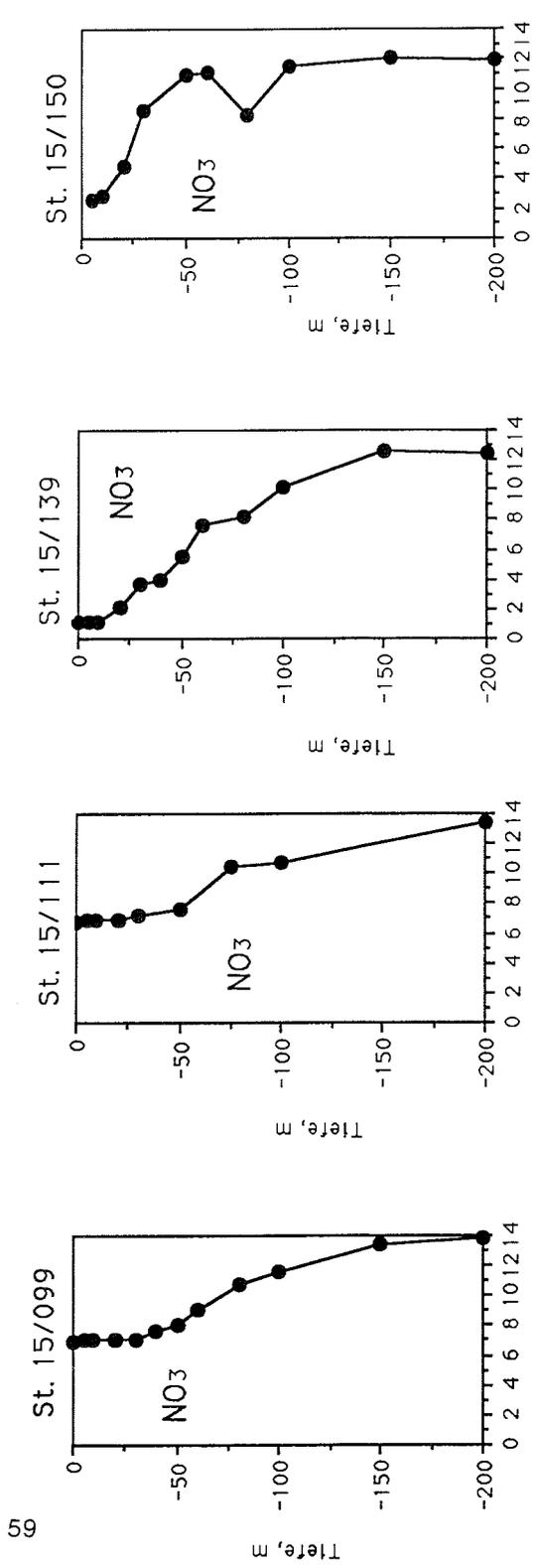
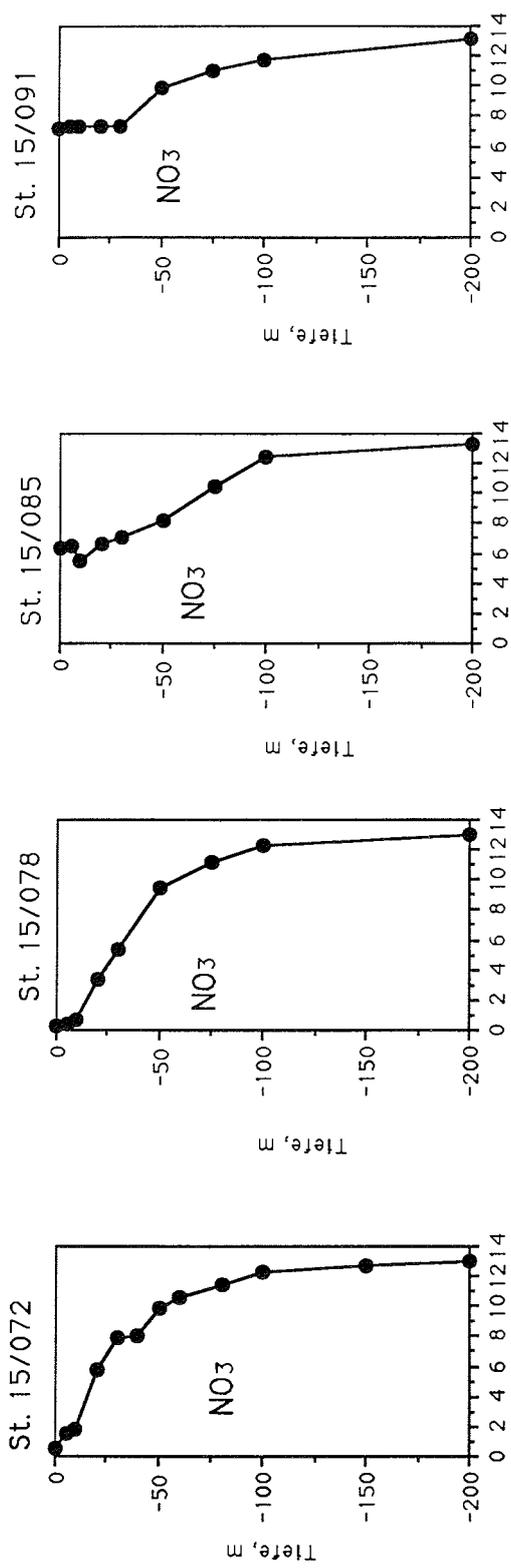


Abb.: 24 Tiefenprofile an den Stationen in der Arktis, 1989 Nitrat (µmol/l)

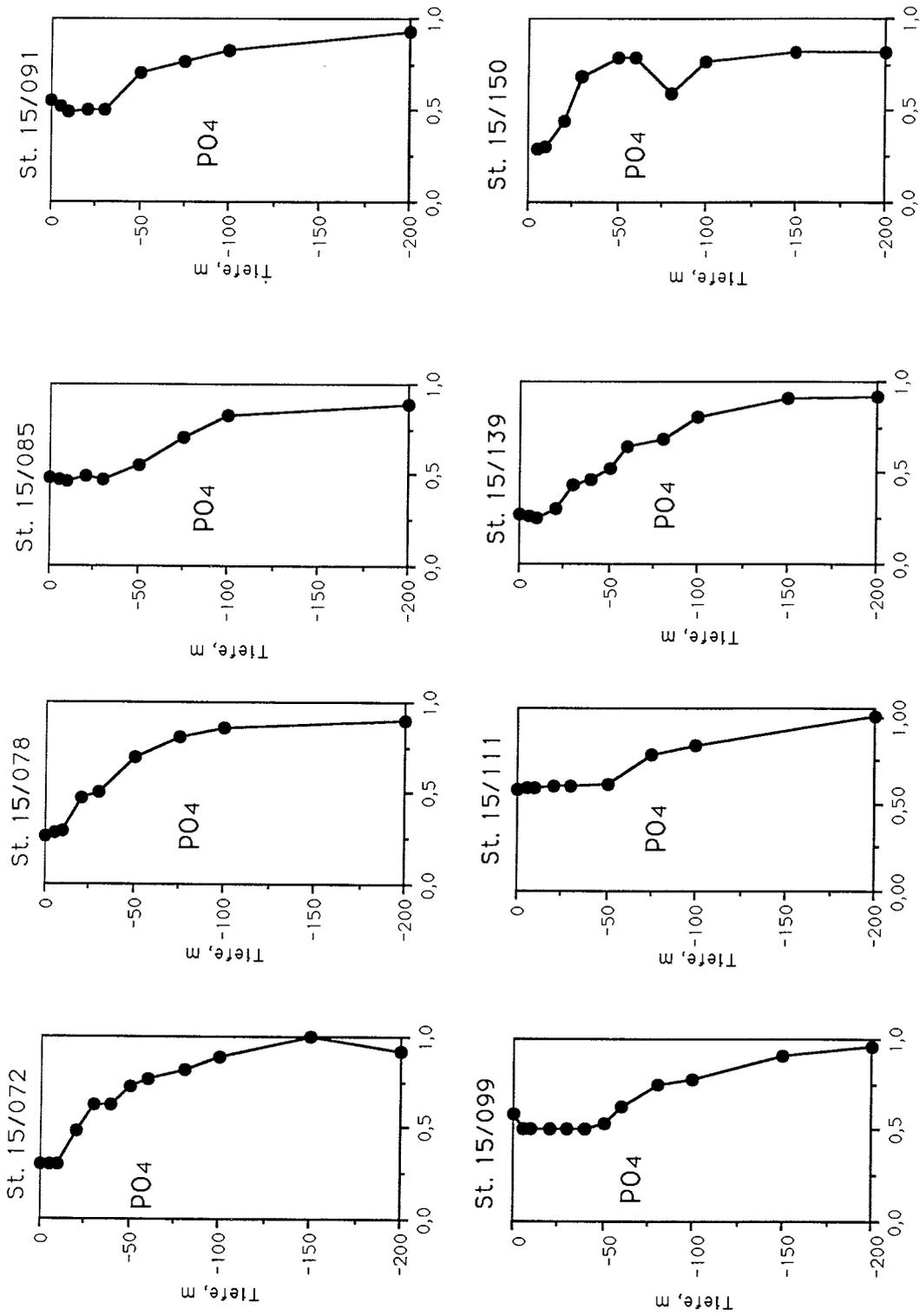


Abb.: 25 Tiefenprofile an den Stationen in der Arktis, 1989, Phosphat $\mu\text{mol/l}$

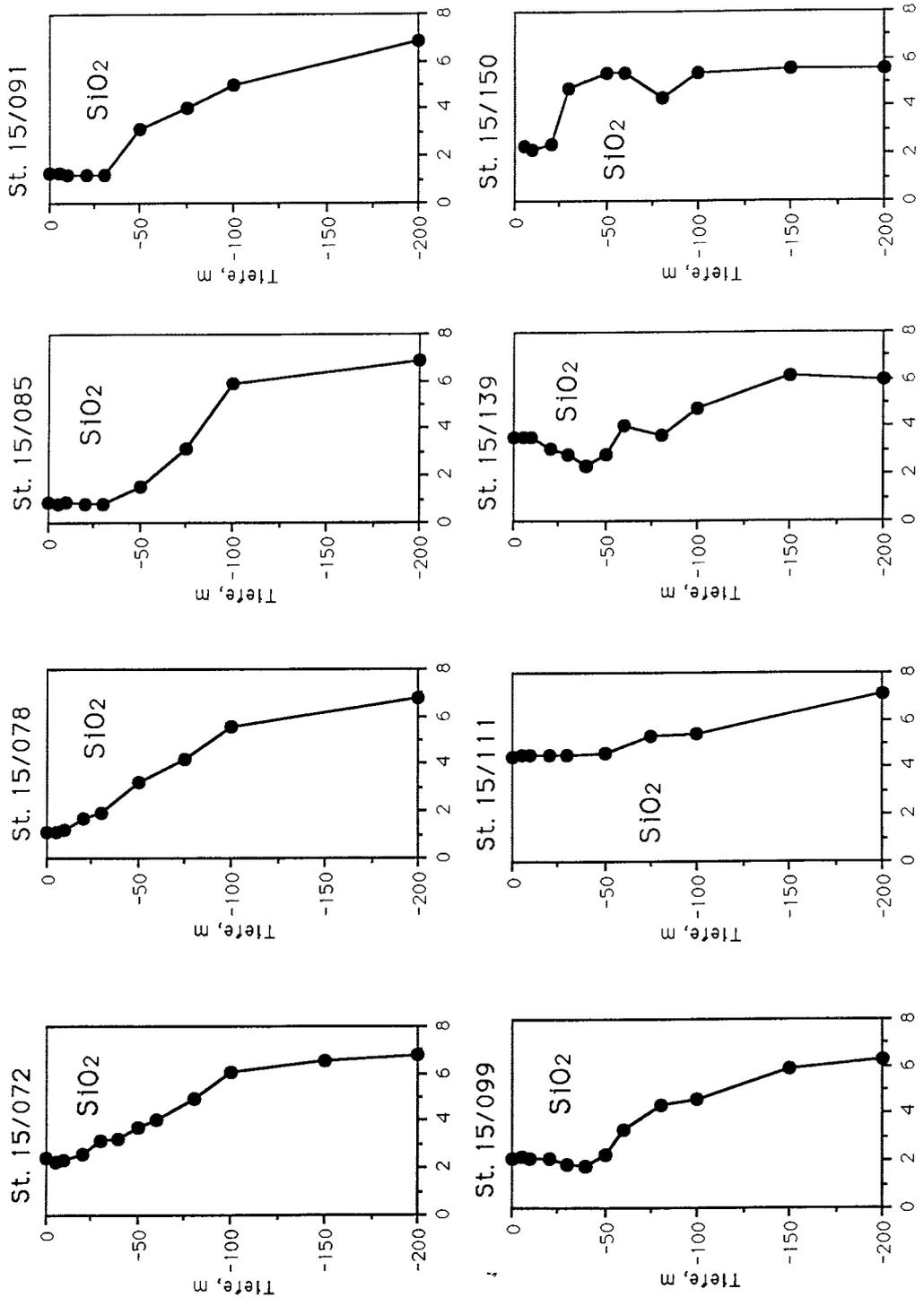


Abb.: 26 Tiefenprofile an den Stationen in der Arktis, 1989, Silikat $\mu\text{mol/l}$

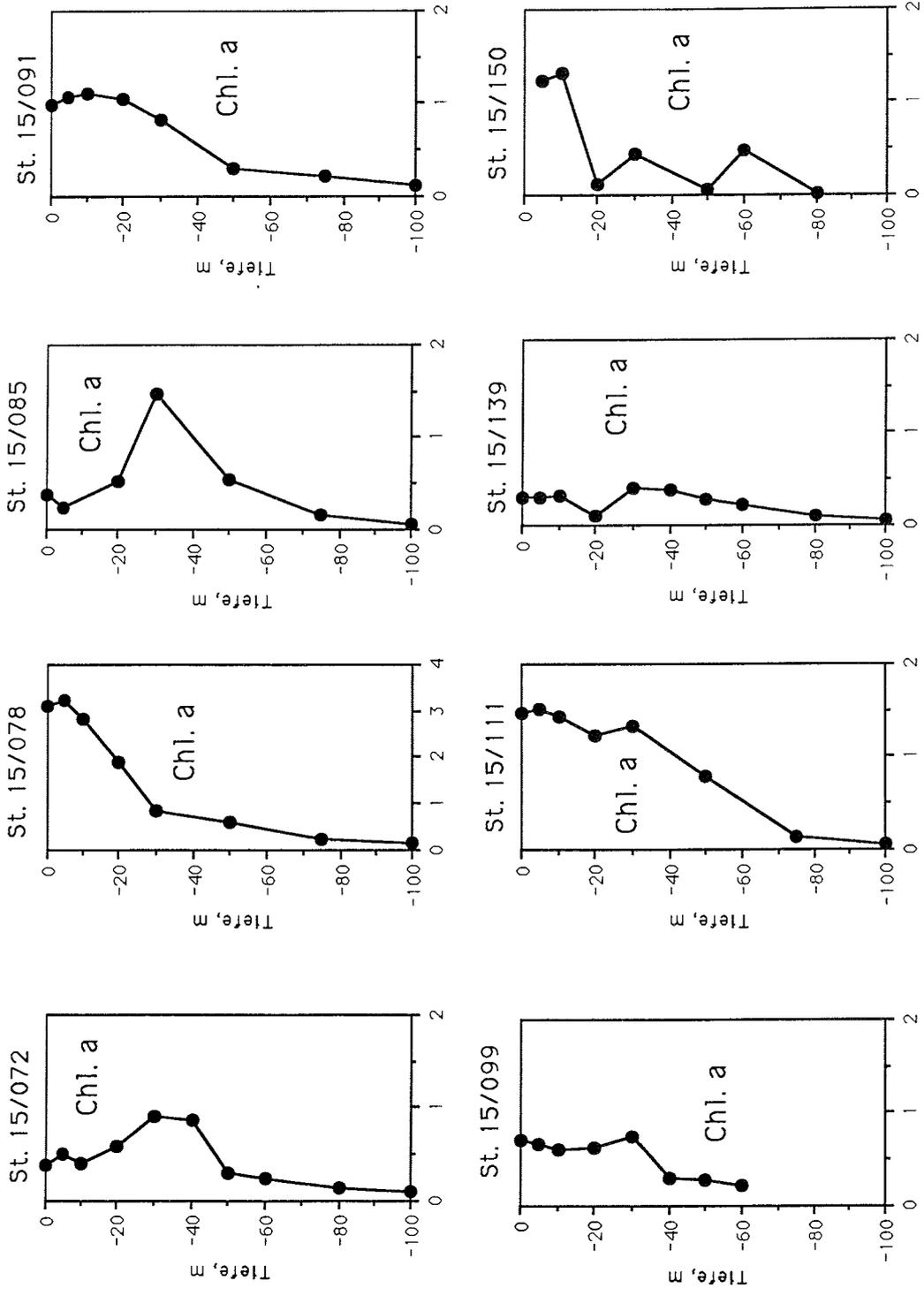


Abb.: 27 Tiefenprofile an den Stationen in der Arktis, 1989, Chlorophyll a, µg/l

Die Silikatkonzentrationen zeigen nicht diesen Deckschichtcharakter, zwischen 0 - 100 m Tiefe fluktuieren sie um einen Mittelwert von $3 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, darunter bis 200 m nehmen sie auf Konzentrationen um $6 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ zu.

Im Vergleich zu den anderen Stationen sind die Chlorophyll a-Konzentrationen über den gesamten Tiefenbereich bis 100 m mit $0,2 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ und einem Minimum von fast $0 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ bei 20 m am niedrigsten.

Die Station **15/150** liegt ebenfalls auf dem Framstraßenschnitt, allerdings in der Wassermasse atlantischen Ursprungs. Die Nährstoffe Phosphat, Nitrat und Silikat bilden nach erniedrigten Oberflächenkonzentrationen ein ausgeprägtes Maximum zwischen 50 - 60 m Tiefe. Bei 100 m Tiefe erreichen sie dann wieder die Konzentrationen des Maximums (Phosphat: $0,7 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, Nitrat: $12 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, Silikat: $5,5 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$). Mit zunehmender Tiefe bis 200 m bleiben die Konzentrationen konstant. Chlorophyll a zeigt erhöhte Werte in den oberen 15 m ($1,2 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$), im weiteren Tiefenverlauf bis 80 m fluktuieren sie zwischen 0 - $0,5 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Grönlandsee, 1990

Die Stationen **110 und 114** liegen im Mischwasserbereich des Grönlandseeschnittes zwischen Polar- und Arktikfront und sind in etwa vergleichbar mit der Station 15/078 von 1989. Für Phosphat und Nitrat zeigt sich der vertikale Kurvenverlauf etwas ausgeprägter. Maximale Konzentrationen werden schon bei Tiefen um 50 m erreicht, (Phosphat: $0,9 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$; Nitrat: $13 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$). Unterhalb 50 m sind die Konzentrationen in diesem Bereich konstant (Abb.: 28 - 29).

Für Silikat stellt sich im Vergleich zum Vorjahr ein veränderter Kurvenverlauf dar, Konzentrationen zwischen $4 - 6 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ dominieren im Bereich der Oberfläche bis 10 m. Bei ca. 20 m wird ein Minimum von $3 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ erreicht, unterhalb steigen die Konzentrationen an, erreichen bei 50 m maximale Werte von ca. $6 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, die sich auch im weiteren vertikalen Verlauf bis zu einer Tiefe von 200 m nicht ändern.

Auch die Chlorophyll a-Werte auf den Stationen 110 und 114 sind im Vergleich zum Vorjahr (Station 15/078) im Bereich zwischen 0 - 70 m stark reduziert, sie weisen Werte $< 0,5 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ auf.

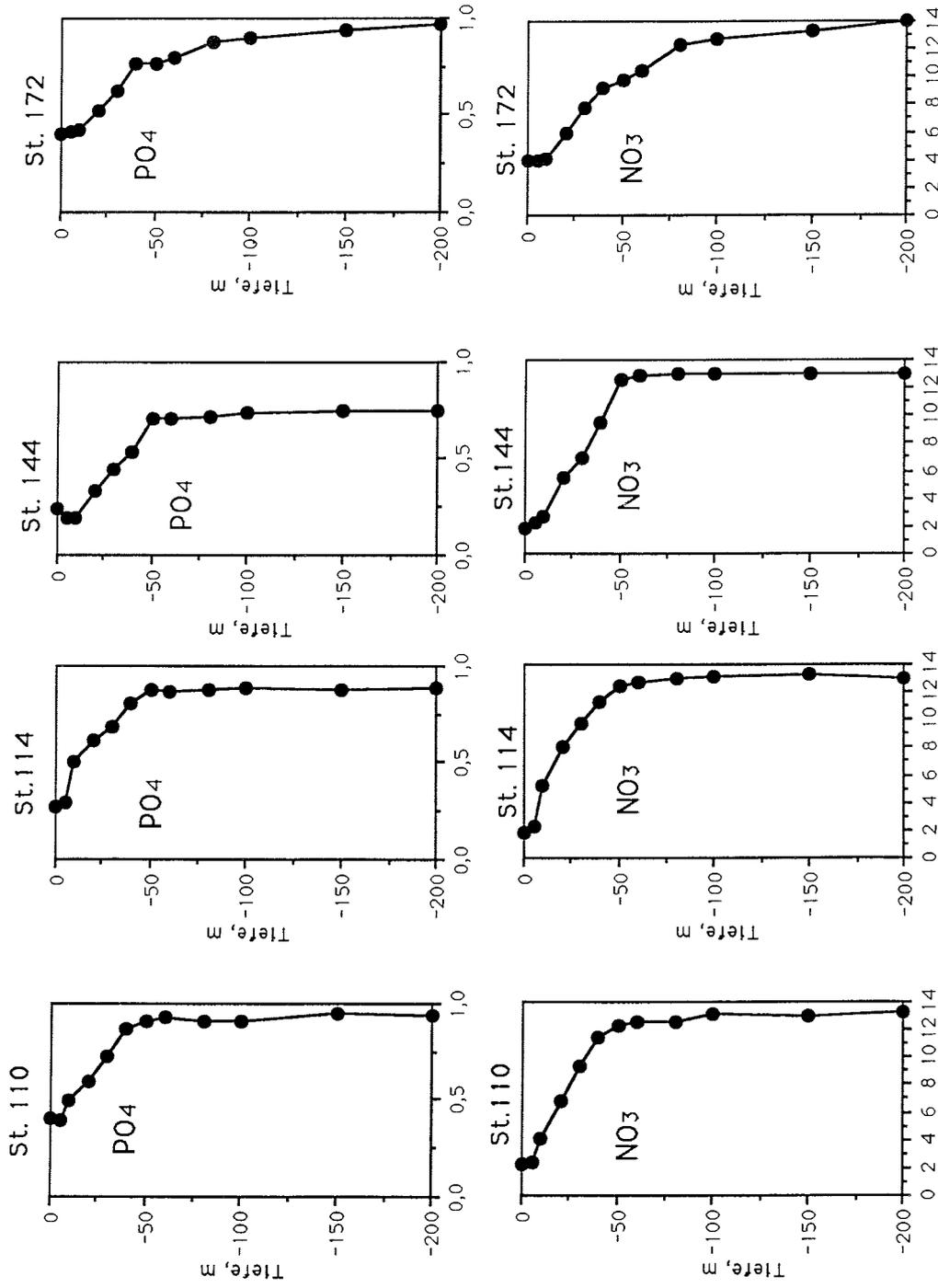


Abb.: 28 Tiefenprofile an den Stationen in der Arktis 1990, Phosphat und Nitrat in $\mu\text{mol/l}$

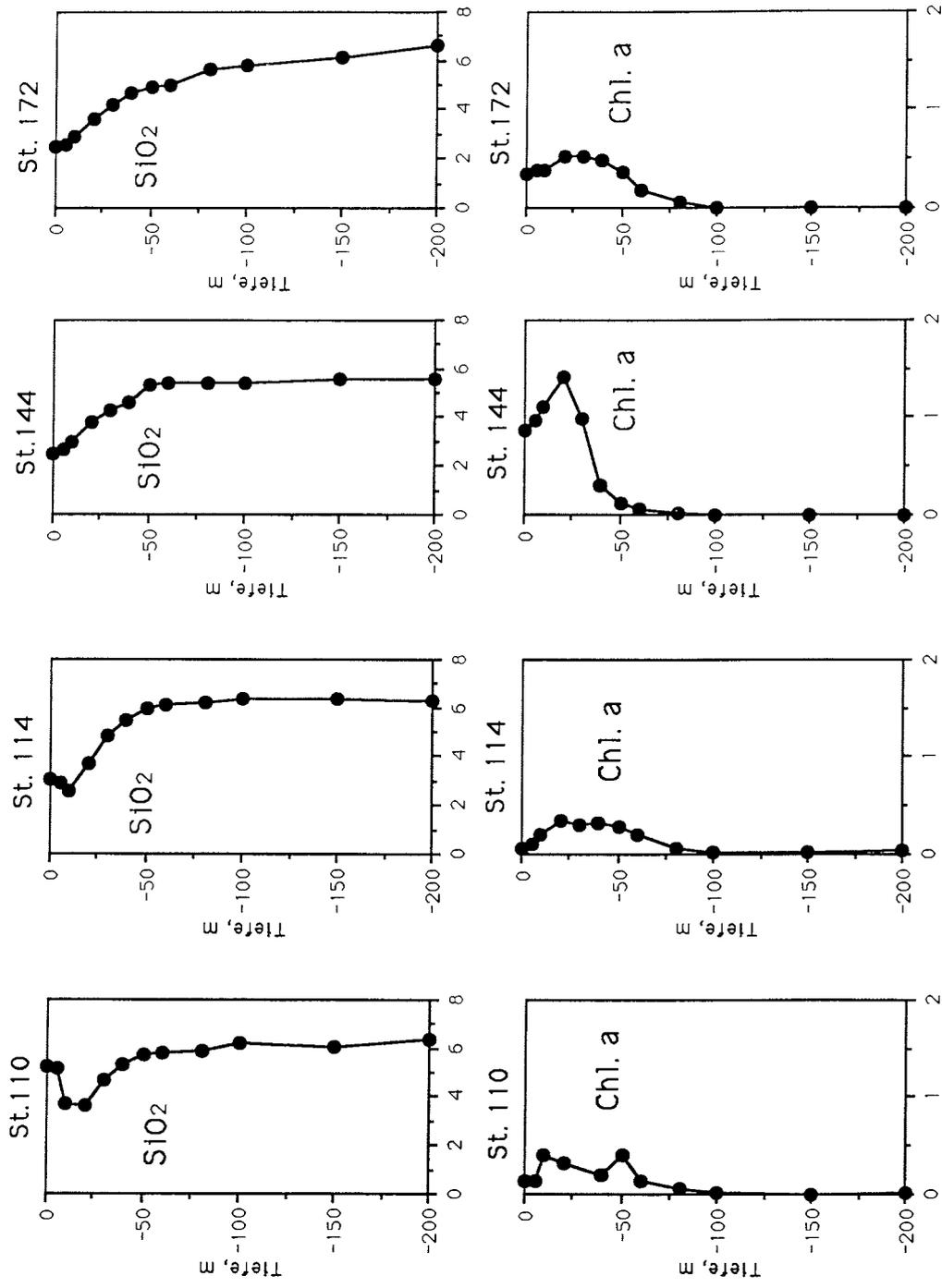


Abb.: 29 Tiefenprofile an den Stationen in der Arktis, 1990, Silikat, µmol/l und Chlorophyll a µg/l

Die Station **144** liegt im atlantischen Bereich des Grönlandseeschnittes und ist vergleichbar mit der Station 15/111 vom Vorjahr. Phosphat ($0,2 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) und Nitrat ($2 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) sind in den oberen 10 m der Wassersäule reduziert, bis 50 m Tiefe steigen die Konzentrationen dann auf maximale Werte von Phosphat ($0,7 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) und Nitrat ($13 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) an. Im weiteren vertikalen Kurvenverlauf bleiben diese Konzentrationen bis zur Tiefe von 200 m konstant.

Die Silikatkonzentrationen der oberen 10 m sind im Vergleich zum Vorjahr auf die Hälfte reduziert ($2 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$), erst ab 50 m erreichen sie Konzentrationen von $5,5 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Die Chlorophyll a-Konzentrationen erreichen bei 25 m maximale Werte von $1,5 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ und nehmen dann bei 50 m Tiefe auf Werte $< 0,1 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ ab.

Framstraße, 1990

Die Station **172** liegt auf dem Framstraßenschnitt in der Wassermasse atlantischen Ursprungs, östlich neben der in diesem Jahr lokalisierten Arktikfront. Der Oberflächenbereich bis 20 m ist durch erniedrigte Werte für Phosphat um $0,4 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, Nitrat um $3 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ und Silikat um $2 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ charakterisiert. Ab 30 m Tiefe ist dann eine Zunahme bis 200 m zu erkennen, mit Konzentrationen um $1 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Phosphat, $14 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Nitrat und $7 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Silikat.

Die Chlorophyll a-Konzentrationen sind im Bereich zwischen 0 - 70 m mit Werten $< 0,5 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ niedrig (Abb.: 28 - 29).

Zusammenfassend kann man sagen, daß die vertikalen Nährstoff- und Chlorophyll a-Verteilungen in den oberen 50 m stark an die Vorgänge in der euphotischen Zone gekoppelt sind, die in Kapitel 4.1. eingehend beschrieben wurden.

Während sich 1989 die maximalen Konzentrationen für Phosphat, Nitrat und Silikat zwischen 50 - 100 m und einer leicht ansteigenden Tendenz bis 200 m einstellen, liegt diese Grenze 1990 bei 50 m. Die Nährstoffkonzentrationen, die unterhalb 50 m erreicht werden, sind innerhalb der einzelnen Stationen und der beiden Jahrgänge vergleichbar.

Die Chlorophyll a-Konzentrationen der oberen 50 m sind 1990 im Vergleich zum Vorjahr stark reduziert, nur die Station 144 im atlantischen Bereich bildet eine Ausnahme.

4.4. NÄHRSTOFF- UND CHLOROPHYLL a-VERTEILUNG IM OSTATLANTIK IM VERGLEICH DER JAHRE 1989 UND 1990

4.4.1. Horizontale Verteilung

In Abb.: 30 sind die Nährstoff- und Chlorophyll a-Verteilungen beider Atlantik-expeditionen dargestellt.

1989 liegen die Nitratkonzentrationen zwischen 32°S - 40°N unter $0,05 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, erst ab 40°N in den gemäßigten Breiten steigen die Konzentrationen auf Werte bis $3,8 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ an.

1990 ist die Situation etwas verändert, an der südlichsten Station (30°S) beträgt die Nitratkonzentration $1,2 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, bei 27°S geht sie auf Werte um $0,25 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ zurück und erreicht bei 13°S Werte unter $0,15 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$. Im Bereich des Kalmengürtels zwischen 5°S - 5°N sind zwei kleine Maxima bis $0,3 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Nitrat zu erkennen und im weiteren Verlauf Richtung Norden fällt ein Maximum bei 15°N mit Konzentrationen um $0,6 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ auf, danach gehen die Werte wieder auf $0,2 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ zurück. Auch in den gemäßigten Breiten ab 40°N hat eine vollständige Nitratzehrung aufgrund der Frühjahrsblüte stattgefunden.

Die Phosphatkonzentrationen zeigen **1989** im Südatlantik bei 26° - 32°S maximale Konzentrationen von $0,32$ und $0,26 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Ab 20°S gehen die Konzentrationen kontinuierlich zurück, und erreichen bei 5°N minimale Werte $<0,05 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$. Ab 5°N steigen die Werte wieder an, und erreichen zwischen 20°N - 40°N durchschnittliche Konzentrationen um $0,15 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$. In den gemäßigten Breiten (40°N) erreichen sie dann maximale Konzentrationen bis $0,35 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$.

1990 besteht ein ausgeprägtes Phosphatmaximum zwischen 15° - 25°S im Südatlantik. Richtung Norden gehen die Konzentrationen zurück und erreichen ähnlich wie 1989 minimale Werte von $0,05 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ bei 5°N.

Im Bereich der Subtropen bei 10°N - 15°N fallen zwei Maxima mit Werten bis zu $0,25 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Phosphat auf. Im weiteren Verlauf bis 30°N gehen die Konzentrationen ähnlich wie im Vorjahr auf Werte um $0,05 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ zurück, erreichen bei 37°N wieder erhöhte Konzentrationen von $0,15 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ und liegen in den gemäßigten Breiten mit Konzentrationen um $0,1 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ unter den Meßwerten vom Vorjahr.

Die Silikatverteilung im Südatlantik zwischen 32°S - 5°S ist in den Jahren **1989** und **1990** gleich.

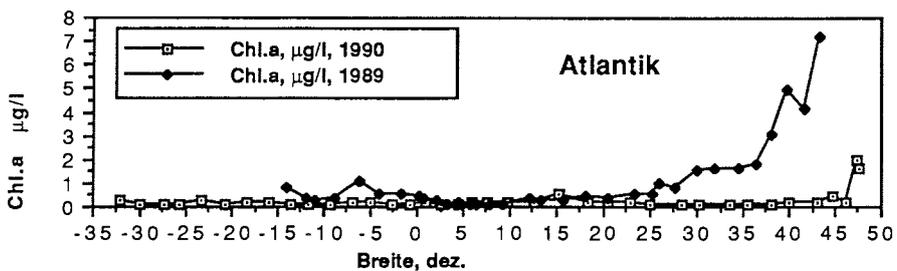
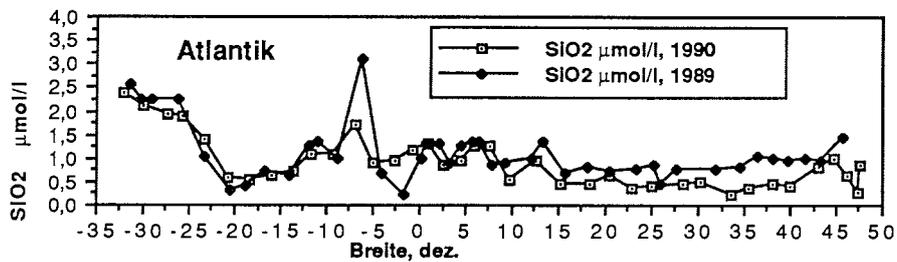
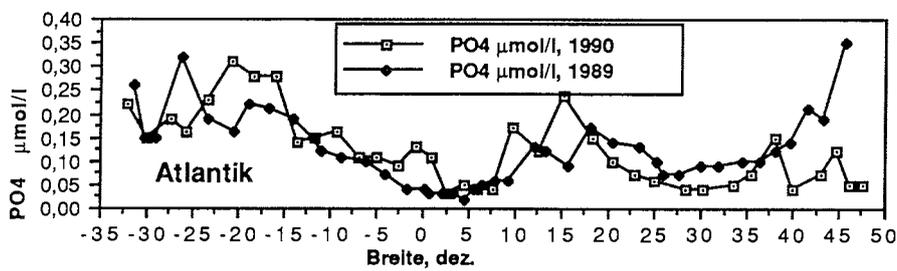
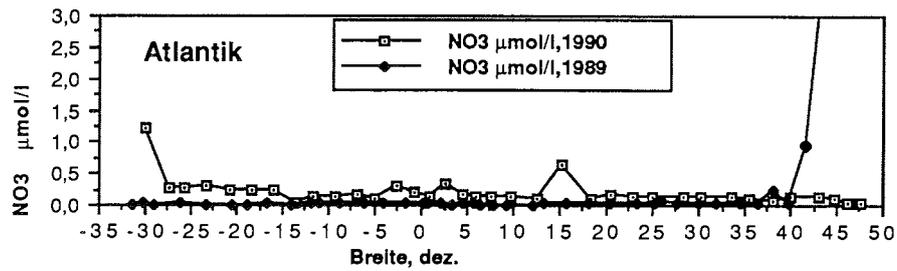


Abb.: 30 Nährstoff- und Chlorophyll a- Verteilung im Oberflächenbereich des Ostatlantiks im April 1989 und im Mai 1990

Auffällig sind die erhöhten Konzentrationen ($2,5 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) zwischen $25^\circ - 32^\circ\text{S}$ vor der Küste Südafrikas, das Minimum bei 20°S ($0,5 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) und das Maximum bei 7°S ($3,2 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, 1989) das 1990 mit $1,7 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ etwas weniger ausgeprägt ist. Zwischen $5^\circ\text{S} - 45^\circ\text{N}$ fluktuieren die Silikatkonzentrationen 1989 zwischen $1,0 - 1,5 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ und 1990 mit etwas erniedrigten Konzentrationen zwischen $0,5 - 1,3 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Silikat.

Die Chlorophyll a-Konzentrationen 1989 sind zwischen $15^\circ\text{S} - 25^\circ\text{N}$ mit Werten unter $0,2 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ sehr niedrig, auffällig ist ein Maximum bei 7°S mit $1 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$, das mit dem Silikatmaximum zusammenfällt.

Ab 25°N steigen die Chlorophyll a-Konzentrationen kontinuierlich an und erreichen bei 43°N maximale Werte von $7 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$.

1990 ist die Chlorophyll a-Situation im tropischen und subtropischen Atlantik ähnlich wie im Vorjahr und auch in den gemäßigten Breiten steigen die Konzentrationen erst bei 42°N auf Werte um $2 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$. Weiterhin auffällig ist der leichte Anstieg der Chlorophyll a-Konzentrationen auf $0,5 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ bei 15°N .

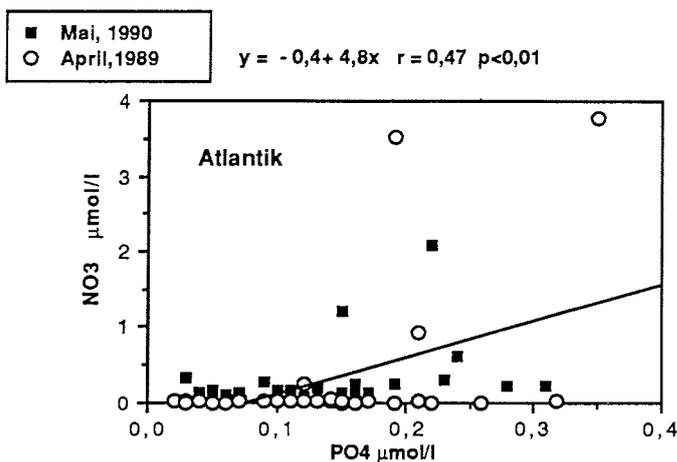


Abb.: 31 Korrelation zwischen Nitrat- und Phosphatkonzentrationen in der Oberfläche.

Aus der Korrelation zwischen Nitrat und Phosphat errechnet sich eine "Redfield ratio" von 1:5. Gegenüber dem charakteristischen Verhältnis von 1:15 (BROEKER & PENG, 1982) und dem Wert für den Oberflächenbereich der Grönlandsee 1:11,5 ist sie stark erniedrigt. Dieser Mangel an Nitrat in der Oberfläche ist auf die fehlende vertikale Konvektion vor allem in den tropischen Breiten zurückzuführen (Abb.: 31).

Zusammenfassend kann die Nährstoff - Situation im Atlantik während der beiden Expeditionen folgendermaßen interpretiert werden: In den tropischen und subtropischen Breiten ist das Nitrat eindeutig der limitierende Nährstoffparameter. In den gemäßigten Breiten sind die Konzentrationen im April 1989 noch sehr hoch, welches sich auch in einer ausgeprägten Frühjahrsblüte durch hohe Chlorophyll a-Konzentrationen zeigt.

Im Mai 1990 ist die Primärproduktion in den gemäßigten Breiten bereits abgeschlossen und auch das Phytoplankton wurde von Sekundärproduzenten konsumiert.

Auffällig sind die Nährstoff-Maxima im Jahre 1990 bei 15°N und der geringe Anstieg der Chlorophyll a-Konzentrationen. Es ist sehr wahrscheinlich, daß in diesen Breiten zwischen den Kapverdischen Inseln und West-Afrika der Rand des Guineadomes durchquert wurde, denn mit Beginn des Sommers steigt die Domkuppel bis etwa 20 m unter die Meeresoberfläche an und nährstoffreiches Tiefenwasser gelangt in die euphotische Zone (HAGEN & SCHEMAINDA 1984).

4.4.2. Vertikale Nährstoffverteilung im Ostatlantik

Die vertikale Nährstoffverteilung stellt sich zusammenfassend folgendermaßen dar (Abb.: 32 - 34). Phosphat und Nitrat erreichen in den einzelnen Becken zwischen 500 - 1000 m Tiefe ihre maximalen Konzentrationen (Nitrat 35 - 45 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) und (Phosphat 2,5 - 3 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$). Ausnahmen bilden wieder die beiden nördlichsten Stationen "Westlich Gibraltar" und "Iberisches-Becken". Hier nehmen die Konzentrationen kontinuierlich mit der Tiefe zu und erreichen zwischen 4000 - 5000 m Konzentrationen von ca. 1,6 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Phosphat und 24 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Nitrat.

Die Silikatverteilung unterscheidet sich von den vorherigen beiden Nährstoffen. An den vier südlichen Stationen sind wenig ausgeprägte Maxima mit 25 - 40 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Silikat in den Tiefen zwischen 1000 - 1500 m zu beobachten. Im weiteren Verlauf nehmen diese Konzentrationen noch auf Werte zwischen 40 - 50 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ zu.

An den nördlichen drei Stationen, Kapverden-Becken, Westlich Gibraltar und Iberisches-Becken ist eine kontinuierliche Zunahme der Silikatkonzentrationen mit der Tiefe zu verzeichnen, bei 3000 - 4500 m wurden Werte zwischen 35 - 43 $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Silikat gemessen.

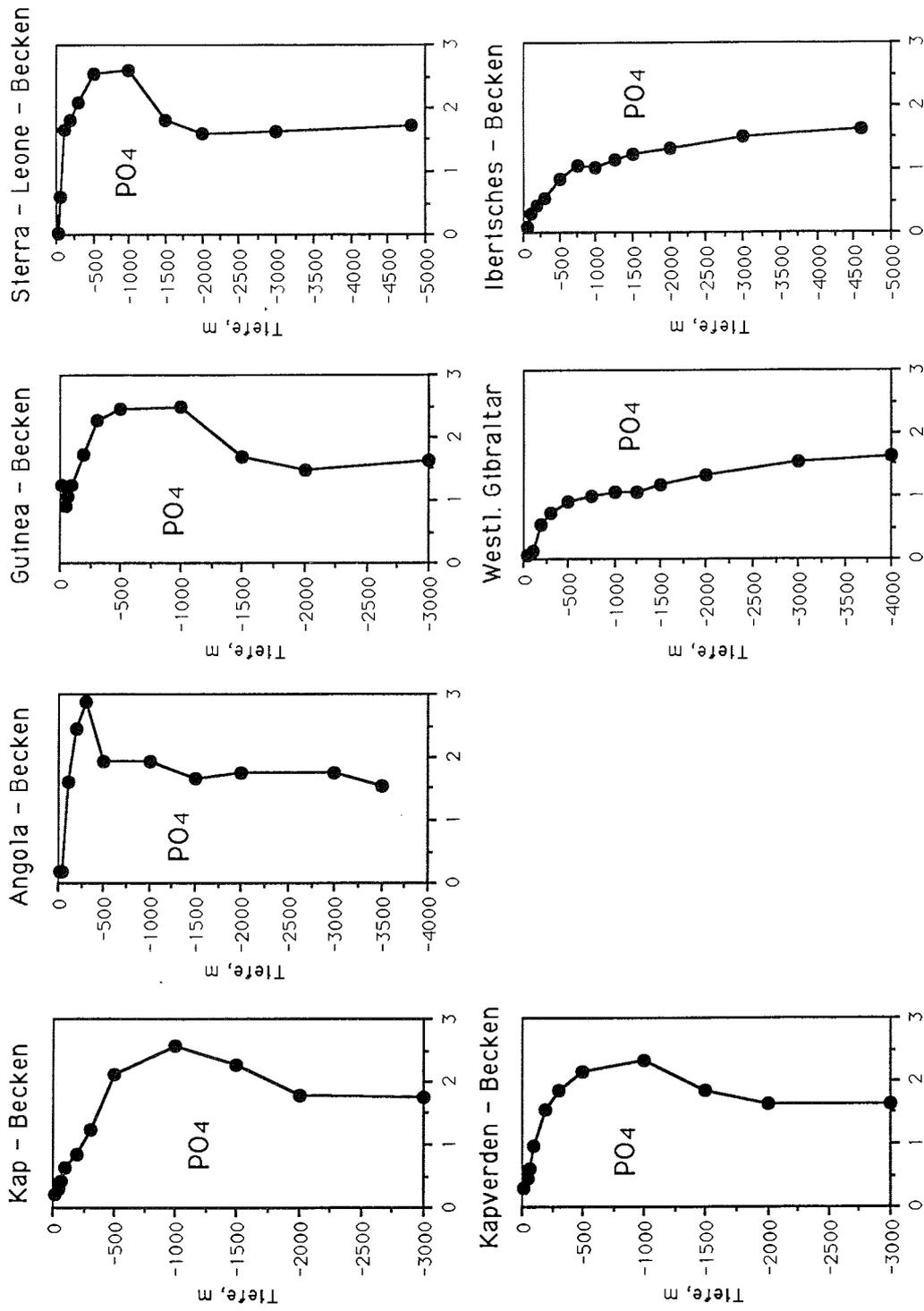


Abb.: 32 Tiefenprofile an den Stationen im Atlantik 1990, Phosphat in $\mu\text{mol/l}$

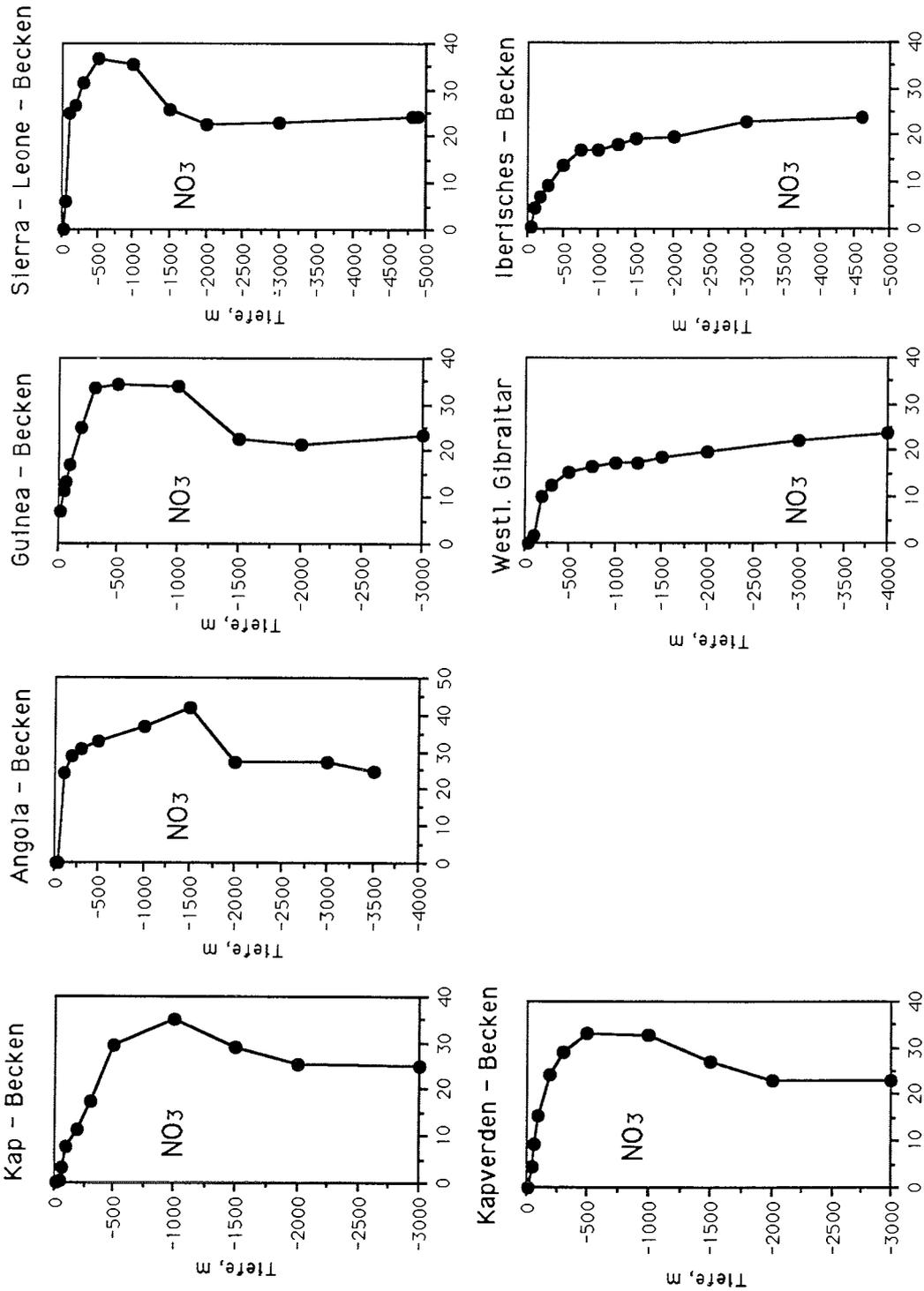


Abb.: 33 Tiefenprofile an den Stationen im Atlantik 1990, Nitrat $\mu\text{mol/l}$

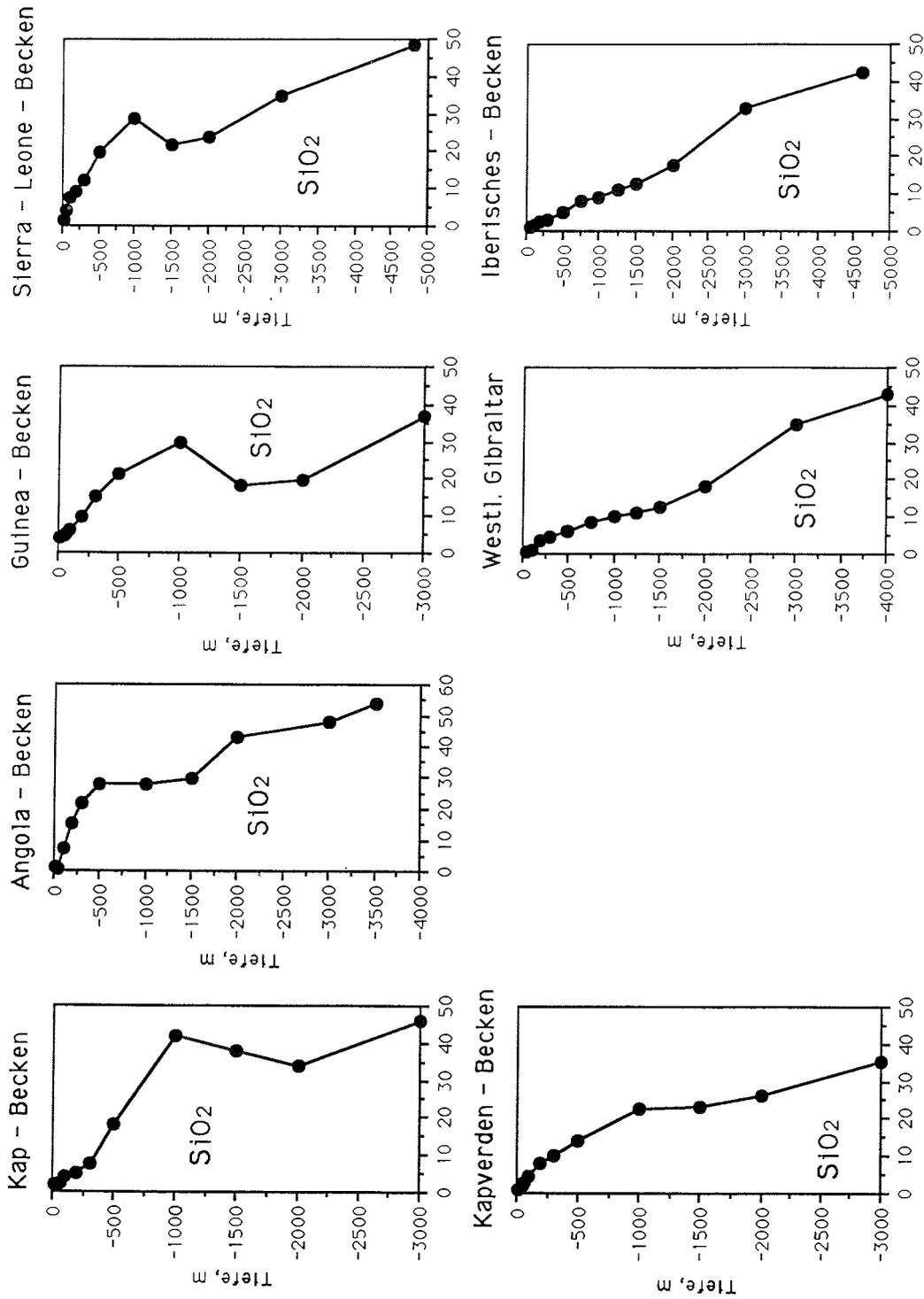


Abb.: 34 Tiefenprofile an den Stationen im Atlantik 1990, Silikat in μmol/l

4.5. ZUSAMMENFASSUNG DER NÄHRSTOFFERGEBNISSE

Anhand der hydrographischen und nährstoffchemischen Untersuchungen konnte gezeigt werden, daß in der Arktis die Frontensysteme, die Eisbedeckung und der limitierende Faktor Licht die Primärproduktion und damit die biologischen Aktivitäten auf einen relativ kurzen Zeitraum begrenzen, dagegen bestehen im tropischen und subtropischen Atlantik während des ganzen Jahres nahezu konstante hydrographische und nährstoffchemische Bedingungen.

Die Regionen im Atlantik, die 1989 und 1990 auf den Polarstern Expeditionen durchfahren wurden, werden im allgemeinen auch als "ozeanische Wüsten" bezeichnet. Durch die hydrographische Situation, die Ausbildung einer stabilen Deckschicht und das Fehlen einer vertikalen Konvektion, sind die Nährstoffkonzentrationen in der euphotischen Zone im allgemeinen sehr niedrig. Da die Lichtverhältnisse in den tropischen und subtropischen Breiten regelmäßigen Tageslängen folgen und die Temperaturverhältnisse günstig sind, gibt es keine ausgeprägte Frühjahrsblüte, sondern die Nährstoffe der euphotischen Zone werden verbraucht, wenn sie zur Verfügung stehen.

Eine Primärproduktion findet mehr oder weniger über das ganze Jahr verteilt statt, das Phytoplankton wird durch Sekundärproduzenten, die zum Teil tageszeitenabhängige Migrationen zur Oberfläche durchführen, konsumiert und aus der euphotischen Zone eliminiert. In den Sprungschichten, die u. a. durch Sauerstoffminima gekennzeichnet sind, finden Oxidationsprozesse statt, es erfolgt die Remineralisierung des partikulären Materials, und die gelösten Nährstoffe Nitrat und Phosphat erreichen hier ihre maximalen Konzentrationen.

5. ERGEBNISSE AUS DEN SPURENMETALL-ANALYTISCHEN UNTERSUCHUNGEN

5.1. CADMIUM

5.1.1. Cadmiumdynamik in der gelösten Phase

5.1.1.1. Die horizontale Cadmiumverteilung in der Arktis im Vergleich der Jahre 1989 und 1990

Die Cadmiumverteilung der beiden Jahrgänge 1989/1990 im Oberflächenbereich der Framstraße und der Grönlandsee sind in Abb.:35 dargestellt. Sie sind sehr eng mit der hydrographischen Situation und den Nährstoffdaten verknüpft.

Framstraße

Drei Bereiche lassen sich anhand der Cadmiumkonzentrationen für 1989 und 1990 definieren, die Abschnitte werden durch die Polarfront und die Arktikfront begrenzt.

Der westliche Bereich liegt im polaren Wasserkörper des EGC auf dem ostgrönländischen Schelf. Er wird bei ca. 3°W zum einen durch die Polarfront, zum anderen durch die 200 - 500 m Isobare, der definierten Grenze zwischen dem Kontinentalschelf und der Tiefsee, begrenzt. **1989** sind die Cadmiumkonzentrationen in diesem Bereich mit Werten um 0,26 nmol·kg⁻¹ hoch, nehmen allerdings im Bereich der Polarfront drastisch auf Werte um ca. 0,075 nmol·kg⁻¹ ab. **1990** sind sie in diesem westlichen Bereich mit Konzentrationen zwischen 0,09 - 0,12 nmol·kg⁻¹ deutlich niedriger, welches auf die Schmelzwassereinträge zurückzuführen ist. An der Polarfront werden sie auf Werte bis unter 0,075 nmol·kg⁻¹ reduziert.

Der weitere Verlauf zwischen Polarfront und Arktikfront (3°W - 3°E) zeichnet sich **1989 und 1990** durch niedrige Cadmiumkonzentrationen zwischen 0,03 - 0,075 nmol·kg⁻¹ und einem Minimum im Bereich der Arktikfront aus. Die Cadmiumkonzentrationen aus beiden Jahrgängen verlaufen hier nahezu synchron. Auch der durch den atlantischen Wasserkörper beeinflusste östliche Teil des Schnittes auf dem Westspitzbergen-Schelf wird durch zunehmende Cadmiumkonzentrationen von 0,03 - 0,15 nmol·kg⁻¹ charakterisiert. Östlich 9°E sinken die Werte auf 0,08 nmol·kg⁻¹ ab.

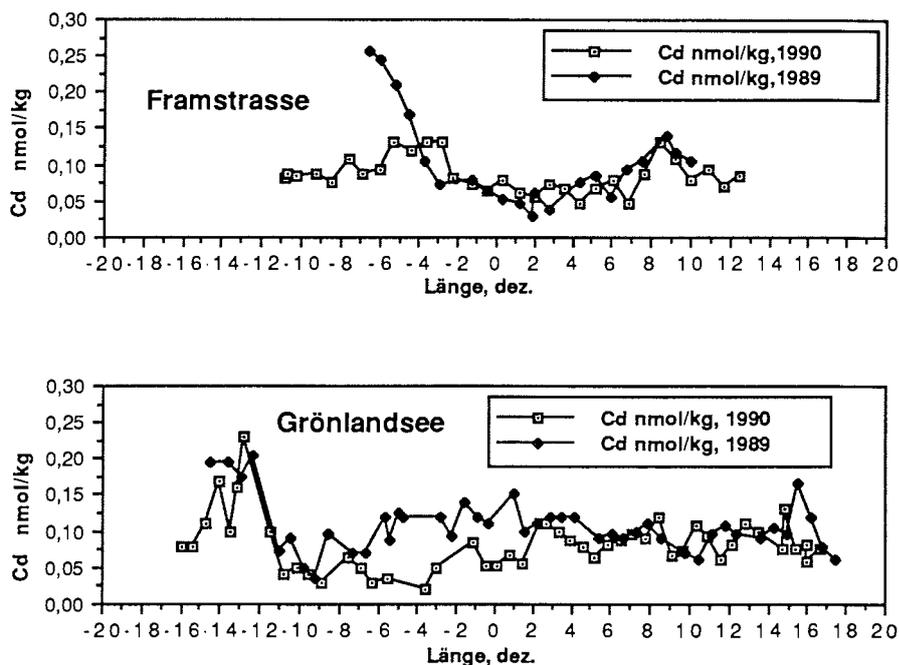


Abb.: 35 Cadmiumverteilung in der Framstraße und der Grönlandsee im Juni 1989 und Juli 1990

Grönlandsee

Auch auf dem Grönlandseeschnitt läßt sich 1989 und 1990 der polare Frontenbereich $10^{\circ} - 11^{\circ}W$ eindeutig durch die Abnahme der Cadmiumkonzentrationen identifizieren.

Während auf dem ostgrönländischen Schelf hohe Konzentrationen von bis zu $0,22 \text{ nmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ im Oberflächenbereich ermittelt wurden, liegen sie im Bereich der Polarfront unter $0,05 \text{ nmol} \cdot \text{kg}^{-1}$. In Richtung Osten zwischen $9^{\circ}W - 2^{\circ}E$ steigen die Konzentrationen 1989 auf Werte um $0,12 \text{ nmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ an, während sie 1990 unter $0,1 \text{ nmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ liegen. Zwischen $2^{\circ} - 9^{\circ}E$ gleichen sich die Konzentrationen im Bereich um $0,1 \text{ nmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ an, ein schwach ausgeprägtes Minimum ist bei $5^{\circ}E$ zu verzeichnen. Dieses Minimum fällt 1990 mit der Arktikfront zusammen, die im Jahr 1989 bei $11^{\circ}E$ angetroffen wurde und ebenfalls mit einem wenig ausgeprägten Minimum zusammenfällt. Maximale Konzentrationen in diesem östlichen Teil wurden bei $16^{\circ}E$ mit $0,17 \text{ nmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ gemessen, sie fallen mit der 500 m Isobaren des Bäreninselschelfs zusammen.

5.1.1.2. Cadmium in den verschiedenen Wassermassen der Arktis

Mit Hilfe der Salzgehalt- und Temperaturdaten des Grönlandseeschnittes, 1989 wurde ein T/S - Diagramm zur Identifizierung verschiedener Wassermassen, bzw. Einflußbereiche erstellt (Abb.:36).

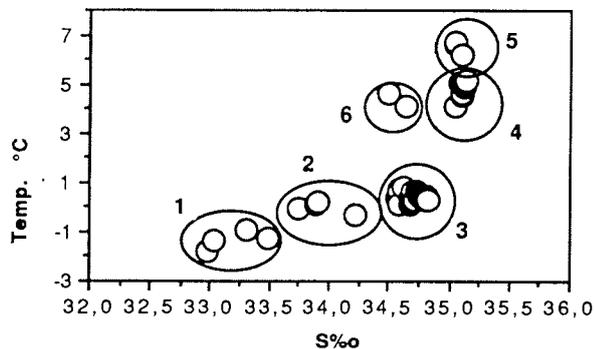


Abb.: 36 Temperatur / Salzgehalt - Diagramm Grönlandseeschnitt, 1989

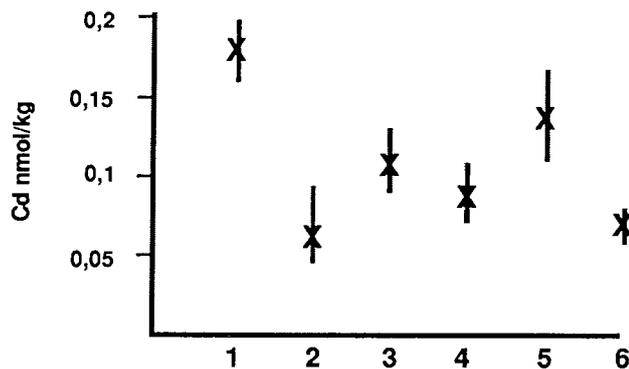


Abb.: 37 Durchschnittliche Cadmiumkonzentrationen 1989 in den verschiedenen Wassermassen des Grönlandseeschnittes mit Standardabweichungen und () Anzahl der Stationen.

1.) Ostgrönlandschelf:	(4)	0,191 nmol·kg ⁻¹ +/- 0,01
2.) Polarfront:	(4)	0,062 nmol·kg ⁻¹ +/- 0,02
3.) Grönlandsee:	(23)	0,108 nmol·kg ⁻¹ +/- 0,019
4.) Atlantikwasser:	(8)	0,090 nmol·kg ⁻¹ +/- 0,016
5.) Bäreninselschelf:	(2)	0,143 nmol·kg ⁻¹ +/- 0,023
6.) Einfluß/Ostspitzbergenstrom:	(2)	0,070 nmol·kg ⁻¹ +/- 0,01

Es wurden 6 Einflußbereiche dargestellt, wobei die Bereiche 4, 5 und 6 in dem Wasserkörper atlantischen Ursprungs liegen und durch Faktoren wie den Ost - Spitzbergenstrom (ESC), den Bäreninselschelf und Mischungsvorgängen im Bereich der Arktikfront beeinflusst werden. Die Region 3 stellt die Situation im Oberflächenbereich der Grönlandsee dar, das Gebiet 2 umfaßt die Daten im Bereich der Polarfront und Gebiet 1 spiegelt die Situation auf dem Ostgrönlandschelf wider. Von den Cadmiumkonzentrationen in diesen Gebieten wurden die Durchschnittswerte mit Standardabweichungen errechnet und in Abb.: 37 graphisch dargestellt.

Zusammenfassend kann die Cadmiumverteilung in der Framstraße und der Grönlandsee folgendermaßen beschrieben werden: In den Einflußbereichen des Kontinentalschelfs sind die Cadmiumkonzentrationen hoch, in den Frontenbereichen der Polarfront nehmen sie um den Faktor 3 - 4 ab, während die Frontenbereiche der Arktikfront nicht eindeutig auf Grund erniedrigter Cadmiumkonzentrationen identifiziert werden können. In den Mischwassermassen der Grönlandsee liegen mittlere Konzentrationen um $0,1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ vor, sie sind um den Faktor 2 höher als im Frontenbereich und um den Faktor 2 niedriger als auf dem Schelf.

5.1.1.3. Cadmiumkonzentrationen in Schnee- und Schmelzwasserproben der Arktis

Um der Frage nachzugehen, durch welche Faktoren die hohen Cadmiumkonzentrationen auf dem Ostgrönlandschelf neben den vertikalen Prozessen noch beeinflusst werden könnten, wurde im Jahre 1990 eine Schnee- und Schmelzwasserprobe von einer Meereissholle und einem Gletschereisberg entnommen. Die Ergebnisse sind in Abb.: 38 dargestellt.

In unfiltriertem Schnee betragen die Cadmiumkonzentrationen $0,036 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, in filtriertem Schnee $0,013 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ und in den Schmelzwasserbereichen auf der Scholle wurden $0,022 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ gemessen. Alle drei Konzentrationen liegen unter den gelösten Cadmiumkonzentrationen im Meerwasser, zeigen allerdings, daß fast $2/3$ des Cadmiums im Schnee wahrscheinlich an Partikeln adsorbiert vorliegt, und beim Schmelzen zum Teil in Lösung geht, denn die Konzentrationen in den Schmelzwasserbereichen sind etwas höher als in filtriertem Schnee.

Die Konzentrationen des Gletschereisbergs liegen mit $0,53 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ wesentlich höher als die Konzentrationen im Meerwasser.

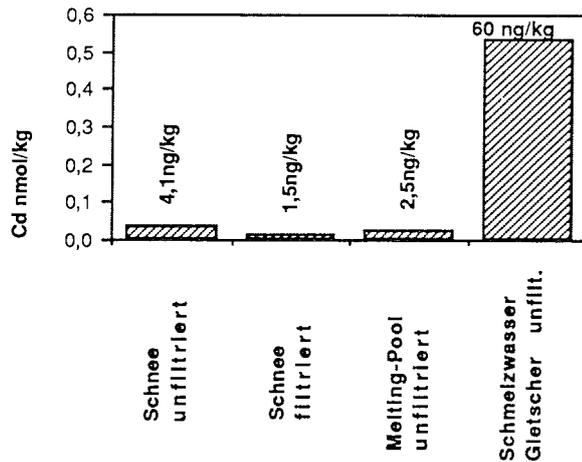


Abb.: 38 Cadmium in Schnee- und Schmelzwasser

Daraus läßt sich folgern, daß die Cadmumeinträge aus dem Meereis keinen erhöhenden Einfluß auf die Cadmiumkonzentrationen im Wasser haben, während Gletschereisberge durchaus als Cadmiumquelle auf dem ostgrönländischen Schelf berücksichtigt werden müssen. Die erniedrigten Cadmiumkonzentrationen 1990 im Oberflächenwasser des Ost-Grönlandschelfs könnten neben der Eliminierung durch das Phytoplankton auch auf Verdünnungsvorgänge während der Eisschmelze zurückzuführen sein.

Vergleichende Konzentrationen mit $3 \text{ ng}\cdot\text{kg}^{-1}$ Cadmium wurden von WEISS et al. (1978) und HERRON et al. (1977) in grönländischem Schnee analysiert. BOUTRON (1979) fand Konzentrationen zwischen $0,7 - 85 \text{ ng}\cdot\text{kg}^{-1}$ und MART (1983) zwischen $2,6 - 6 \text{ ng}\cdot\text{kg}^{-1}$ Cadmium.

5.1.1.4. Der Einfluß der Nährstoffe auf die Cadmiumverteilung in der Arktis

Da Cadmium an den biologischen Kreisläufen teilnimmt und während der Primärproduktion passiv oder aktiv in die Phytoplanktonzellen eingebaut wird, soll im folgenden die Cadmiumverteilung im Zusammenhang mit der Nährstoffsituation und der Primärproduktion betrachtet werden, um zu zeigen, wieviel gelöstes Cadmium während der Phytoplanktonblüte eliminiert wird.

Es wurden Korrelationsrechnungen mit den Datensätzen aus dem Oberflächenbereich der Framstraße und der Grönlandsee zwischen gelöstem Cadmium

und den gelösten Nährstoffen Phosphat, Nitrat, Silikat sowie Chlorophyll a als Parameter der Primärproduktion durchgeführt. In Abb.: 39 und Abb.: 40 sind die Ergebnisse der Jahrgänge 1989 und 1990 im Vergleich graphisch dargestellt, aus der Regressionsgleichung lassen sich die Steigungen und die Achsenabschnitte ablesen, weiterhin wurde der Korrelationskoeffizient sowie die 5 % ($p < 0,05$) bzw. 1 % ($p < 0,01$) Signifikanzschwelle angegeben.

Auf dem **Framstraßenschnitt** stellen sich im Vergleich der Jahre 1989 und 1990 völlig unterschiedliche Situationen dar.

Während 1989 eine eindeutige Korrelation zwischen gelöstem Cadmium und gelöstem Phosphat errechnet wurde, $r = 0,936$, signifikant auf dem 99% Niveau und einem $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ Verhältnis von $1,81 \times 10^{-4}$, besteht für die Situation im Jahre 1990 keine signifikante Korrelation.

Für das Verhältnis zwischen $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{NO}_3$ ($0,284 \times 10^{-4}$) ergibt sich 1989 ein Korrelationsfaktor von $r = 0,7$, signifikant auf dem 99 % Niveau.

1990 besteht keine Korrelation zwischen den Cadmium- und Nitratwerten. Deutlich erkennbar ist die Auszehrung des polaren Wassers, mit Nitratkonzentrationen, die gegen $0 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ gehen und hier den limitierenden Nährstoffparameter widerspiegeln, während sie im atlantischen Teil des Schnittes höher sind.

Auffallend ist weiterhin die Korrelation zwischen Cadmium und Silikat 1989 mit $r = 0,913$, signifikant auf dem 99 % Niveau und einem $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{SiO}_2$ Verhältnis von $0,15 \times 10^{-4}$. 1990 besteht keine Korrelation, die Cadmium- und Silikatkonzentrationen sind vor allem im Mischwasserbereich zwischen Polar- und Arktikfront stark reduziert, erhöhte Konzentrationen sind nur im atlantischen Wasserkörper und im Bereich des Ostgrönländischen Schelfes zu finden. Die Restkonzentrationen an Cadmium bei vollständiger Zehrung des Silikats und des Nitrats sind 1989 mit $0,0366 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ und $0,0376 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ ähnlich. Die "Restkonzentration" an Cadmium wird durch den y-Achsenabschnitt beschrieben. Zwischen Cadmium und Chlorophyll a bestehen keine Korrelationen in den Jahren 1989/1990. Die negative Steigung der Geraden 1989 deutet an, daß bei einer erhöhten Primärproduktion die gelösten Cadmiumkonzentrationen abnehmen. Bei einer Chlorophyll a- Konzentration von $0 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$, würde sich rein spekulativ eine Cadmiumkonzentration von $0,133 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ ergeben, die um den Faktor 3 - 4 höher liegt als bei einer vollständigen Phosphatzehrung. Daraus folgt hypothetisch, daß ca. 78% des gelösten Cadmiums 1989 in das Phytoplankton eingebaut werden.

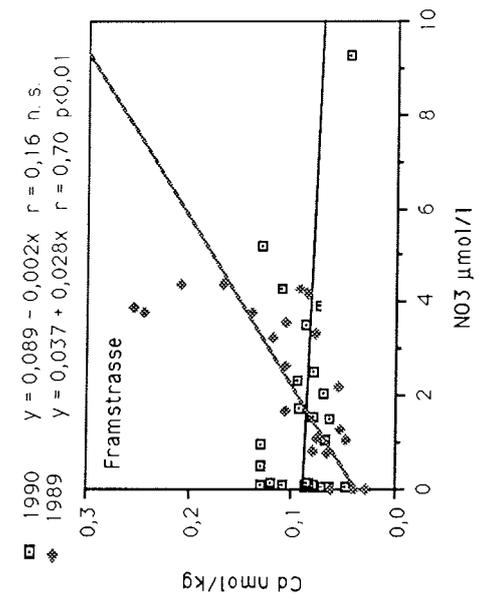
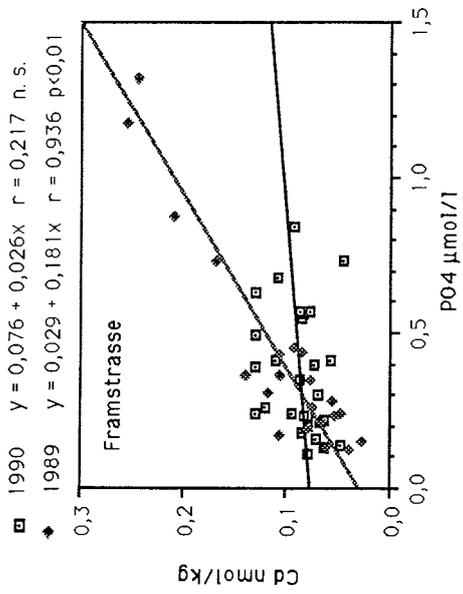
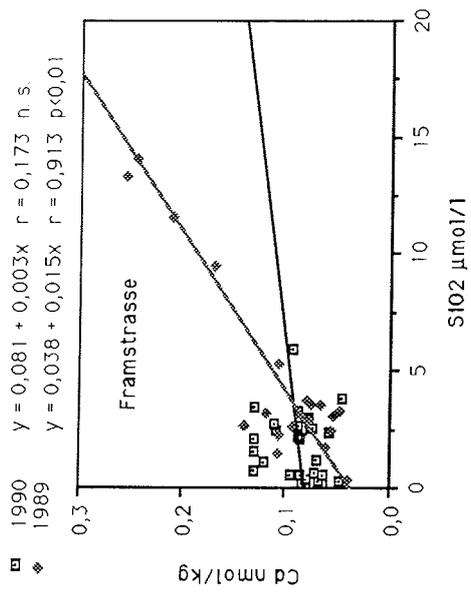
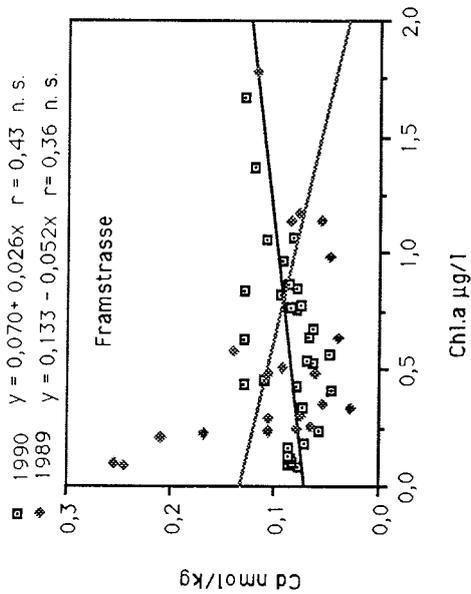


Abb.: 39 Korrelationen zwischen Cadmium, den Nährstoffen und Chlorophyll a, 1989 und 1990 auf dem Framstrassenschnitt.

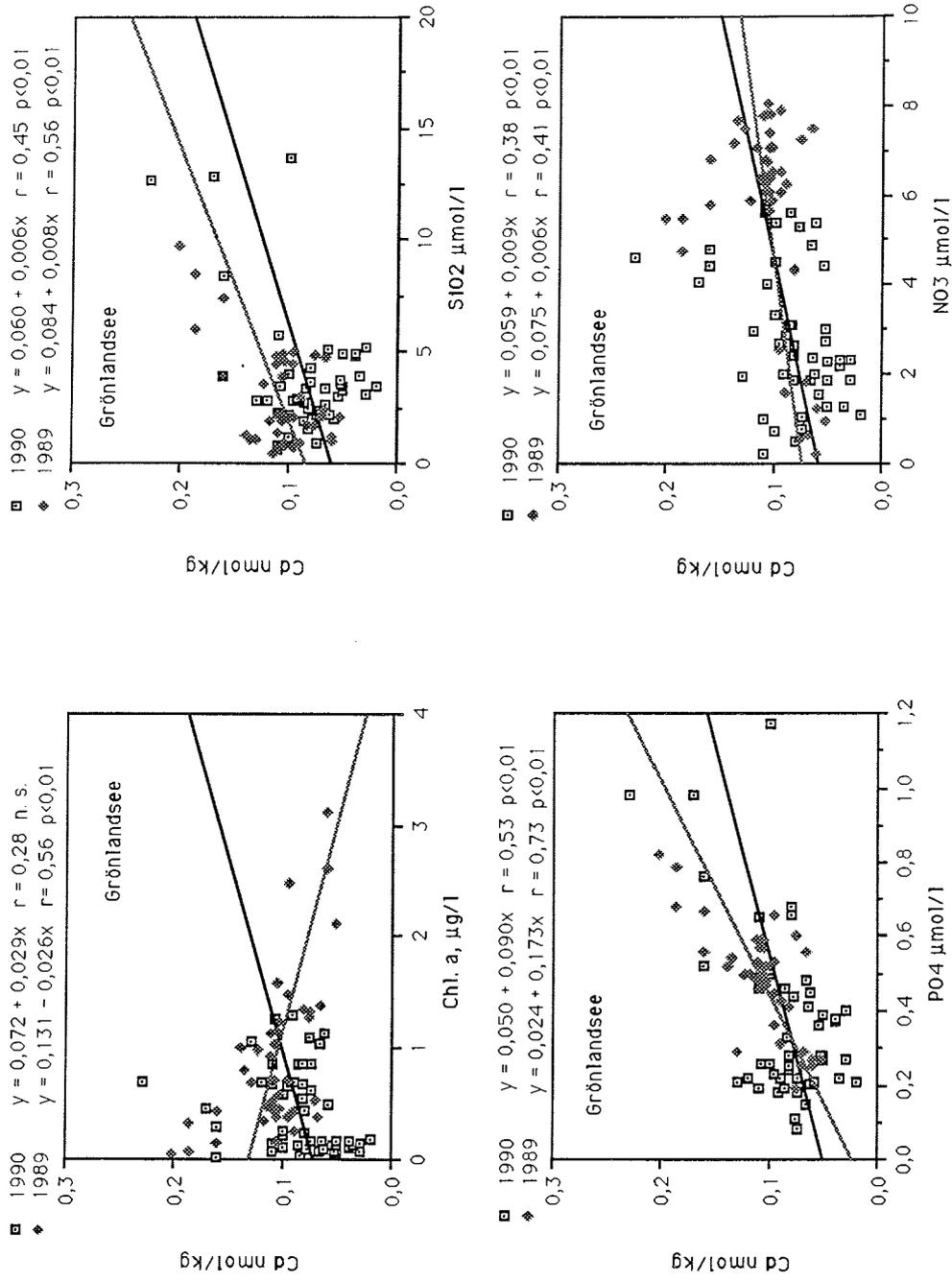


Abb.: 40 Korrelationen zwischen Cadmium, den Nährstoffen und Chlorophyll a, 1989 und 1990 auf dem Grönlandseeschnitt.

Auch auf dem südlicheren **Grönlandseeschnitt** wird die Cadmiumverteilung in den Jahren 1989 und 1990 durch die Nährstoffe beeinflusst.

1989 errechnet sich ein $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ Verhältnis von $1,73 \times 10^{-4}$ und eine Restkonzentration für Cadmium von $0,024 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ mit einer Korrelation von $r = 0,731$, signifikant auf dem 99 % Niveau. Auch 1990 besteht eine Linearität zwischen den Cadmium- und Phosphatkonzentrationen mit $r = 0,53$ ($p < 0,01$). Das $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ Verhältnis von $0,9 \times 10^{-4}$ ist gegenüber 1989 fast auf die Hälfte reduziert.

Die Regressionen zwischen Cadmium und Nitrat verhalten sich in beiden Jahren linear ($r = 0,41/1989$ und $r = 0,38/1990$) und sind signifikant auf dem 99 % Niveau. Die Graphik zeigt auffallend die maximale Verteilungsdichte der Werte zwischen $6 - 8 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Nitrat und um $1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Cadmium für 1989 sowie $1 - 3 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Nitrat und um $0,5 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Cadmium für 1990. Die Nitratzehrung ist 1990 schon weiter fortgeschritten und hat eine Reduzierung der Cadmiumkonzentrationen zur Folge.

Für $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{SiO}_2$ bestehen 1989 ($r = 0,56$) und 1990 ($r = 0,45$) ebenfalls lineare Verhältnisse (signifikant auf dem 99 % Niveau), die Häufigkeitsverteilung konzentriert sich in beiden Jahren auf den Bereich zwischen $1 - 5 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ SiO_2 und $0,02 - 0,13 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Cadmium.

Während **1989** eine signifikant reziproke lineare Beziehung zwischen Chlorophyll a und der gelösten Cadmiumkonzentration in der Grönlandsee besteht ($r = 0,56$), zeigt sich **1990** keine Linearität zwischen diesen beiden Parametern.

1989 würden bei vollständiger Phosphatzehrung ca. 82 % gelöstes Cadmium während der Primärproduktion aus dem Wasserkörper eliminiert werden.

1990 konzentrieren sich viele Wertepaare im Bereich Chlorophyll a $< 0,2 \mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ und Cadmium $0,05 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, sie spiegeln die niedrigen Konzentrationen im Bereich der Grönlandsee wider.

Diese Situation läßt zwei Schlußfolgerungen zu:

- 1.) Die Primärproduktion hat 1990 noch nicht stattgefunden, welches allerdings unwahrscheinlich ist, da die Nährstoffkonzentrationen im Vergleich zum Vorjahr bereits erheblich reduziert sind und auf eine abgeschlossene Phytoplanktonblüte hindeuten.
- 2.) Die bereits abgeschlossene Primärproduktion wurde von Sekundärproduzenten konsumiert und somit aus dem Wasserkörper eliminiert. Es ist wahrscheinlich, daß diese Folgerung zutrifft.

Auffallend ist, daß auf dem Grönlandseeschnitt in beiden Jahren (Ausnahme der Chl.a/Cd Daten 1990) lineare Korrelationen zwischen Cadmium und den Nährstoffen angetroffen wurden, bzw. reziproke lineare Beziehungen für das Verhältnis zwischen Cadmium und Chlorophyll a im Jahr 1989. Auf dem Framstraßenschnitt trifft dieses nur für die Cadmium/Nährstoffverhältnisse im Jahre 1989 zu.

Zusammenfassend lassen sich die Beziehungen zwischen Cadmium, den Nährstoffen sowie Chlorophyll a in den Bereichen Grönlandsee und Framstraße für die Jahre 1989 und 1990 in vier zeitlich aufeinanderfolgende Perioden einteilen, die fließend ineinander übergehen und die sich aus den hydrographischen Verhältnissen und dem Faktor Licht ergeben.

1.) Beginn der Primärproduktion

1989 liegt die klassische Frühjahrssituation in der **Framstraße** vor, die Primärproduktion hat begonnen, die Nährstoffe werden allmählich verbraucht, und zusammen mit ihnen wird das gelöste Cadmium im Oberflächenwasserkörper reduziert. Es wurden hochsignifikante lineare Korrelationen zwischen Cadmium und den Nährstoffen berechnet, während sich für die Beziehung zwischen Cd/Chl. a ein reziprokes Verhältnis andeutet.

2.) Fortgeschrittenes Stadium der Primärproduktion

Während sich 1989 eine reziproke Cd/Chl. a Beziehung in der Framstraße bereits abzeichnete, wird sie auf dem südlicheren **Grönlandseeschnitt 1989** eindeutig bestätigt, die Phytoplanktonblüte ist hier bereits im fortgeschrittenen Stadium. Auch ein Vergleich der Restkonzentrationen an Cadmium von $0,029 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (78,2 % Cadmiumelimination) in der Framstraße und $0,024 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (81,7 % Cadmiumelimination) in der Grönlandsee (Annahme: Phosphat = $0 \text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) läßt darauf schließen, daß in der Grönlandsee bereits mehr Cadmium durch das Phytoplanktonwachstum aus der Oberflächenschicht eliminiert wurde.

3.) Ende der Primärproduktion

1990 wird die Cadmiumverteilung in der **Framstraße** durch die Nitratlimitierung geprägt, im polaren Bereich ist die Primärproduktion abgeschlossen, die Chlorophyll a-Konzentrationen sind erhöht, und im Vergleich zum Vorjahr wurden niedrigere Cadmiumkonzentrationen gemessen.

4.) Zehrung der Primärproduktion

1990 ist die Primärproduktion im Bereich der **Grönlandsee** durch biologische Aktivitäten der Sekundärproduzenten sehr stark dezimiert, das sehr niedrige Verhältnis zwischen $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ von $0,9\times 10^{-4}$ läßt auf ein sehr hohes Phytoplanktonwachstum schließen, und daß Cadmium in geringerem Maße eingebaut wurde als im Vorjahr. Auch die erhöhten Restkonzentrationen von $0,05 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Cadmium (Annah.: Phosphat = $0 \text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) im Vergleich zum Vorjahr lassen auf einen verminderten Cadmiueminbau in das Phytoplankton schließen.

5.1.1.5. Vertikale Cadmiumverteilung in der Arktis unter Berücksichtigung der Nährstoffe

1989

Die vertikalen Cadmiumverteilungen von 1989 an den acht ausgewählten Tiefenstationen sind in Abb.: 41 dargestellt.

Die Station **15/072** liegt im Bereich der Polarfront, sie zeigt in den oberen 25 m Konzentrationen zwischen $0,075 - 0,1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ mit steigender Tendenz. Bei 50 m Tiefe wurden Konzentrationen von $0,15 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ gemessen, die bis zu einer Tiefe von 200 m konstant bleiben.

Die Station **15/139** liegt ebenfalls im Bereich der Polarfront, allerdings weiter nördlich auf dem Framstraßenschnitt. Die Cadmiumkonzentrationen in den oberen 25 m sind mit $0,05 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ vergleichbar mit der Station 15/072, die maximale Konzentration von $0,11 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ wird auch hier bei ca. 30 m erreicht, und steigt im weiteren Verlauf bis 200 m auf $0,12 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ an. Damit liegen die Cadmiumkonzentrationen in diesem Tiefenbereich um ca. $0,03 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ unter den Konzentrationen an Station 15/072.

Eine Korrelation signifikant auf dem 99 % Niveau besteht zwischen Cadmium und Phosphat sowie für Cadmium und Nitrat. Für Silikat und Chlorophyll a gibt es keine Korrelation.

Station 15/139

Cadmium/Phosphat	$y = 0,037 + 0,092x$	$r = 0,93$	$p < 0,01$
Cadmium/Nitrat	$y = 0,056 + 0,0053x$	$r = 0,90$	$p < 0,01$
Cadmium/Silikat	$y = 0,045 + 0,011x$	$r = 0,52$	n. s.
Cadmium/Chlorophyll a	$y = 0,092 - 0,045x$	$r = 0,24$	n. s.

Korrelationen mit den Daten von Station 15/072 wurden exemplarisch für den polaren Frontenbereich durchgeführt, und in Abb.: 42 dargestellt.

Die Korrelation zwischen Cadmium und den Nährstoffen ist mit $r = 0,93$ für Cadmium/Phosphat; $r = 0,95$ für Cadmium/Nitrat und $r = 0,80$ für Cadmium/Silikat signifikant auf dem 99 % Niveau. Zwischen Cadmium und Chlorophyll a besteht keine signifikante lineare Regression.

Das $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ Verhältnis ist $0,99 \times 10^{-4}$, für $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{N}$ errechnet sich ein Wert von $0,056 \times 10^{-4}$ und auch zwischen $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{SiO}_2$ besteht ein lineares Verhältnis mit einer Steigung von $0,13 \times 10^{-4}$. Bei der Annahme, daß alle gelösten Nährstoffe in der Wassersäule verbraucht sind, würde sich eine Restkonzentration an Cadmium zwischen $0,057 - 0,076 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ ergeben.

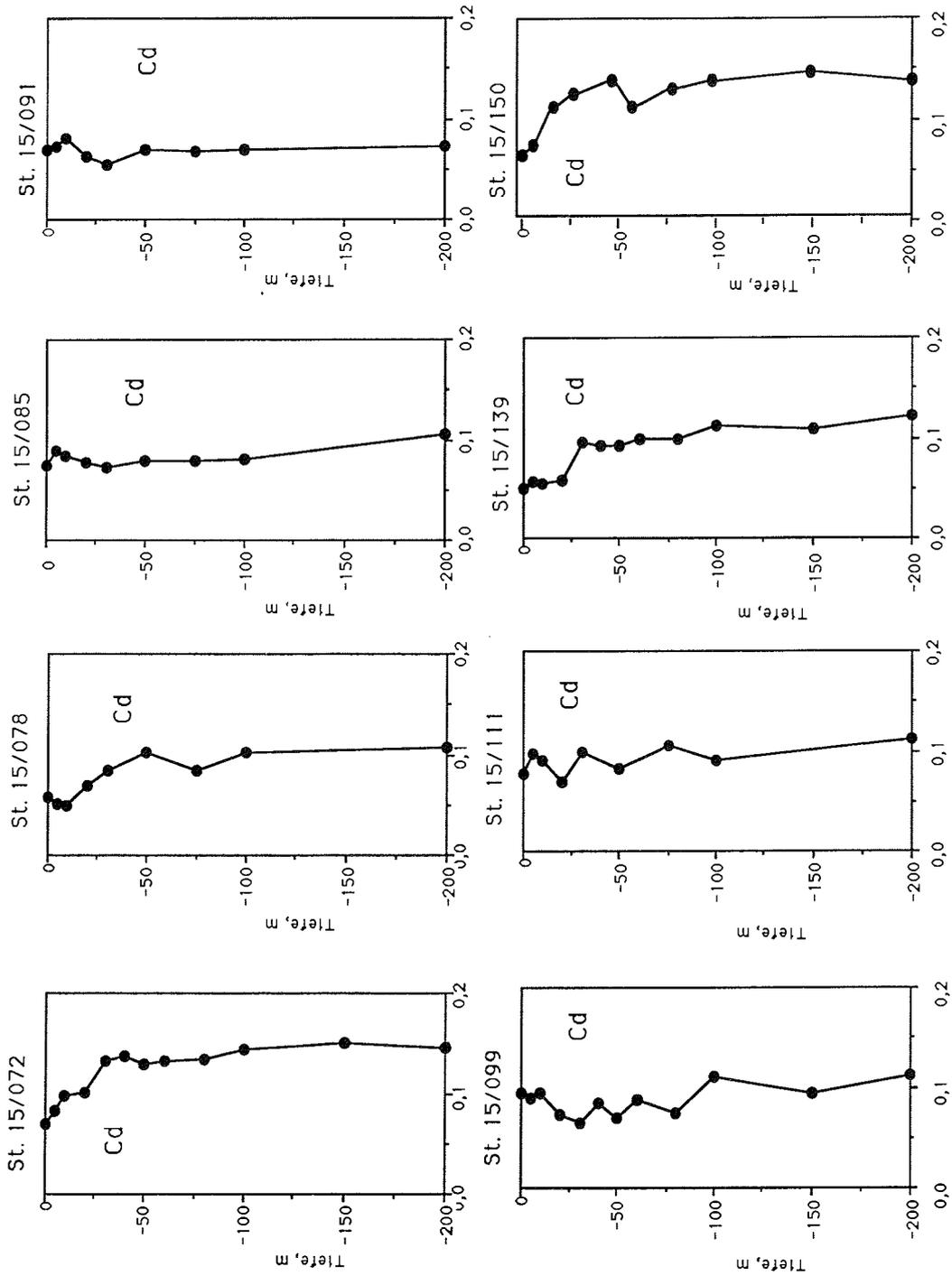


Abb.: 41 Tiefenprofile an den Stationen in der Arktis, 1989, Cadmium nmol/kg

Die Cadmium/Chlorophyll a Regression wird vor allem durch das Chlorophyll a Maximum bei 40 m bestimmt, welches mit dem Cadmiummaximum zusammenfällt, deshalb errechnet sich hier keine reziproke Beziehung. Läßt man diesen Faktor unberücksichtigt, ergibt sich ein hypothetischer Wert für eine Cadmiumelimination aus dem Wasserkörper von ca. 58 %. Sie errechnet sich aus der Differenz der Restkonzentrationen an Cadmium mit der Annahme Chlorophyll a = 0; Restkonzentration an Cadmium = 0,16 nmol·kg⁻¹, Phosphat = 0; Restkonzentration Cadmium = 0,057 nmol·kg⁻¹

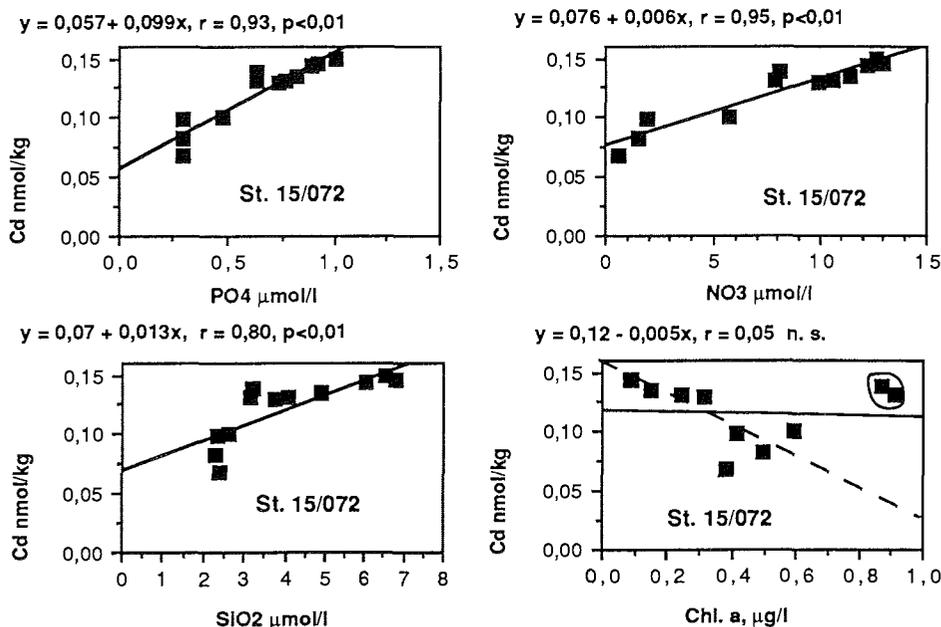


Abb.: 42 Korrelation zwischen Cadmium, den Nährstoffen und Chlorophyll a an der Station 15/072.

Die Station 15/078, 15/085, 15/091 und 15/099 liegen im Bereich des Grönlandseewirbels (Abb.: 41).

Als Beispiel für diese Wassermasse soll Die Station 15/078 einer genaueren Betrachtung unterzogen werden. Die Konzentrationen an dieser Station liegen bei 0,05 nmol·kg⁻¹ Cadmium in den oberen 10 m, bis 50 m steigen sie auf das doppelte (0,1 nmol·kg⁻¹) an und ändern sich im weiteren Verlauf bis 200 m kaum.

Die Korrelationen zwischen Cadmium und Phosphat sind mit $r = 0,94$, Cadmium/Nitrat ($r = 0,94$), Cadmium/Silikat ($r = 0,85$) signifikant auf dem 99 % Niveau. Das $\Delta Cd : \Delta P$ Verhältnis beträgt $0,87 \times 10^{-4}$, $\Delta Cd : \Delta N = 0,044 \times 10^{-4}$, und $\Delta Cd : \Delta SiO_2 = 0,065 \times 10^{-4}$. Bei völliger Nährstoffzehrung würde sich eine

Restkonzentration für Cadmium zwischen $0,03 - 0,059 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ ergeben (Abb.: 43).

An dieser Station besteht auch eine signifikant negative Korrelation zwischen Cadmium und Chlorophyll a mit $r = 0,94$ und einer Steigung von $m = -0,015$. Unter der Annahme, daß kein Phytoplankton in der Wassersäule enthalten wäre, würde sich eine Cadmiumkonzentration von $0,1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ einstellen. Vergleicht man diesen Wert mit der Situation einer vollständigen Nährstoffzehrung, so kann man sagen, daß an dieser Station durchschnittlich 55 % des gelösten Cadmiums in das Phytoplankton eingebaut werden.

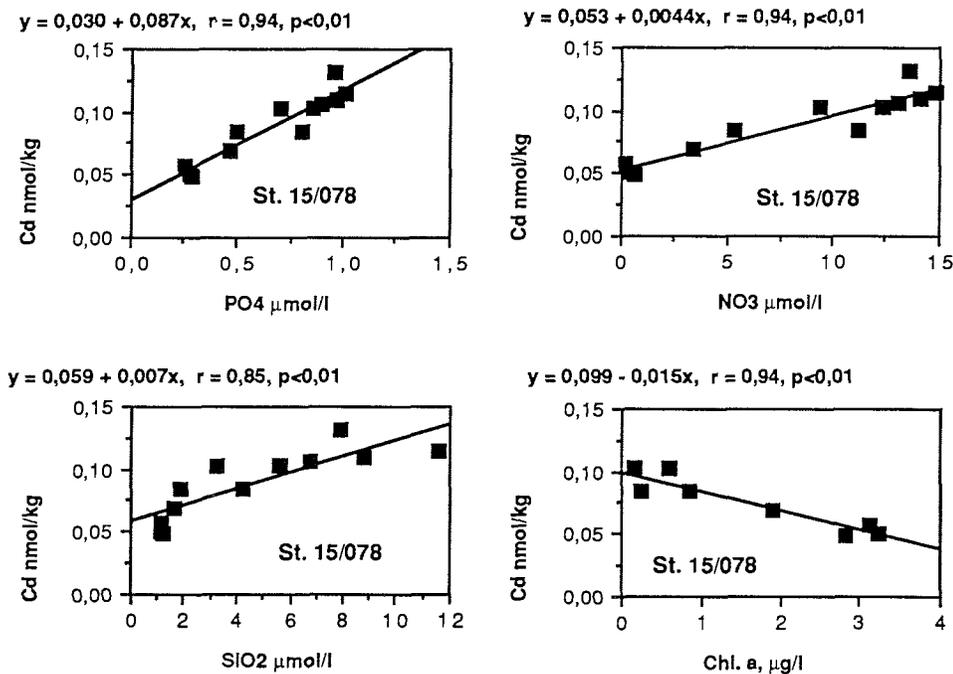


Abb.: 43 Korrelation zwischen Cadmium, den Nährstoffen und Chlorophyll a an der Station 15/078.

In den oberen 50 m der Stationen **15/085** ($0,09 - 0,1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) und **15/091** ($0,075 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) weichen die Cadmiumkonzentrationen nur geringfügig von den Konzentrationen in 200 m Tiefe ab. An Station **15/099** sind in den oberen 100 m Fluktuationen um einen Mittelwert von $0,1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Cadmium zu beobachten, im weiteren Verlauf bis 200 m Tiefe ist nur ein geringfügiger Anstieg auf $0,11 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ zu verzeichnen.

Für diese Stationen sollen im folgenden nur die Regressionsgleichungen mit den Korrelationsfaktoren angegeben werden.

Station 15/085

Cadmium/Phosphat	$y = 0,062 + 0,035x$	$r = 0,74$	$p < 0,01$
Cadmium/Nitrat	$y = 0,065 + 0,002x$	$r = 0,71$	$p < 0,01$
Cadmium/Silikat	$y = 0,077 + 0,002x$	$r = 0,76$	$p < 0,01$
Cadmium/Chlorophyll a	$y = 0,082 + 0,0066x$	$r = 0,58$	n. s.

Station 15/091

Cadmium/Phosphat	$y = 0,041 + 0,046x$	$r = 0,69$	$p < 0,01$
Cadmium/Nitrat	$y = 0,042 + 0,0032x$	$r = 0,70$	$p < 0,01$
Cadmium/Silikat	$y = 0,061 + 0,0032x$	$r = 0,79$	$p < 0,01$
Cadmium/Chlorophyll a	$y = 0,066 + 0,0025x$	$r = 0,14$	n. s.

Station 15/099

Cadmium/Phosphat	$y = 0,050 + 0,057x$	$r = 0,62$	$p < 0,05$
Cadmium/Nitrat	$y = 0,056 + 0,0035x$	$r = 0,58$	$p < 0,05$
Cadmium/Silikat	$y = 0,069 + 0,0058x$	$r = 0,60$	$p < 0,05$
Cadmium/Chlorophyll a	$y = 0,081 + 0,0010x$	$r = 0,00$	n. s.

Auf den Stationen **15/085** und **15/091** bestehen Korrelationen zwischen Cadmium und den Nährstoffen, signifikant auf dem 99 % Niveau, für Station **15/099** sind diese auf dem 95 % Niveau signifikant. Zwischen Cadmium und Chlorophyll a konnte auf diesen Stationen keine negative Korrelation dargestellt werden.

Die Station **15/111** liegt im atlantischen Wasserkörper des Grönlandseeschnittes und Die Station **15/150** im atlantischen Einflußbereich auf dem Framstraßenschnitt.

An Station **15/111** schwanken die Cadmiumkonzentrationen in den oberen 100 m zwischen $0,07 - 0,1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$. Im Bereich 100 - 200 m ist ein leichter Anstieg auf $0,11 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ zu beobachten.

Auf der Station **15/150** dagegen ist ein Anstieg der Konzentrationen zwischen 0 - 50 m von $0,07 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ um den Faktor 2 auf $0,14 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ zu verzeichnen, nach einem Minimum ($0,11 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) bei 60 m, steigen die Werte im Bereich bis 200 m wieder auf $0,14 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ an, sie liegen damit um $0,03 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ höher als auf der Station **15/111**. An dieser Stelle soll erwähnt werden, daß anhand der hydrographischen Daten an der Station 15/150 im Bereich zwischen 100 - 200 m

ein Ast des RAC lokalisiert wurde, der hier durchaus seinen Einfluß geltend machen könnte.

Für Die Station 15/111 bestehen zwischen Cadmium und den Nährstoffdaten lineare Korrelationen signifikant auf dem 99 % Niveau. Zwischen Cadmium und Chlorophyll a ergibt sich nur eine tendenzielle negative Beziehung, die nicht signifikant ist.

Station 15/111

Cadmium/Phosphat	$y = 0,057 + 0,049x$	$r = 0,77$	$p < 0,01$
Cadmium/Nitrat	$y = 0,063 + 0,0034x$	$r = 0,78$	$p < 0,01$
Cadmium/Silikat	$y = 0,069 + 0,0045x$	$r = 0,70$	$p < 0,01$
Cadmium/Chlorophyll a	$y = 0,095 - 0,0063x$	$r = 0,31$	n. s.

Auf die Ergebnisse der Station 15/150 soll als Beispiel für den atlantischen Bereich etwas ausführlicher eingegangen werden, in Abb.: 44 sind die linearen Korrelationen graphisch dargestellt.

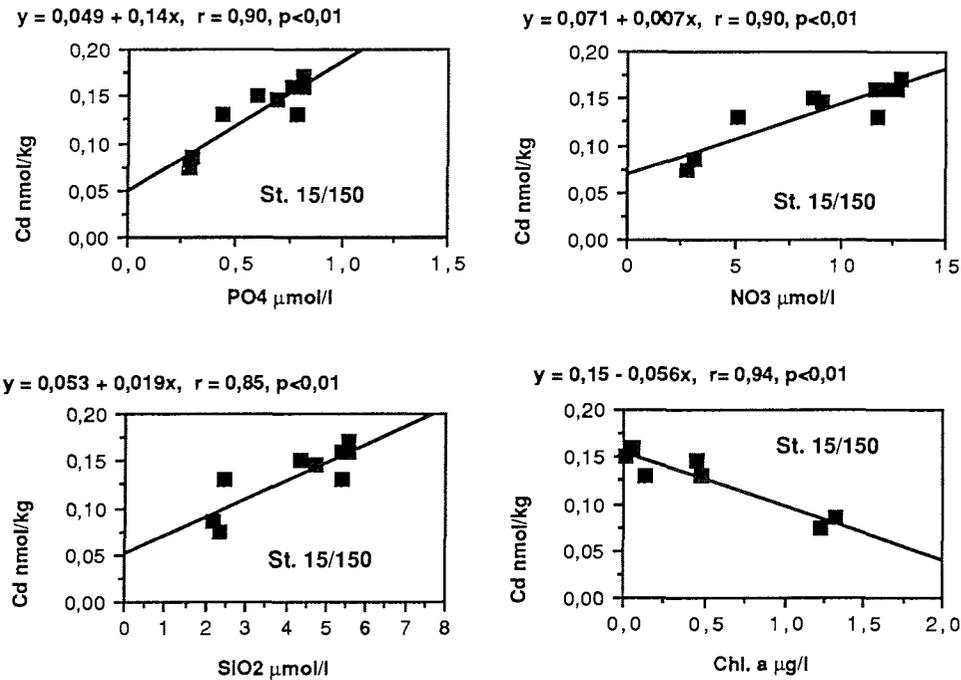


Abb.: 44 Korrelation zwischen Cadmium, den Nährstoffen und Chlorophyll a an der Station 15/150.

Zwischen $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ ergibt sich ein Verhältnis von $1,4 \times 10^{-4}$, $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{N}$ von $0,07 \times 10^{-4}$ und $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{SiO}_2$ von $0,19 \times 10^{-4}$, die Korrelationskoeffizienten sind signifikant auf dem 99 % Niveau.

Bei vollständiger Nährstoffzehrung würden sich Restkonzentrationen für Cadmium zwischen $0,05 - 0,07 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ ergeben.

Auch das Verhältnis Cadmium/Chlorophyll a ist mit $r = 0,94$ signifikant auf dem 99 % Niveau. Bei einer theoretischen Chlorophyll a-Konzentration von $0 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ liegt die gelöste Cadmiumkonzentration bei $0,15 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$. Daraus folgt, daß während der Phytoplanktonproduktion ca. 60 % des gelösten Cadmiums eingebaut werden können.

Die vertikale Cadmiumverteilung von 1989 im Bereich der Grönlandsee und der Framstraße kann folgendermaßen zusammengefaßt werden:

Im polaren Frontenbereich berechnet sich ein Oberflächen-/Tiefenverhältnis von ca. 1:2, d. h. bei 200 m Tiefe sind die Cadmiumkonzentrationen doppelt so hoch wie im Oberflächenbereich. Im Bereich des Grönlandseewirbels liegen die Durchschnittskonzentrationen der Oberfläche bei ca. $0,1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, (Kap.: 5.1.1.2., Abb.: 37). Die Durchschnittskonzentrationen in 200 m Tiefe liegen ebenfalls bei ca. $0,1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, daraus ergibt sich ein Oberflächen- /Tiefenverhältnis von 1:1. Für den atlantischen Bereich ist ebenfalls ein Oberflächen- /Tiefenverhältnis von 1:2 berechnet worden.

Ein Vergleich der Cadmium- /Nährstoff bzw. Chlorophyll a - Beziehungen zeigt unter der Voraussetzung einer signifikanten Korrelation, daß in der Grönlandsee 55 % des Cadmiums in der vertikalen Wassersäule während der Frühjahrsblüte in das Phytoplankton eingebaut wurden, und im atlantischen Bereich 60%.

Für die Tiefenprofile des polaren Frontenbereiches besteht keine Linearität zwischen Cadmium und Chlorophyll a, deswegen kann hier nur ein hypothetischer Wert von 58 % angegeben werden.

Wird davon ausgegangen, daß erhöhte Chlorophyll a-Konzentrationen in Tiefen um 20 - 30 m durch Absink- bzw. Mischungsvorgänge erreicht werden und nicht durch maximale Produktion in diesen Tiefen, und wird weiterhin davon ausgegangen, daß durch optimale Lichtverhältnisse die Primärproduktion in der Oberfläche am höchsten ist und mit zunehmender Tiefe abnimmt, dann sind diese Werte durchaus realistisch im Vergleich zu den prozentualen Einbauraten für das Cadmium zwischen 78 - 82 %, die für den gesamten Oberflächenbereich berechnet wurden. Aus der Differenz berechnet sich weiterhin, daß bereits ca. 25 % des fixierten Cadmiums während des Absinkens in Lösung gegangen ist, und sich deshalb der prozentual fixierte Anteil in der Vertikalen verringert.

Neu sind weiterhin die signifikanten Korrelationen zwischen Cadmium und Silikat. Eine Interpretationsmöglichkeit wäre, daß Cadmium aufgrund der chemischen Verwandtschaft anstelle von Zink von den Diatomeen eingebaut wird. Hinweise aus der Literatur sind nicht vorhanden.

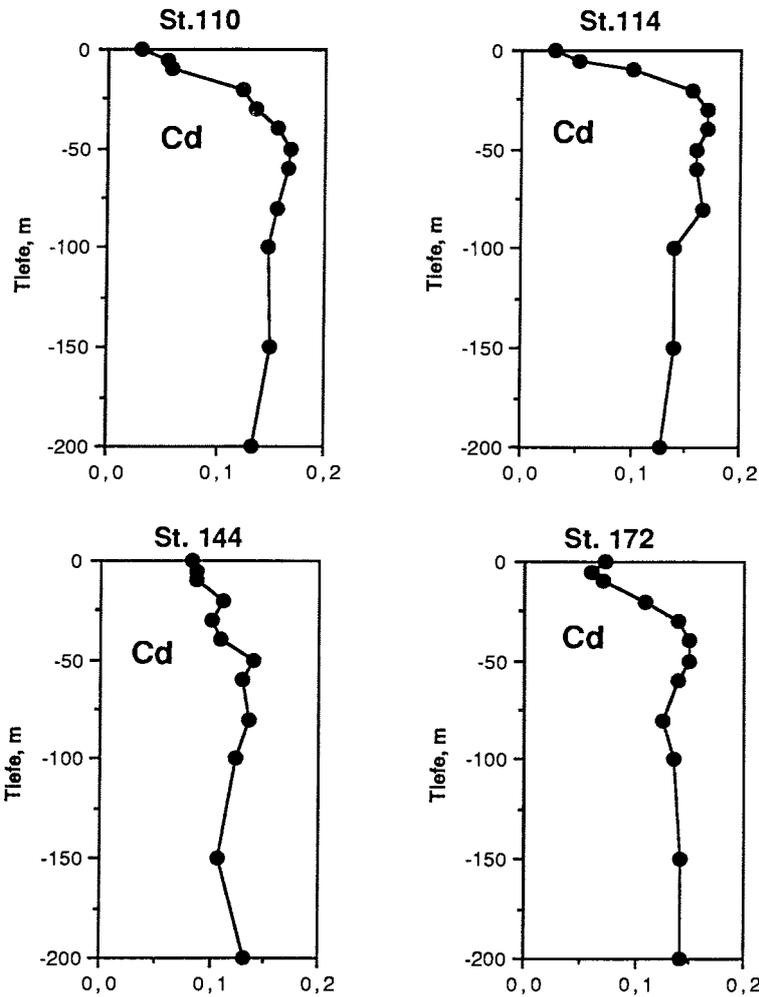


Abb.: 45 Tiefenprofile an den Stationen in der Arktis, 1990, Cd nmol·kg⁻¹

1990

1990 zeigen die **Stationen 110** und **114** (Abb.: 45) im Mischwasserbereich der Grönlandsee eine deutliche Abreicherung in der Oberfläche (0,025 nmol·kg⁻¹), maximale Konzentrationen zwischen 40 - 50 m mit bis zu 0,15 nmol·kg⁻¹ und 0,125 nmol·kg⁻¹ bei 200 m Tiefe. Das Oberflächen-/Tiefenverhältnis errechnet sich dann

mit 1:5. Im Vergleich zum Vorjahr hat hier eine deutliche Verlagerung des Cadmiums in die Tiefe stattgefunden, welches auf das fortgeschrittene Stadium der Phytoplanktonblüte zurückgeführt werden kann.

Das Phytoplankton ist durch die Sekundärkonsumenten stark dezimiert und von diesen in den Kotpillen mit ausgeschieden worden. Diese sind in tiefere Wasserschichten abgesunken, und zum Teil haben schon Abbau- und Re-suspensionsvorgänge stattgefunden, so daß 1990 die Oberflächenkonzentrationen reduziert wurden und in ca. 50 m eine Anreicherung erfolgt.

Diese Annahme wird dadurch gestützt, daß auf beiden Stationen signifikante Korrelationen (99 % Niveau) zu den schnell regenerierbaren Nährstoffen Phosphat und Nitrat bestehen, während sich für Silikat keine Korrelation ergibt. Auch zwischen Cadmium und Chlorophyll a konnte keine negative Regression gezeigt werden.

Station 110

Cadmium/Phosphat	$y = -0,028 + 0,2x$	$r = 0,94$	$p < 0,01$
Cadmium/Nitrat	$y = 0,027 + 0,010x$	$r = 0,94$	$p < 0,01$
Cadmium/Silikat	$y = -0,006 + 0,024x$	$r = 0,47$	n. s.
Cadmium/Chlorophyll a	$y = 0,132 + 0,059x$	$r = 0,18$	n. s.

Station 114

Cadmium/Phosphat	$y = 0,029 + 0,14x$	$r = 0,811$	$p < 0,01$
Cadmium/Nitrat	$y = 0,052 + 0,0077x$	$r = 0,814$	$p < 0,01$
Cadmium/Silikat	$y = -0,084 + 0,0084x$	$r = 0,559$	n. s.
Cadmium/Chlorophyll a	$y = 0,10 + 0,169x$	$r = 0,445$	n. s.

Station 144 im atlantischen Bereich 1990 zeigt Cadmiumkonzentrationen im Oberflächenbereich um $0,09 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ und $0,13 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ bei 200 m Tiefe.

Daraus errechnet sich ein Oberflächen-/Tiefenverhältnis von 1:1,4. Das ist im Vergleich zum Vorjahr etwas niedriger. Dieses kann auf vertikale Mischungsvorgänge zurückzuführen sein, die in diesem atlantischen Teil des Schnittes vor allem in den oberen 100 m anzutreffen sind (Abb.: 46).

Während der Primärproduktion werden ca. 40% des gelösten Cadmiums in die Pflanzenzelle eingebaut. Die Korrelationen zwischen Cadmium und den Nährstoffen sowie Chlorophyll a sind signifikant (99 % Niveau). Im Vergleich zum Vorjahr (60 %) ist diese Einbaurrate niedriger.

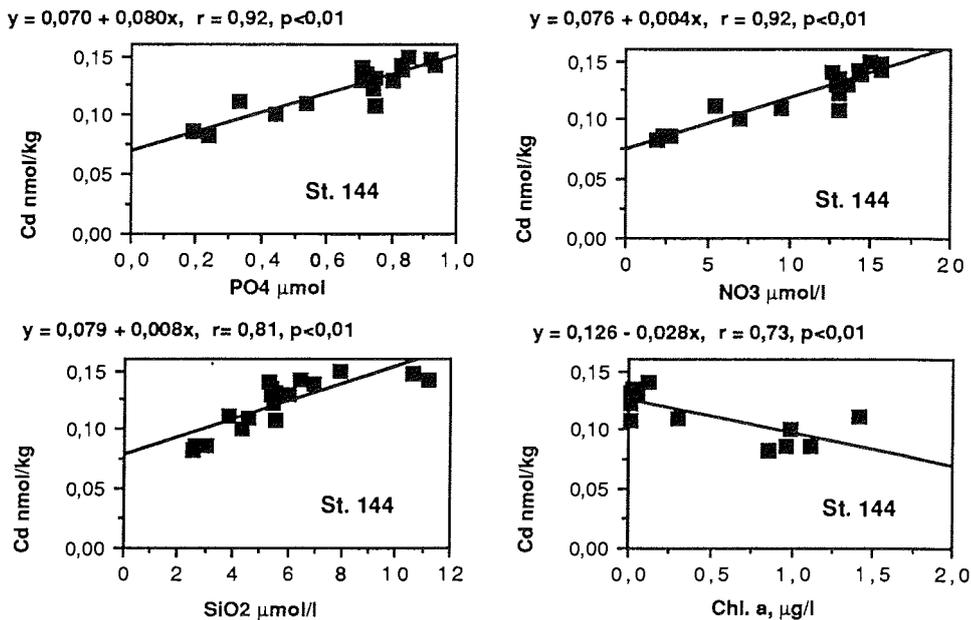


Abb.: 46 Korrelationen zwischen Cadmium, den Nährstoffen und Chlorophyll a an Station 144.

Station 172 liegt ebenfalls im Einflußbereich des Atlantiks, allerdings weiter nördlich auf dem Framstraßenschnitt. Sie ist vergleichbar mit Station **15/150** aus dem Vorjahr und zeigt einen ähnlichen Kurvenverlauf mit Cadmiumkonzentrationen im Oberflächenbereich um $0,07 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ und $0,14 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ bei 200 m Tiefe. Die Korrelationen mit Phosphat und Nitrat sind signifikant auf dem 99 % Niveau und mit Silikat auf dem 95 % Niveau. Zwischen Cadmium und Chlorophyll a besteht keine negative Regression.

Station 172

Cadmium/Phosphat	$y = 0,044 + 0,102x$	$r = 0,807$	$p < 0,01$
Cadmium/Nitrat	$y = 0,066 + 0,0056x$	$r = 0,777$	$p < 0,01$
Cadmium/Silikat	$y = 0,088 + 0,0061x$	$r = 0,589$	$p < 0,05$
Cadmium/Chlorophyll a	$y = 0,132 + 0,047x$	$r = 0,290$	n. s.

5.1.2. Cadmiumkonzentrationen in arktischen Copepoden

In Abb.: 47 sind die Cadmiumkonzentrationen in *Calanus hyperboreus* und *Calanus finmarchicus* für die Jahre 1989 und 1990 im Bereich der Framstraße und der Grönlandsee graphisch dargestellt. Hier wird deutlich, daß *C. hyperboreus* überwiegend in den westlichen polaren Regionen gefangen wurde, während sich *C. finmarchicus* auf die östlichen gemäßigten Bereiche mit atlantischem Einfluß konzentrierte. Eine Ausnahme bildet der Grönlandseeschnitt 1989, hier wurde *C. finmarchicus* bei 15°W angetroffen. Ein Bestimmungsfehler und eine Verwechslung mit *Calanus glacialis* kann nicht ausgeschlossen werden. Der Vollständigkeit halber wurden diese beiden Stationen aber mit berücksichtigt.

Im Bereich der **Framstraße** zwischen 11°W - 2°E wurden 1989 und 1990 Cadmiumkonzentrationen in *C. hyperboreus* zwischen 2 - 4 µg·g⁻¹ (0,018 - 0,036 mmol·kg⁻¹) gemessen. Etwas erhöhte Werte um 5 µg·g⁻¹ zeigen 2 Tierproben bei 6°W und 2°E für den Jahrgang 1990. Im atlantischen Bereich wird *C. hyperboreus* nur 1989 mit Konzentrationen um 4 µg·g⁻¹ angetroffen.

C. finmarchicus konzentriert sich 1989 auf den östlichen Bereich, die Cadmiumwerte zeigen eine leicht ansteigende Tendenz in Richtung Osten, von durchschnittlich 2 µg·g⁻¹ (0,018 mmol·kg⁻¹) bei 4°E auf bis zu 7 µg·g⁻¹ (0,062 mmol·kg⁻¹) bei 8°E.

1990 wurde *C. finmarchicus* nur auf insgesamt 4 Stationen im Bereich der Framstraße gefangen, die höchste Konzentration liegt hier um 17 µg·g⁻¹, eine Probenkontamination kann nicht ausgeschlossen werden. Die Konzentrationen der anderen 3 Tierproben liegen zwischen 5 - 7 µg·g⁻¹ (0,044 - 0,062 mmol·kg⁻¹).

Auf dem **Grönlandseeschnitt** wurde *Calanus hyperboreus* 1989 zwischen 13°W - 8°E gefangen. Die Cadmiumkonzentrationen der Tiere zeigen im Bereich der Polarfront ein kleines Maximum mit Durchschnittskonzentrationen um 4 µg·g⁻¹, im weiteren Verlauf Richtung Osten nehmen sie ab und erreichen bei 0° Konzentrationen um 1 µg·g⁻¹. Im atlantischen Wasserkörper steigen die Konzentrationen wieder auf Werte bis zu 5 µg·g⁻¹ an.

1990 fallen die hohen Konzentrationen (8 - 11 µg·g⁻¹), (0,070 - 0,098 mmol·kg⁻¹) auf dem Ostgrönlandshelf im Bereich zwischen 12° - 17°W auf. Im Grönlandseewirbel liegen sie mit Durchschnittskonzentrationen um 2 µg·g⁻¹ (0,018 mmol·kg⁻¹) Cadmium nur gering über den Werten des Vorjahres.

Die östlichste Probe von *C. hyperboreus* wurde 1990 bei 5°E im Bereich der Arktikfront gefangen, sie zeigt eine erhöhte Konzentration von 6 µg·g⁻¹.

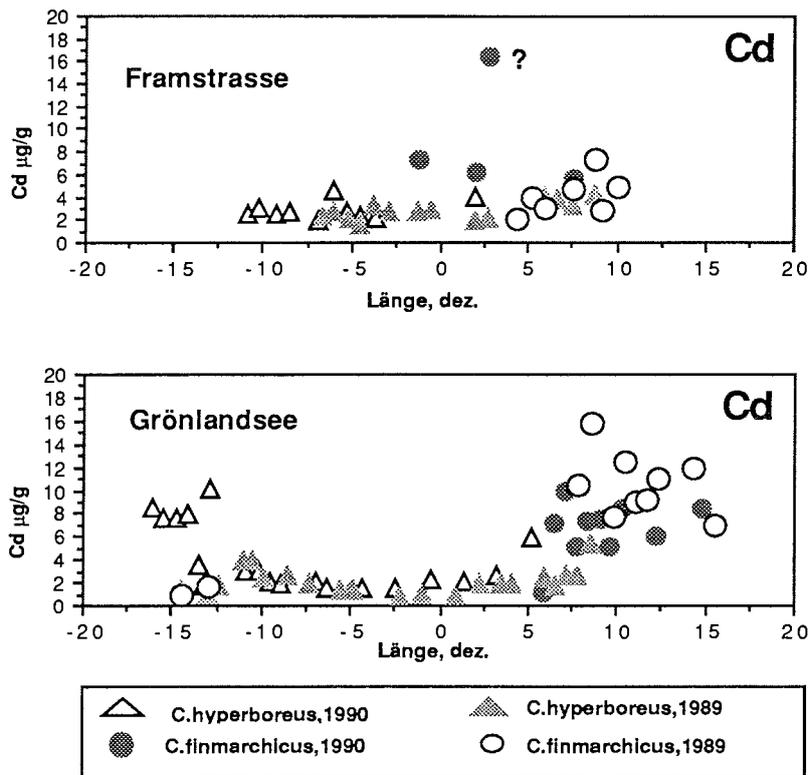


Abb.: 47 Cadmiumkonzentrationen in Copepoden, $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ Trockengewicht

C. finmarchicus konzentriert sich 1989 und 1990 im Bereich östlich der Arktikfront. 1989 liegen die Werte zwischen 7 - 16 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (0,062 - 0,140 $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) und 1990 zwischen 5 - 10 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (0,044 - 0,088 $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) Cadmium, sie sind damit höher als bei *C. hyperboreus* und zeigen keine Tendenzen an.

5.1.2.1. Zusammenhänge zwischen gelöstem Cadmium und den Cadmiumkonzentrationen in arktischen Copepoden.

Da sich die Copepoden in den Sommermonaten in den oberen 80 m der Wassersäule zur Nahrungsaufnahme aufhalten, wurden die Cadmiumkonzentrationen aus der Oberfläche von Framstraßen- und Grönlandseeschnitt mit den Cadmiumgehalten der Tiere, die sich auf das Trockengewicht beziehen, korreliert (Abb.: 48).

Der Anreicherungsfaktor wird hier definiert als Quotient:

$$\frac{\bar{c} \text{ Cadmiumkonzentrationen der Tiere in } 10^{-3} \text{ mol/kg}}{\bar{c} \text{ Cadmiumkonzentrationen im Wasser in } 10^{-9} \text{ mol/kg}}$$

Calanus finmarchicus

1989 besteht eine lineare Beziehung zwischen den Cadmiumkonzentrationen im Wasser und in *C. finmarchicus*, $r = 0,73$ ($p < 0,05$) in der Framstraße (Abb.: 48). Unter Berücksichtigung der verschiedenen Konzentrationsangaben wurde ein Anreicherungsfaktor von $3,7 \times 10^5$ berechnet. 1990 wurde bei *C. finmarchicus* ein Anreicherungsfaktor von $7,1 \times 10^5$ berechnet, er liegt damit fast doppelt so hoch wie im Vorjahr.

Da 1990 die Primärproduktion in der Framstraße bereits abgeschlossen war, ist zu vermuten, daß durch das reichliche Nahrungsangebot mehr Cadmium akkumuliert wurde.

In der Grönlandsee 1989 sind die Cadmiumkonzentrationen zwischen Wasser und *C. finmarchicus* negativ korreliert, $r = 0,75$ ($p < 0,01$), der Anreicherungsfaktor errechnet sich mit $8,2 \times 10^5$. 1990 deutet sich eine positive Korrelation an, die nicht signifikant ist, der durchschnittliche Anreicherungsfaktor ist 7×10^5 , ist damit etwas niedriger als im Vorjahr, aber vergleichbar mit dem Wert, der 1990 für den Bereich der Framstraße berechnet wurde.

Calanus hyperboreus

Für die Beziehung zwischen den Cadmiumkonzentrationen im Wasser und in *C. hyperboreus* zeichnet sich 1989 in der Framstraße eine negative Tendenz ab. Eine lineare Regression besteht nicht, der durchschnittliche Anreicherungsfaktor gegenüber Wasser berechnet sich mit $3,6 \times 10^5$. 1990 zeichnet sich ebenfalls eine nicht signifikante negative Beziehung ab, der Anreicherungsfaktor beträgt 3×10^5 und ist etwas niedriger als im Vorjahr.

Im Vergleich zu *C. finmarchicus* ergeben sich auch für *C. hyperboreus* ähnliche Verhältnisse in der Grönlandsee. 1989 besteht eine negative Korrelation mit $r = 0,48$ ($p < 0,05$) und 1990 eine positive Korrelation mit $r = 0,63$ ($p < 0,01$). 1989 wurde ein Anreicherungsfaktor von 2×10^5 und 1990 von $6,7 \times 10^5$ berechnet. Der erhöhte Anreicherungsfaktor im Jahre 1990 könnte ebenfalls auf die durch Wegfraß stark reduzierte Phytoplanktonblüte zurückzuführen sein, denn 1990 wurden sehr niedrige Chlorophyll a-Konzentrationen in der Grönlandsee registriert.

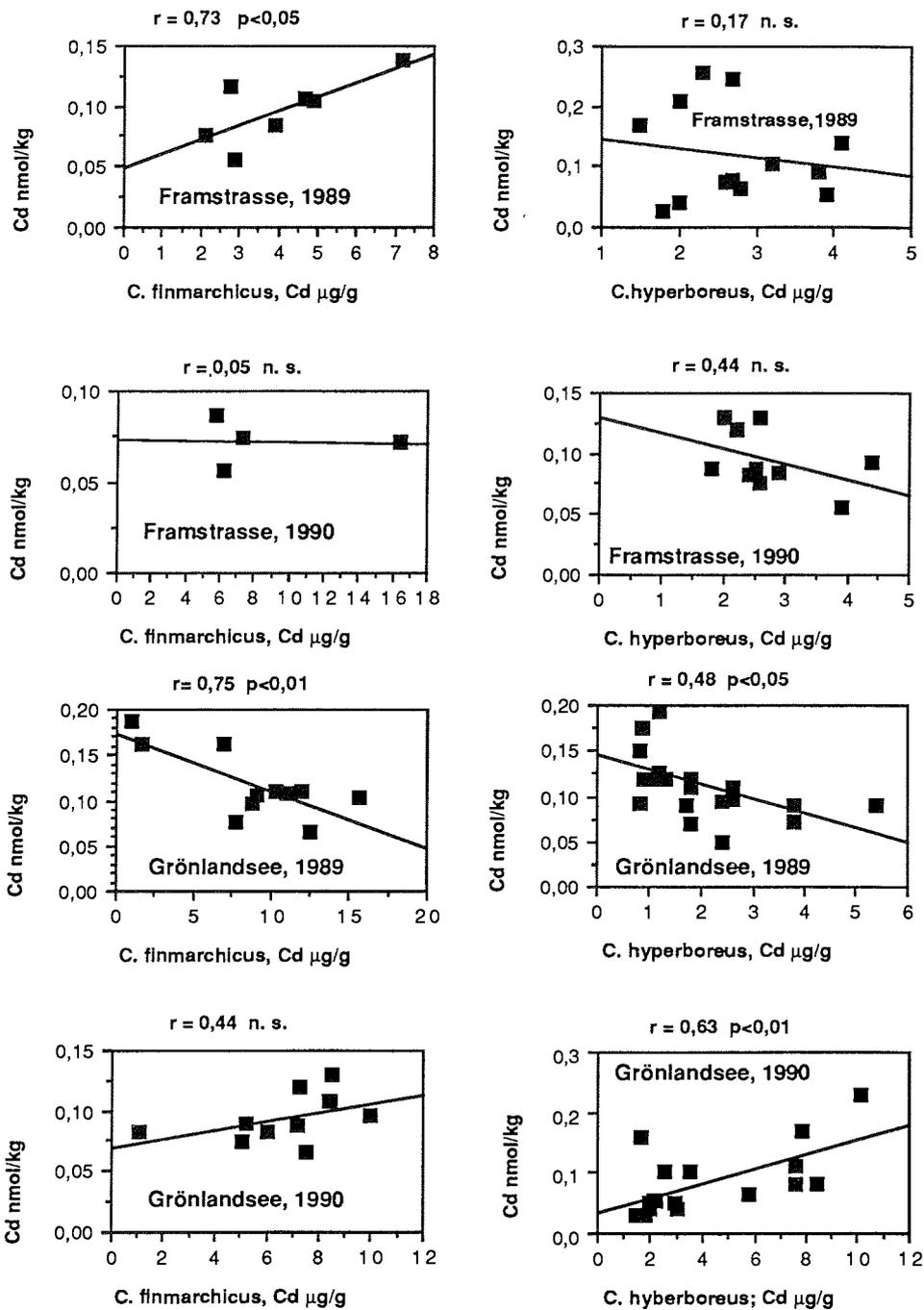


Abb.: 48 Korrelationen zwischen den Cadmiumkonzentrationen in Copepoden und Wasser in der Framstraße und der Grönlandsee.

5.1.2.2. Beziehungen zwischen den Cadmiumkonzentrationen in arktischen Copepoden und Chlorophyll a im Wasser

Im folgenden sollen die Cadmiumkonzentrationen in den Tieren im Zusammenhang mit der Primärproduktion und der Cadmiumeliminierung aus dem Wasser interpretiert werden. Es wäre nicht ganz richtig, wenn von erhöhten Cadmiumkonzentrationen in Tieren gleichzeitig Rückschlüsse auf erhöhte Cadmiumkonzentrationen im Wasser gezogen würden. Das System ist etwas komplizierter. Deshalb wird davon ausgegangen, daß gelöstes Cadmium während der Primärproduktion in das Phytoplankton eingebaut wird, also aus dem Wasser eliminiert wird, und Cadmium von den Copepoden primär über die Nahrung aufgenommen wird.

Die Reihenfolge ist analog zu den vier zeitlich aufeinanderfolgenden Abschnitten, die die Nährstoff- und Chlorophyll a-Verteilung im Zusammenhang mit der gelösten Cadmiumverteilung im Wasser beschreiben (vgl. Kap.: 5.1.1.4.).

Daraus ergeben sich 4 hypothetische Phasen, die in ihrer Gesamtheit einen Kreislauf darstellen und am Beispiel *Calanus finmarchicus* demonstriert werden sollen (Abb.: 49).

Dieser Kreislauf soll in erster Linie den Versuch aufzeigen, die biologischen Umsetzungen des Cadmiums zu schematisieren.

1. Phase

Die Chlorophyll a-Konzentrationen im Wasser sind erhöht, und die Cadmiumkonzentrationen in den Tieren sind niedrig. Die Korrelation wäre negativ. Folgerung: eine Cadmiumakkumulation in den Tieren hat noch nicht stattgefunden, aber das Cadmium wurde bereits durch das Phytoplankton aus dem Wasserkörper eliminiert.

1989 (Framstraße) ist der Anreicherungsfaktor von Cd - *C. finmarchicus* / Cd - Wasser erniedrigt ($3,7 \times 10^5$), eine negative Korrelation zwischen den Cadmiumkonzentrationen in *C. finmarchicus* und Chlorophyll a ist mit $r = 0,70$ signifikant auf dem 95 % Niveau.

2. Phase

Die Chlorophyll a-Konzentrationen im Wasser ist erhöht, ebenfalls die erhöhte Cadmiumkonzentrationen in den Tieren. Diese Wertepaare wären positiv korreliert, eine Cadmiumakkumulation in den Tieren ist erfolgt.

1989 (Grönlandsee) ist der Anreicherungsfaktor von Cd - *C. finmarchicus* / Cd - Wasser erhöht ($8,2 \times 10^5$), eine positive Korrelation zwischen den Cadmium-

konzentrationen in *C. finmarchicus* und Chlorophyll a ist mit $r = 0,85$ signifikant auf dem 99 % Niveau.

3. Phase

Die Primärproduktion ist durch die Nitratlimitierung abgeschlossen, Phytoplankton wird konsumiert, die Chlorophyll a-Konzentrationen sind niedrig und in den Tieren sind die Cadmiumkonzentrationen erhöht (Akkumulation). Die Daten würden negativ korrelieren.

1990 (Framstraße) ist der Anreicherungsfaktor von Cd - *C. finmarchicus*/Cd-Wasser erhöht ($7,1 \times 10^5$), eine negative Korrelation zwischen den Cadmiumkonzentrationen in *C. finmarchicus* und Chlorophyll a deutet sich an, ist mit $r = 0,45$ allerdings nicht signifikant.

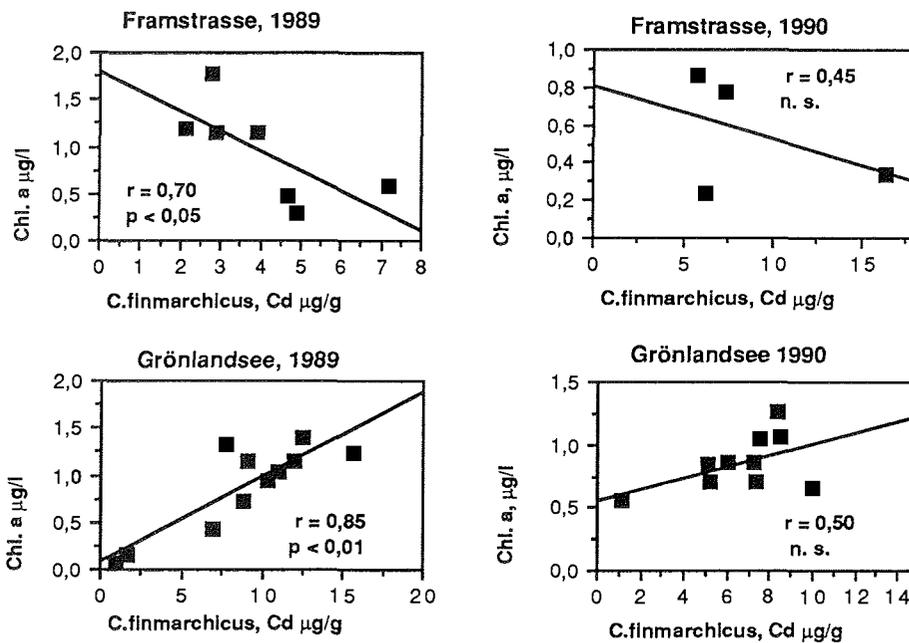


Abb.: 49 Korrelation zwischen Chlorophyll a im Wasser und den Cadmiumkonzentrationen in *Calanus finmarchicus*.

4. Phase

Das Phytoplankton ist reduziert, die Chlorophyll a-Konzentrationen sind niedrig und in den Tieren sind die Cadmiumkonzentrationen ebenfalls erniedrigt. Die Folgerung wäre, daß ein Teil des akkumulierten Cadmiums wieder ausgeschieden wurde und in die gelöste Form remobilisiert wird. Hier würde sich eine positive

Korrelation zwischen den Cadmiumkonzentrationen in den Tieren und Chlorophyll a abzeichnen.

1990 (**Grönlandsee**) ist der Anreicherungsfaktor von Cd - *C. finmarchicus*/Cd - Wasser (7×10^5) niedriger als im Vorjahr, eine positive Korrelation zwischen den Cadmiumkonzentrationen in *C. finmarchicus* und Chlorophyll a deutet sich an, sie ist mit $r = 0,50$ nicht signifikant.

Dieses Schema läßt sich auf *Calanus hyperboreus* mit Ausnahme der Phase 4 nicht übertragen. Hier wurde ein Anreicherungsfaktor von $6,7 \times 10^5$ berechnet und eine positive Korrelation zwischen den Cadmiumkonzentrationen in *C. hyperboreus* und Chlorophyll a ($r = 0,77$) ist auf dem 99 % Niveau signifikant.

5.1.2.3. Vergleich zwischen der theoretischen Cadmiumaufnahme und der Cadmiumkonzentration in Copepoden

Im folgenden soll die theoretische Cadmiummenge berechnet werden, die mit dem Phytoplankton von den Copepoden konsumiert werden kann. Dieser Wert wird mit den gemessenen Cadmiumkonzentrationen in Copepoden verglichen.

Mit Hilfe des Boxmodells nach COLLIER & EDMOND (1984) wurde der Cadmiumflux in den oberen 50 m der Grönlandsee nach der Phytoplanktonblüte berechnet.

$$P_{Cd} = V_M (C_D - C_S) + V_R C_R + A$$

P_{Cd} = Cadmiumflux von Partikeln fixiertem Cadmium aus der Oberfläche in die Tiefe

V_M = $3,5 \text{ m} \cdot \text{Jahr}^{-1} = 0,01 \text{ m} \cdot \text{Tag}^{-1}$ Wasseraustauschrate zwischen Oberfläche und Tiefe aus COLLIER & EDMOND (1984) übernommen.

C_D = $0,15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ gelöstes Cadmium im Tiefenwasser

C_S = $0,025 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ gelöstes Cadmium im Oberflächenwasser

V_R, C_R = Volumen und Cadmiumkonzentration im Flußwasser (wurde vernachlässigt)

A = Atmosphärischer Eintrag (wurde vernachlässigt)

$$P_{Cd} = 3,5 \text{ m} \cdot \text{Jahr}^{-1} (0,15 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-3} - 0,025 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-3})$$

$$P_{Cd} = 0,44 \text{ } \mu\text{mol Cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Jahr}^{-1}$$

umgerechnet auf den täglichen Cadmiumflux errechnet sich

$$P_{Cd} = 0,00126 \text{ } \mu\text{mol Cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Tag}^{-1} = 1,26 \text{ nmol Cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Tag}^{-1}$$

Für die durchschnittliche Primärproduktion in der Grönlandsee wurde ein Wert von $300 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Tag}^{-1}$ angenommen (aus BARTHEL, 1986).

Für die durchschnittliche Ingestionsrate von *Calanus hyperboreus* wurde ein Wert von $4 \text{ } \mu\text{g C} \cdot \text{Tier}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$ angenommen (aus BARTHEL, 1986).

Es wird weiterhin angenommen, daß $1,26 \text{ nmol Cd}$ von 300 mg C pro m^2 und Tag vollständig fixiert werden, dann berechnet sich die Cadmiumaufnahme von einem Tier mit

$$\begin{array}{l} 1,26 \text{ nmol Cd} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Tag}^{-1} \text{ entsprechen } 300 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Tag}^{-1} \\ X \qquad \qquad \qquad \text{entsprechen } 4 \text{ } \mu\text{g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Tag}^{-1} \end{array}$$

$$X = 0,000017 \text{ nmol Cd} \cdot \text{Tier}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}.$$

Das durchschnittliche Trockengewicht von *C. hyperboreus* beträgt $0,125 \text{ mg} \cdot \text{Tier}^{-1}$. Die Umrechnung der Cadmiumaufnahme von einem Tier auf ein Gramm Trockengewicht ergibt

$$0,136 \text{ nmol Cd} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$$

Wird weiterhin ein Phytoplanktonkonsum über 30 Tage angenommen, dann werden in einem Monat **ca. $4 \text{ nmol Cd} = 0,45 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$** von einem Gramm Copepoden (Trockengewicht) aufgenommen.

Die durchschnittlichen Cadmiumkonzentrationen in *C. hyperboreus* aus der Grönlandsee betragen **$3 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$** das entspricht **$26 \text{ nmol} \cdot \text{g}^{-1}$**

Die theoretische Cadmiumaufnahme liegt also um den Faktor 6,5 niedriger als der Meßwert. Der Frage nachzugehen, ob die Cadmiumdifferenz aus dem Wasser über die Körperoberfläche akkumuliert wird, wäre rein spekulativ.

Es muß eher davon ausgegangen werden, daß die Konsumeriode über einen längeren Zeitraum besteht, daß die Tiere durchschnittlich 2 Jahre alt sind, und daß die Kotpillen mit wesentlich höheren Cadmiumkonzentrationen ebenfalls als Futter akzeptiert werden (Kap.: 6.5.).

5.1.3. Cadmiumverteilung im Oberflächenwasser des Ostatlantiks

Die Cadmiumverteilung im Südatlantik (Abb.: 50) verhält sich in den Jahren 1989 und 1990 völlig unterschiedlich.

1989 fallen drei Maxima auf, bei 25°S erreichen die Cadmiumkonzentrationen 0,130 nmol·kg⁻¹, bei 12°S 0,168 nmol·kg⁻¹ und bei 2°S 0,138 nmol·kg⁻¹. Dazwischen sind die Konzentrationen mit durchschnittlich 0,07 nmol·kg⁻¹ um die Hälfte niedriger.

Am Äquator nehmen die Konzentrationen drastisch auf Werte unter 0,02 nmol·kg⁻¹ Cadmium ab und auch im weiteren Verlauf bis 35°N ändern sich diese Konzentrationen kaum. Zwischen 35° - 47°N, in den gemäßigten Breiten, steigen die Konzentrationen allmählich auf Werte bis 0,05 nmol·kg⁻¹ an.

1990 sind die Cadmiumkonzentrationen im Südatlantik zwischen 32°S - 0° mit Werten bis 0,02 nmol·kg⁻¹ wesentlich niedriger als im Vorjahr. Erhöhte Konzentrationen von 0,045 nmol·kg⁻¹ wurden an der ersten Station bei 32°S und bei 16°S gemessen. Zwischen 0° - 35°N fällt ein Maximum bei 15°N mit 0,04 nmol·kg⁻¹ Cadmium auf und ab 35°N bis 47°N steigen die Konzentrationen vergleichbar zum Vorjahr auf Werte bis 0,05 nmol·kg⁻¹ an.

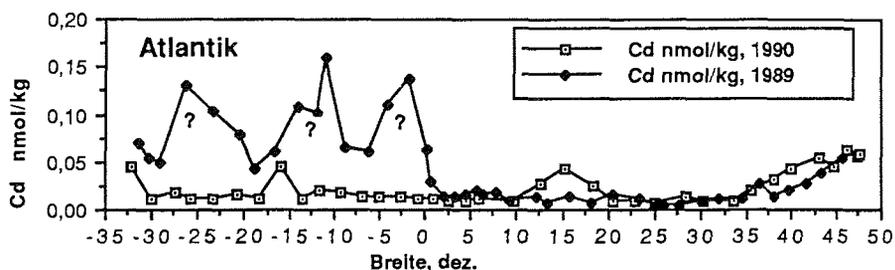


Abb.: 50 Cadmiumverteilung in der Oberfläche des Ostatlantiks, April 1989 und Mai 1990.

Zusammenfassend fällt auf, daß die Cadmiumkonzentrationen nördlich des Äquators in beiden Jahren vergleichbar und sehr niedrig sind und über dem Kontinentalschelf bei ca. 37°N ansteigen. 1990 fällt ein kleines Maximum bei 15°N mit den Nährstoff- und Chlorophyll a-Maxima zusammen. Dieses ist ein weiterer Hinweis auf die Existenz des Guineadomes, denn mit dem nährstoffreichen

Auftriebswasser gelangt auch Cadmium wieder an die Oberfläche (VOITURIEZ, 1981).

Für die drei außergewöhnlichen Maxima 1989 im Südatlantik gibt es unterschiedliche Vermutungen;

1. Eine Probennahmekontamination ist nicht wahrscheinlich, denn es gibt keine einzelnen "Außreißer", wie es bei Kontaminationen während der Probenahme üblich ist. Reagenzienkontaminationen während der Arbeiten im Labor sind ebenfalls auszuschließen, da die Proben nicht in der Reihenfolge von Süd nach Nord sondern durcheinander aufgearbeitet wurden. Ein weiteres sehr wichtiges Argument, welches gegen eine Kontamination spricht, sind die sehr niedrigen Zinkkonzentrationen von unter $0,5 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ in diesen Proben (Abb.: 93), denn Cadmium kommt in der Natur vergesellschaftet mit Zink vor.

2. Wenn eine Kontamination ausgeschlossen wird, liegt die Vermutung nahe, daß zu dieser Jahreszeit eine extrem ausgeprägte Auftriebssituation vor der Süd-West afrikanischen Küste bestand, und ein Teil des Auftriebswassers mit dem Benguelastrom transportiert wurde. Das Maximum bei 13°S könnte auf die Existenz des Angoladomes zurückgeführt werden, der bei 13°S , $3-4^{\circ}\text{E}$ sein Zentrum hat (MAZEIKA, 1967). Diese Vermutungen werden allerdings nicht eindeutig durch die Nährstoffsituation unterstützt.

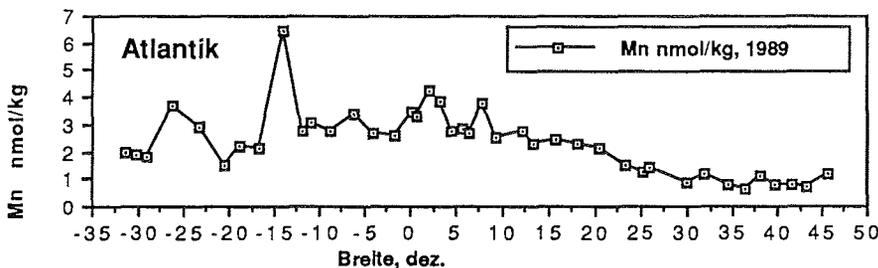


Abb.: 51 Manganverteilung im Oberflächenwasser des Ostatlantiks im April 1989

3. Eine andere Erklärung wäre ein hoher Cadmиеintrag über die Atmosphäre. Diese Annahme ist jedoch sehr spekulativ, da es in diesen Breiten kaum Niederschläge gibt.

Dennoch soll im folgenden im Zusammenhang mit Mangan, das 1989 im Oberflächenwasser gemessen wurde, darauf eingegangen werden (Abb.: 51). Mangan ist u. a. ein Indikator für terrigene atmosphärische Einträge aus den Wüstengebieten Afrikas durch die Passatwinde (KREMLING 1985). Auffällig sind

die hohen Konzentrationen bei 27°S (4 nmol·kg⁻¹), 14°S (6,5 nmol·kg⁻¹) und zwischen 0° - 10°N (4 nmol·kg⁻¹). Richtung Norden nehmen die Mangankonzentrationen stetig ab.

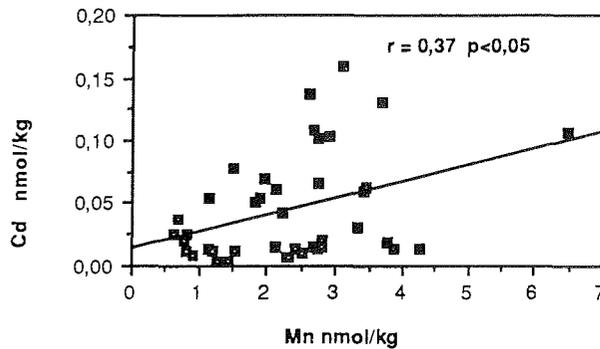


Abb.: 52 Korrelation zwischen den Cadmium- und Mangankonzentrationen im Oberflächenwasser des Atlantiks, 1989.

Die Korrelation zwischen Cadmium und Mangan ist mit $r = 0,37$, signifikant auf dem 95% Niveau, relativ schwach. Terrigene atmosphärische Einträge sind damit wahrscheinlich auszuschließen. Demnach blieben noch spekulativ anthropogene Quellen, die diese Anreicherung in der Oberfläche erzielen (Abb.: 52).

5.1.3.1 Der Einfluß der Nährstoffsituation auf die Cadmiumverteilung im Oberflächenwasser des Ostatlantiks

Um zu überprüfen, ob Abhängigkeiten zwischen den Cadmium-, Nährstoff- und Chlorophyll a- Verteilungen im Oberflächenbereich des Atlantiks bestehen, wurden Korrelationen zwischen diesen Parametern für beide Jahrgänge durchgeführt (Abb.: 53.).

1989 ist die Beziehung zwischen Cadmium und Phosphat linear und mit $r = 0,34$ signifikant auf dem 95% Niveau. Das $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ Verhältnis wurde mit $1,9 \times 10^{-4}$ berechnet, 1990 bestehen keine linearen Verhältnisse.

Die Korrelationen zwischen Cadmium und Nitrat sind 1989 und 1990 nicht linear. Die Graphik zeigt deutlich die maximale Verteilungsdichte der Nitratkonzentrationen bei $< 0,4 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$, woraus sich schließen läßt, daß Nitrat der limitierende Nährstoffparameter ist.

Zwischen Cadmium und Silikat bestehen in beiden Jahrgängen keine linearen Zusammenhänge, und auch für die Verhältnisse zwischen Cadmium und Chlorophyll a ergaben die Berechnungen keine negativen Korrelationen.

Zusammenfassend läßt sich die Situation folgendermaßen interpretieren:

Da das Nitrat im ozeanischen Bereich des tropischen und subtropischen Atlantiks das ganze Jahr über der limitierende Nährstoffparameter ist, ist die Primärproduktion eingeschränkt. Während in der Arktis Nährstoffzehrung, Primärproduktion, Phytoplanktonkonsum und Cadmiumelimination in der Oberfläche einmal im Jahr in einem Zeitraum von einigen Wochen stattfinden und die Situation in vier aufeinanderfolgende Phasen eingeteilt und interpretiert werden konnte, finden diese Abläufe im Oberflächenbereich des ozeanischen Atlantiks gleichzeitig, aber weniger intensiv und über das ganze Jahr verteilt statt. Cadmium wird nur in sehr geringem Maße, aber kontinuierlich mit dem Phytoplankton aus der Oberfläche eliminiert. Der erfaßbare Dauerzustand in der Oberfläche befindet sich ständig in der Phase einer permanenten, vollständigen Nitratlimitierung. In den gemäßigten Breiten ist die Situation dagegen jahreszeitlichen Zyklen unterlegen.

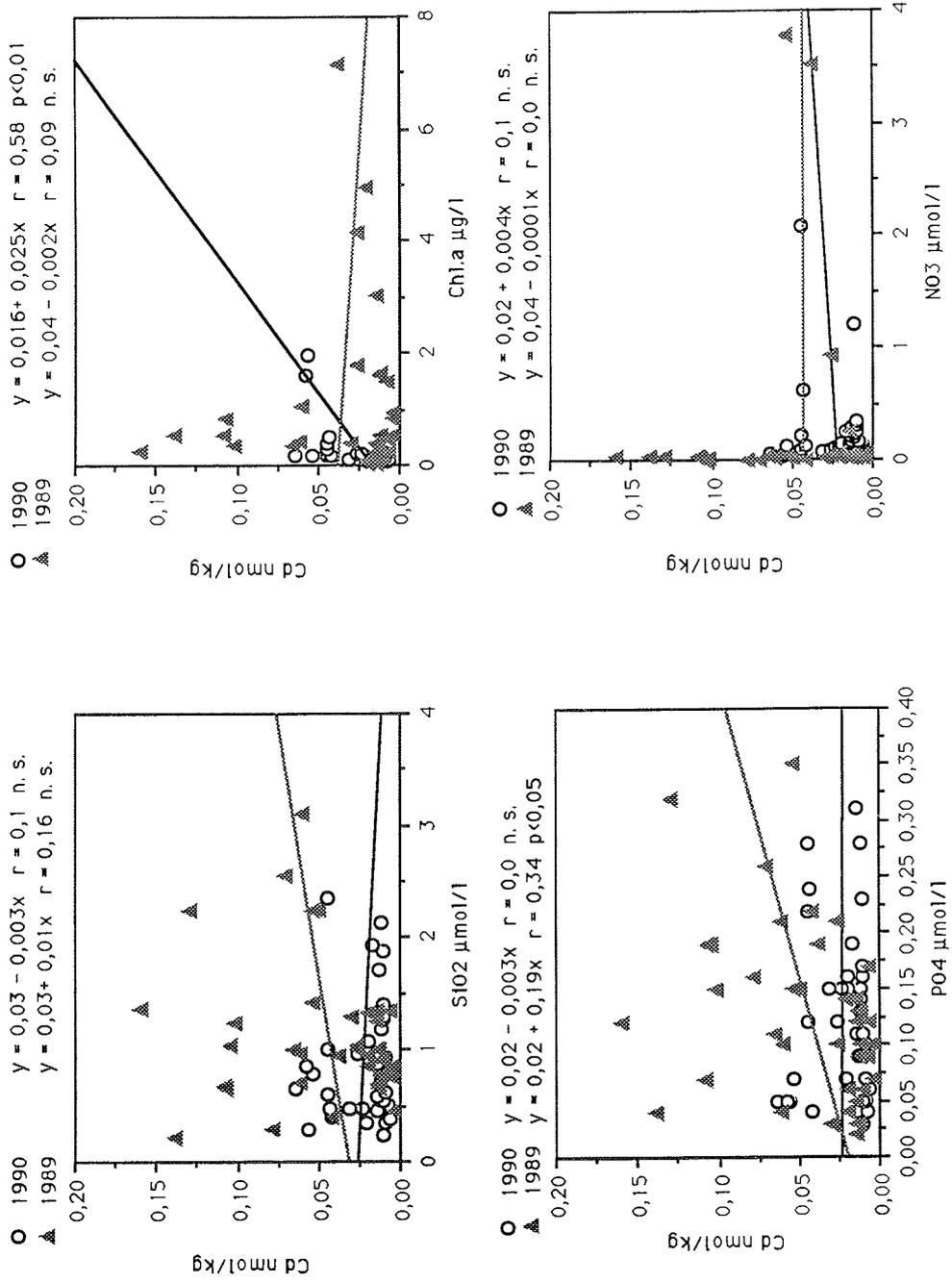


Abb.: 53 Korrelationen zwischen Cadmium, den Nährstoffen und Chlorophyll a, 1989 und 1990 auf den Atlantiksschnitten.

5.1.3.2 Vertikale Cadmiumverteilung im Ostatlantik unter der Berücksichtigung der Nährstoffparameter Nitrat und Phosphat.

Im folgenden soll auf die vertikalen Cadmiumverteilungen im Atlantik an sieben ausgewählten Tiefenstationen aus dem Jahre 1990 eingegangen werden (Abb.: 54).

Kap-Becken

Die Cadmiumkonzentrationen nehmen von der Oberfläche bis 500 m Tiefe auf $0,25 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ zu, diese Konzentration ist ca. um den Faktor 10 höher als an der Oberfläche. Erst ab 1500 m nehmen diese Konzentrationen wieder ab und erreichen bei 3000 m Tiefe Werte um $0,19 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$. Somit würde sich ein Oberflächen-/Tiefenverhältnis von 1:8 ergeben.

Die Korrelationen zwischen Cadmium, Phosphat und Nitrat sind signifikant auf dem 99% Niveau, für $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{N}$ wurde eine Steigung von $0,08 \times 10^{-4}$ und für $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ eine Steigung von $1,2 \times 10^{-4}$ berechnet (Abb.: 55).

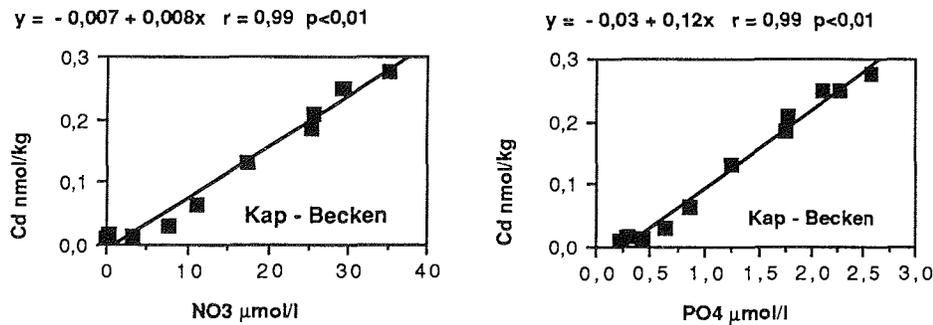


Abb.: 55 Korrelation zwischen den Cadmium-, Nitrat- und Phosphatkonzentrationen über ein Tiefenprofil im Kap-Becken.

Angola-Becken

An dieser Station wurde ein Teil der Proben filtriert, um aus der Differenz zwischen filtrierten und unfiltrierten Proben Rückschlüsse auf partikulär gebundene Cadmiumanteile zu erhalten.

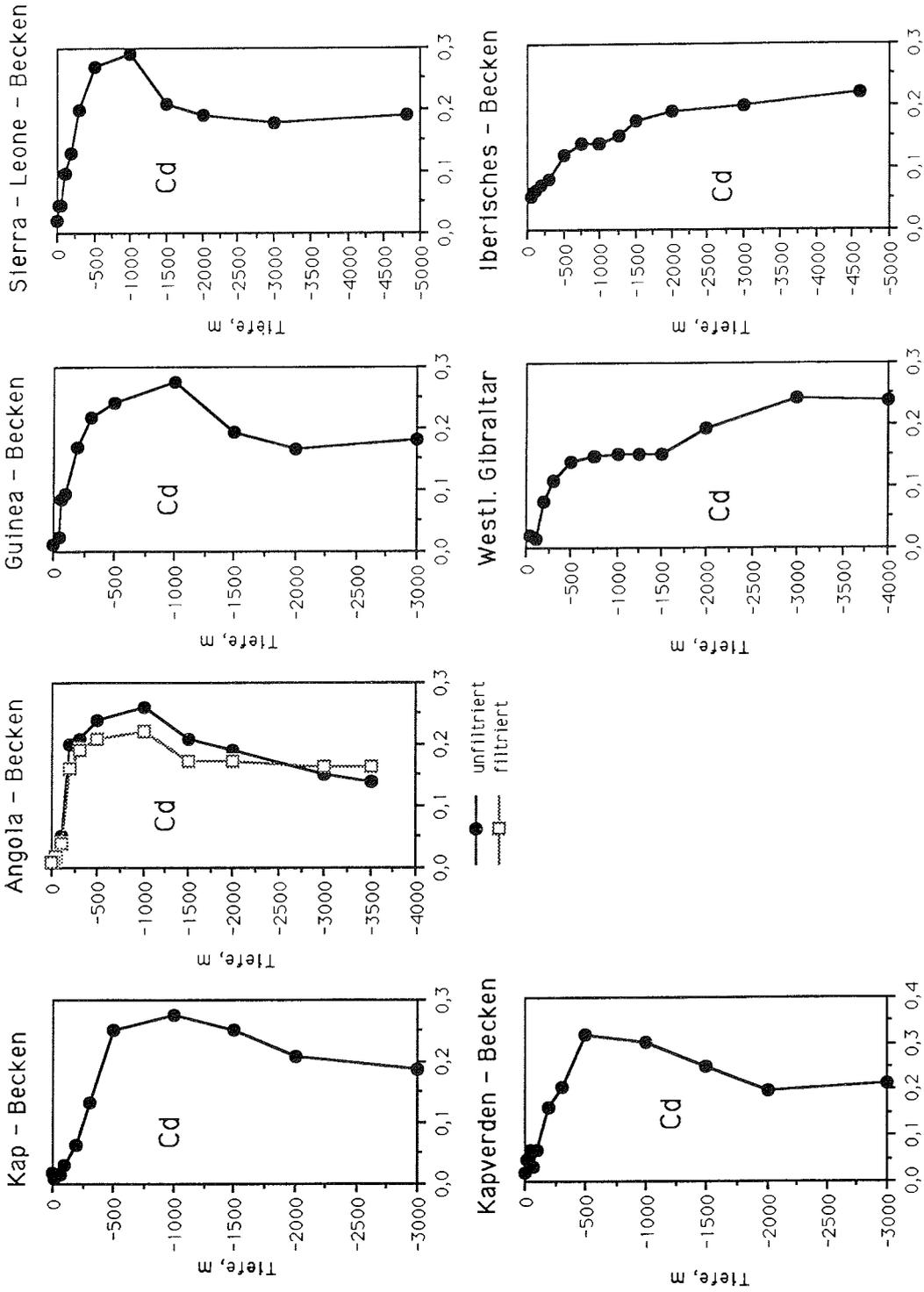


Abb.: 54 Tiefenprofile an den Stationen im Atlantik 1990, Cadmium nmol/kg

In der Oberflächenschicht bis 250 m Tiefe sind die Konzentrationen mit $0,02 - 0,05 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Cadmium in filtrierten und unfiltrierten Proben ähnlich niedrig. Ab 250 m Tiefe sind geringe Differenzen zu beobachten, in den filtrierten Proben wurden zwischen 500 - 1500 m maximale Konzentrationen von $0,22 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ gemessen, während die unfiltrierten Proben in diesem Tiefenbereich Werte um $0,25 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Cadmium erreichten.

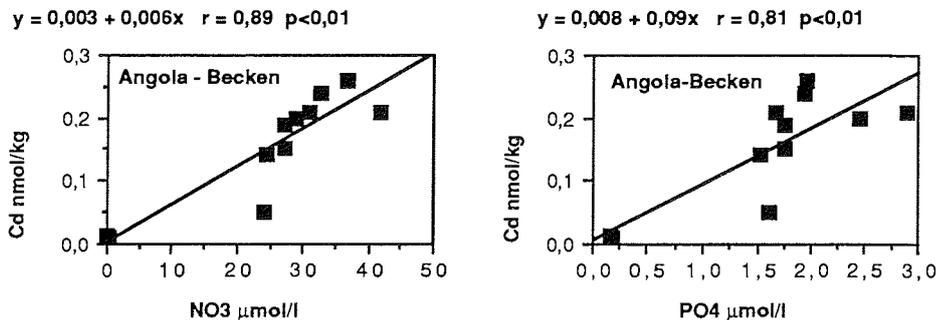


Abb.: 56 Korrelation zwischen den Cadmium-, Nitrat- und Phosphatkonzentrationen über ein Tiefenprofil im Angola-Becken.

Somit sind ca 12% des gesamten Cadmiums in dieser Tiefe im partikulären Anteil enthalten. In dieser Tiefe ist Cadmium ca. um den Faktor 10 höher als in der Oberfläche.

Ab 2000 m Tiefe erfolgt wieder eine Annäherung der gelösten und der gesamten Cadmiumkonzentrationen im Bereich zwischen $0,14 - 0,18 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$. Das Oberflächen-/Tiefenverhältnis berechnet sich mit ca. 1:8.

Die Korrelationen mit den Nährstoffen wurden mit den Cadmiumkonzentrationen der unfiltrierten Proben durchgeführt. Das Verhältnis zwischen $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{N}$ errechnet sich mit $0,06 \times 10^{-4}$ und für $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ mit $0,9 \times 10^{-4}$, die Regressionen sind linear und signifikant auf dem 99% Niveau (Abb.: 56).

Im Vergleich zum Kap-Becken sind hier die Cadmium-/Nährstoffverhältnisse etwas niedriger.

Guinea-Becken und Sierra-Leone-Becken

Die Cadmiumverteilungen an diesen beiden Stationen zeigen ähnliche Tiefenprofile, allerdings sind die maximalen Konzentrationen mit $0,3 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ bei 1000 m Tiefe im Sierra-Leone-Becken etwas höher als mit $0,25 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ im Guinea-Becken. Die Anreicherungsfaktoren gegenüber der Oberfläche liegen somit bei durchschnittlich 12 (S. Leone-Becken) und 10 (Guinea-Becken).

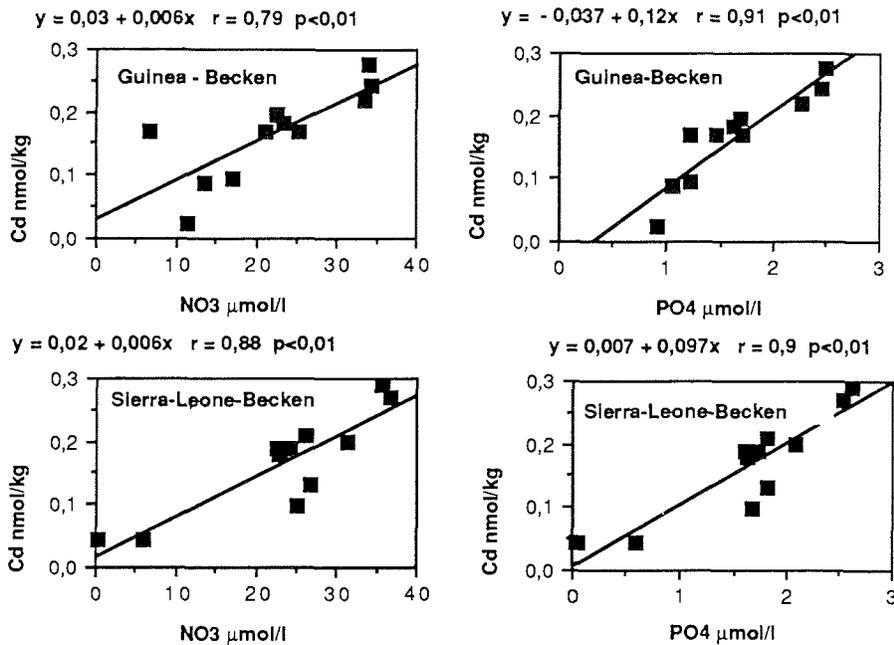


Abb.: 57 Korrelation zwischen den Cadmium-, Nitrat- und Phosphatkonzentrationen über ein Tiefenprofil im Guinea-, und Sierra-Leone-Becken.

Die Korrelationen an diesen beiden Tiefenstationen zwischen Cadmium und den Nährstoffen sind linear und signifikant auf dem 99% Niveau (Abb.: 57). Das $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{N}$ Verhältnis ist mit $0,06 \times 10^{-4}$ an beiden Stationen gleich. Für $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ wurde im Guinea-Becken ein Wert von $1,2 \times 10^{-4}$ und im Sierra-Leone-Becken ein Wert von $1,0 \times 10^{-4}$ berechnet.

Kapverden-Becken

Hier werden die maximalen Cadmiumkonzentrationen von ca. $0,3 \text{ nmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ schon bei ca. 500 m Tiefe erreicht und im weiteren Tiefenverlauf bis 3000 m gehen diese Konzentrationen ähnlich den anderen Stationen auf Werte um $0,2 \text{ nmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ Cadmium zurück. Auch hier wurde ein durchschnittlicher Anreicherungsfaktor in der Tiefe von 12 berechnet.

Die Korrelationen zwischen Cadmium, Nitrat und Phosphat sind linear und signifikant auf dem 99% Niveau (Abb.: 58). Das $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{N}$ Verhältnis ist mit $0,08 \times 10^{-4}$ und $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ mit $1,4 \times 10^{-4}$ etwas höher als an den beiden vorherigen Stationen.

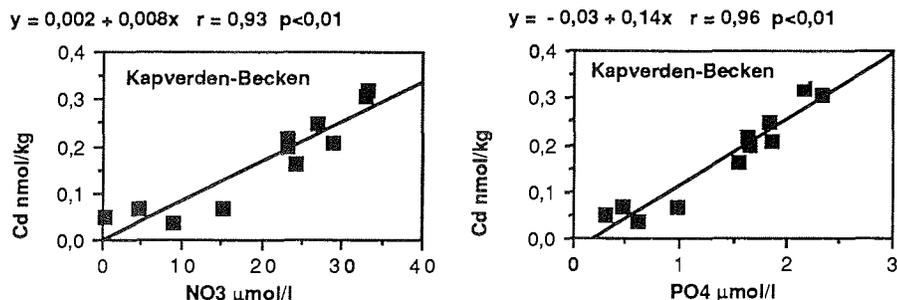


Abb.: 58 Korrelation zwischen den Cadmium-, Nitrat- und Phosphat-konzentrationen über ein Tiefenprofil im Kapverden-Becken.

Westlich Gibraltar

Diese Station zeigt ein verändertes Vertikalprofil, in 500 m Tiefe beträgt die Cadmiumkonzentration $0,15 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, sie bleibt bis 1500 m konstant, der Anreicherungsfaktor in dieser Tiefe ist ca. Faktor 6 höher als in der Oberfläche. Im weiteren Tiefenverlauf bis 4000 m steigen die Konzentrationen auf $0,24 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Cadmium an. Für diese Tiefe errechnet sich ein Anreicherungsfaktor von 10.

Die Korrelationen an dieser Station ergeben ein $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{N}$ Verhältnis von $0,1 \times 10^{-4}$ und ein $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ Verhältnis von $1,4 \times 10^{-4}$. Die Korrelationen sind linear und signifikant auf dem 99% Niveau (Abb.: 59).

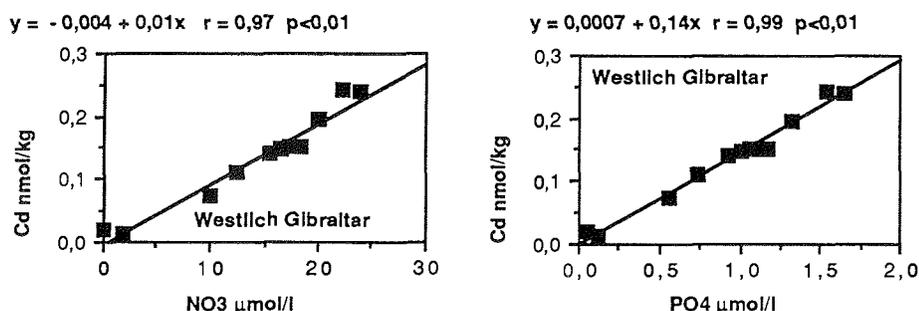


Abb.: 59 Korrelation zwischen den Cadmium-, Nitrat- und Phosphat-konzentrationen über ein Tiefenprofil Westlich Gibraltar.

Iberisches-Becken

An dieser nördlichsten Tiefenstation ist eine kontinuierliche Zunahme von der Oberfläche mit $0,05 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ bis 4500 m mit $0,22 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Cadmium zu

verzeichnen. Die Tiefenkonzentrationen sind ca. um den Faktor 4,5 höher als in der Oberfläche.

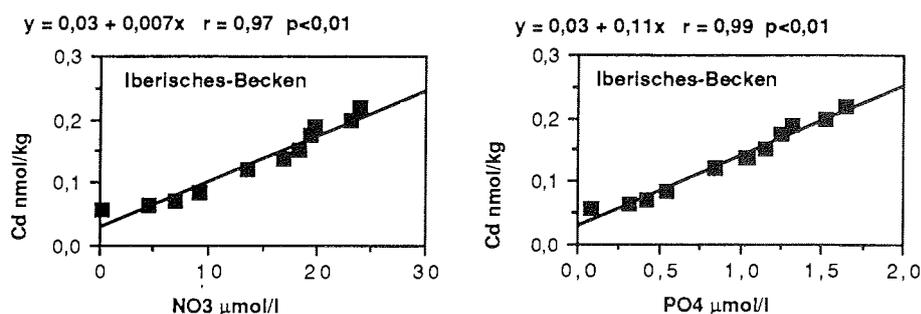


Abb.: 60 Korrelation zwischen den Cadmium-, Nitrat- und Phosphat-konzentrationen über ein Tiefenprofil im Iberischen-Becken.

Zwischen Cadmium und den Nährstoffen ergeben sich lineare Beziehungen signifikant auf dem 99% Niveau. Das $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{N}$ Verhältnis errechnet sich mit $0,07 \times 10^{-4}$ und das $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ Verhältnis mit $1,1 \times 10^{-4}$ (Abb.: 60)

Zusammenfassend kann man die vertikale Cadmiumverteilung im Ostatlantik folgendermaßen beschreiben. Das Oberflächen-/Tiefenverhältnis für Cadmium ist im Bereich der Tropen mit 1:12 am höchsten in Richtung Süden und Norden wird dieses Verhältnis kleiner. Ein Grund hierfür könnte die fehlende vertikale Konvektion im Bereich der Tropen sein, denn durch die hohen Niederschläge sind die Salzgehalte in der Deckschicht erniedrigt. Diese salzärmere Deckschicht bildet eine Sperrschicht und verhindert eine vertikale Konvektion, weder Cadmium noch Nährstoffe gelangen erneut an die Oberfläche.

Die Cadmiummaxima im Kap-, Angola-, Guinea- und Sierra-Leone-Becken liegen durchschnittlich zwischen 500 m und 1000 m im Bereich der Salzgehaltsminima. Der Wasserkörper oberhalb dieses Tiefenbereichs wird vom südatlantischen Zentralwasser (SACW) gebildet, unterhalb bis ca. 1500 m befindet sich das antarktische Zwischenwasser (AAIW) und ab 1500 m das antarktische Bodenwasser (AABW).

Im Kapverden-Becken liegt das Cadmiummaximum bei ca. 500 m, an der Grenze zwischen Nord-Ostatlantischem Zentralwasser (ENACW) und Ostatlantischem subarktischem Zwischenwasser (EASIW). Ab ca. 1000 m Tiefe werden die Wassermassen vom Nordatlantischen Tiefenwasser (NADW) gebildet.

Die Stationen Westlich Gibraltar und Iberisches-Becken werden in Tiefen zwischen 700 m und 1500 m durch das Mittelmeerwasser (MW) beeinflusst. In der Oberfläche

bis etwa 700 m liegt das ENACW und unter 1500 m das NADW. Das Mittelmeerwasser dürfte der Grund dafür sein, daß an diesen Stationen keine ausgeprägten Cadmiummaxima vorliegen.

Die Beziehungen zwischen Cadmium, Nitrat und Phosphat an diesen Tiefenstationen sind ähnlich. Ein globaler Durchschnittswert für den Ostatlantik kann für $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{N}$ mit $0,07 \times 10^{-4}$ und für $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ mit $1,2 \times 10^{-4}$ angegeben werden.

5.1.4. Cadmiumkonzentrationen in atlantischen Pontelliden aus der Oberfläche

In Abb.: 61 sind die Cadmiumkonzentrationen in Copepoden der Familie Pontellidae aus dem Oberflächenwasser des Ostatlantiks graphisch dargestellt. Sie gehören zum Euneuston und leben in den oberen 30 cm der Wassersäule. Während ANT VII/5, 1989 wurden sie zwischen 22°S und 37°N gefangen. Bei 22°S wurden Cadmiumkonzentrationen um $8,5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,076 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) in den Tieren gemessen und im weiteren Verlauf bis 7°S ist ein leichter Anstieg auf ca. $16 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,14 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) Cadmium zu verzeichnen. In Richtung Norden bis ca. 0° gehen die Konzentrationen wieder auf durchschnittliche Werte um $7 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,06 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) Cadmium zurück.

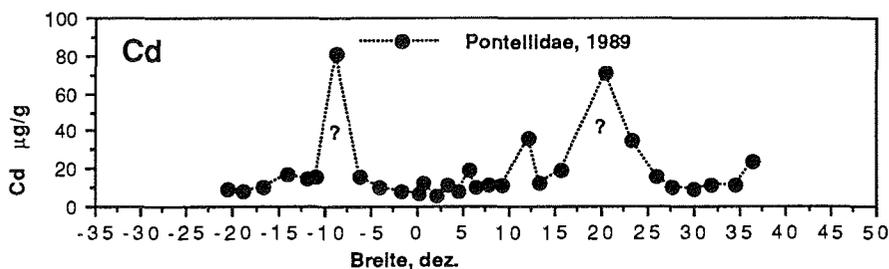


Abb.: 61 Cadmiumkonzentrationen in atlantischen Pontelliden, $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

Wird eine durchschnittliche Wasserkonzentration von $0,1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Cadmium im Südatlantik 1989 angenommen und eine durchschnittliche Cadmiumkonzentration von $0,12 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ in den Tieren, so berechnet sich der Anreicherungsfaktor in den Tieren mit $1,2 \times 10^6$.

Die sehr hohen Cadmiumkonzentrationen bei 9°S ($81 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) und bei 21°N ($71 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) in den Pontelliden sind wahrscheinlich auf Probenkontaminationen zurückzuführen.

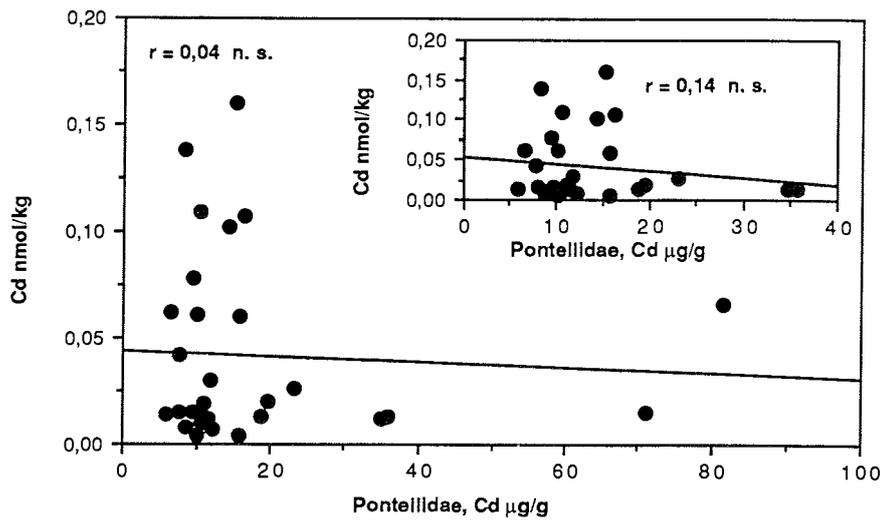


Abb.: 62 Korrelation zwischen den Cadmiumkonzentrationen in atlantischem Oberflächenwasser und Pontelliden.

Zwischen 0° - 37° N schwanken die Cadmiumkonzentrationen in den Tieren zwischen $10 - 35 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,09 - 0,3 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$). Bei einer durchschnittlichen Cadmiumkonzentration im Wasser von $0,02 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ würde sich ein Anreicherungsfaktor von 1×10^7 berechnen.

Die Korrelation zwischen den Cadmiumkonzentrationen im Wasser und in den Tieren aus der Oberfläche, Abb.: 62 sind nicht signifikant. Die kleine integrierte Graphik zeigt die Korrelation ohne die zwei vermutlich kontaminierten Tierproben. Eine negative Steigung deutet sich an.

Die maximale Verteilungsdichte der Cadmiumkonzentrationen in den Tieren liegt zwischen $9 - 11 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

5.1.4.1. Cadmiumkonzentrationen in Copepoden an ausgewählten Tiefenstationen

Die folgenden Tiefenproben wurden auf ANT VIII/7, 1990 genommen. An der Station im Kap - Becken wurden keine Tiere gefangen, und an den anderen Stationen war nur wenig Probenmaterial in den Tiefenholz vorhanden, sodaß keine systematische Klassifizierung der Copepoda vorgenommen werden konnte. In Abb.: 63 sind alle Meßwerte aus den 6 Tiefenstationen dargestellt die Abnahme der Cadmiumkonzentrationen mit der Tiefe beschreibt einen logarithmischen Kurvenverlauf. In Abb.: 64 werden die Ergebnisse an den einzelnen Stationen gezeigt.

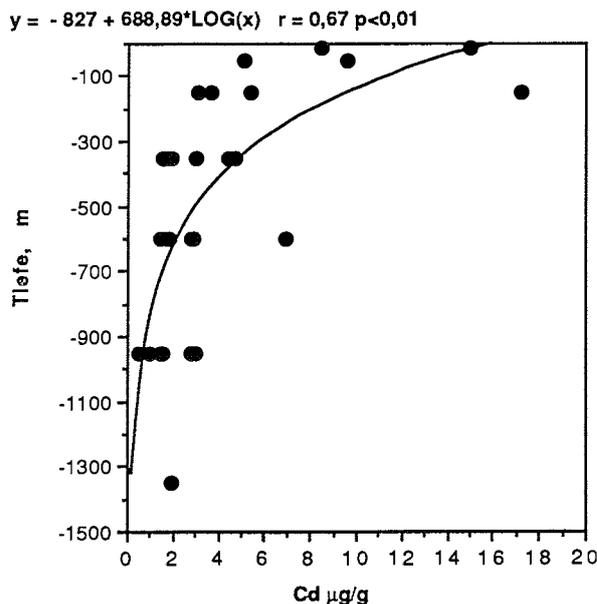


Abb.: 63 Cadmiumverteilung in Copepoden aus unterschiedlichen Tiefenintervallen über die 6 Stationen im Ostatlantik.

Im Angola-, Guinea- und Sierra-Leone-Becken sind die Cadmiumkonzentrationen für den Tiefenbereich 0 - 200 m mit 5 - 17 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (0,045 - 0,15 $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) ähnlich hoch wie in den Pontelliden aus der Oberfläche des Vorjahres. Im weiteren Tiefenverlauf nehmen die Cadmiumkonzentrationen in den Tieren ab, und erreichen auf allen Stationen Werte zwischen 1 - 5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (0,009 - 0,045 $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$).

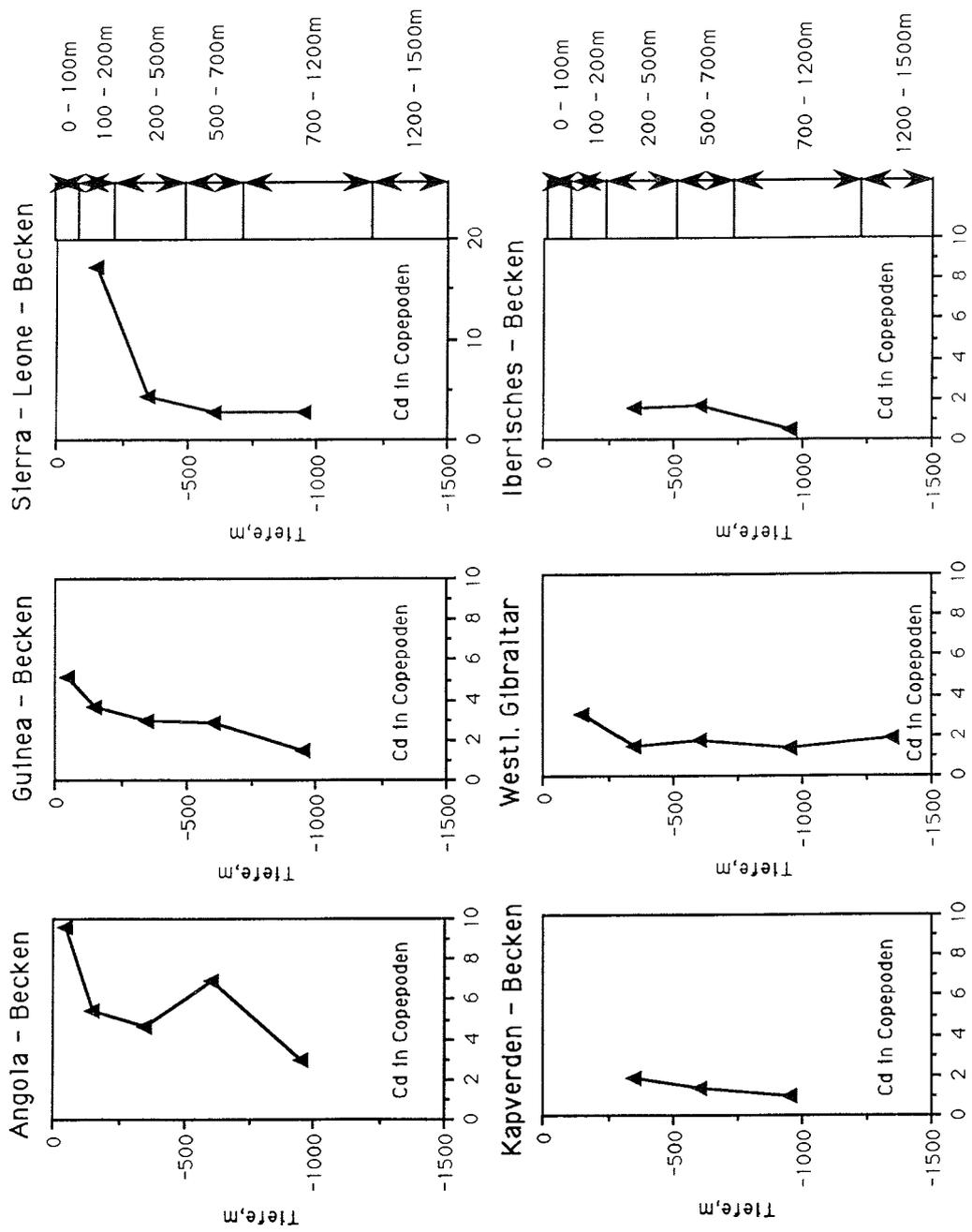


Abb. 64 Tiefenprofile an den Stationen im Atlantik 1990, Cd in Tieren in µg/g
Die Skaleneinteilung am rechten Rand entspricht den Tiefenintervallen, die mit dem Multinetz durchgeführt wurden

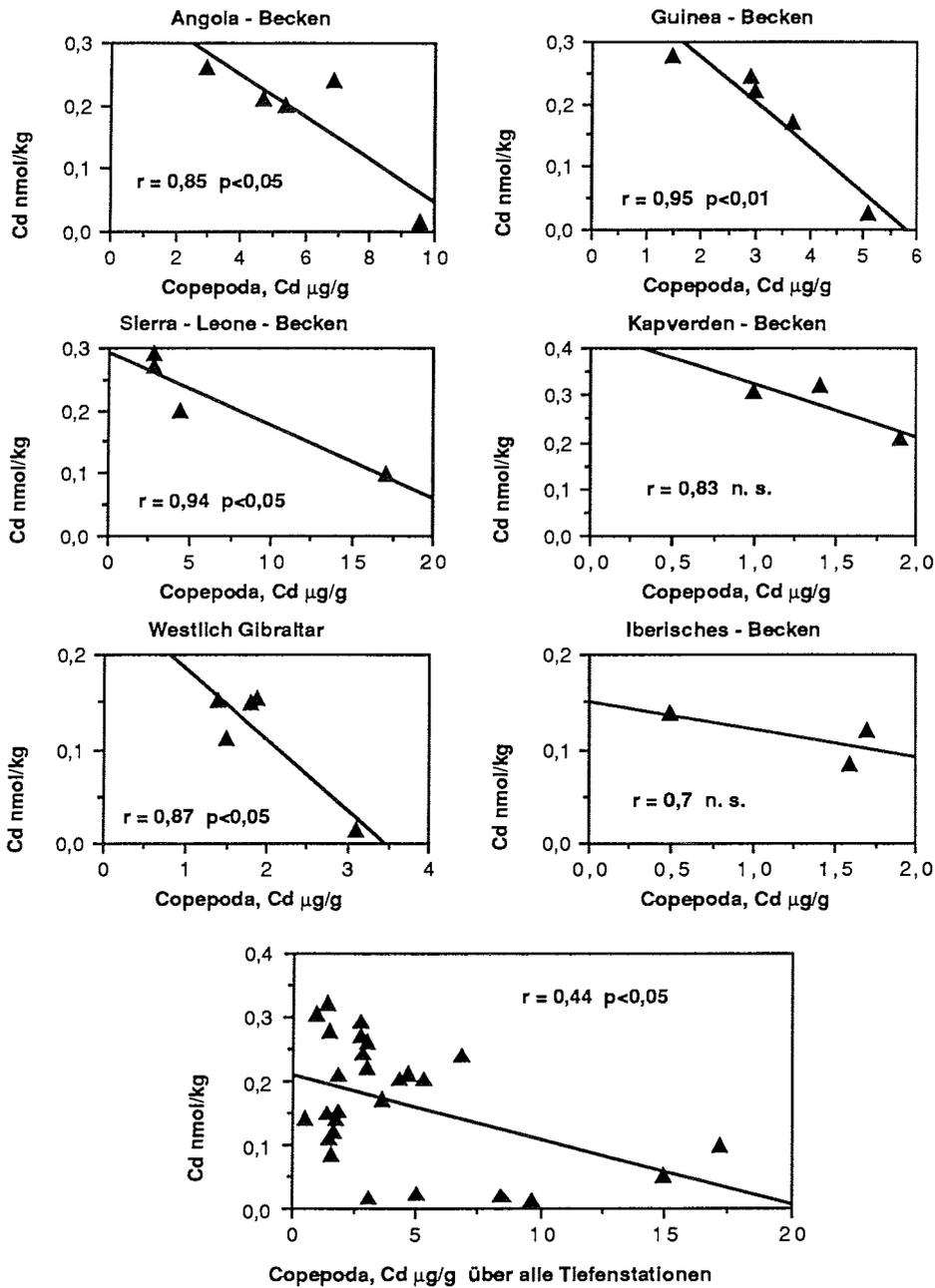


Abb.: 65 Korrelationen zwischen den Cadmiumkonzentrationen im Wasser und in den Copepoden an den einzelnen Tiefenstationen und über alle Tiefenstationen.

Die Regressionen zwischen den Cadmiumkonzentrationen im Wasser und in den Tieren über den Tiefenbereich sind im Angola-, Sierra-Leone-Becken und Westlich Gibraltar negativ korreliert und signifikant auf dem 95% Niveau, im Guinea-Becken bestehen lineare Verhältnisse signifikant auf dem 99% Niveau und im Kapverden-, sowie Iberischem-Becken deuten sich negative Beziehungen an, sie sind nicht signifikant. Hier wurden im Oberflächenbereich keine Tiere gefangen. Dieses Ergebnis lässt die Interpretation zu, je höher die Cadmiumkonzentrationen im Wasser sind, umso niedriger sind sie in den Tieren.

Zur Absicherung dieser Aussage wurden weiterführend die Cadmiumkonzentrationen aller Tierproben mit den entsprechenden Cadmiumkonzentrationen im Wasser aus allen sechs Tiefenprofilen korreliert, die fehlenden Oberflächenwerte im Kapverden-, und Iberischen-Becken wurden durch 2 Oberflächenwertepaare des Jahres 1989 ergänzt (Abb.: 65). Die Graphik zeigt eine negative Korrelation mit $r = 0,44$ signifikant auf dem 95% Niveau.

Dieses Ergebnis deutet ebenfalls auf eine Cadmiumaufnahme über die Nahrung hin, da sich die Tiere in der Oberfläche überwiegend herbivor ernähren, während Tiefenorganismen überwiegend carnivor sind (WEIKERT 1973).

5.2. BLEI

5.2.1. Bleiverteilung im Oberflächenwasser der Arktis im Vergleich der Jahre 1989 und 1990

Die Bleiverteilung der Jahre 1989/1990 im Oberflächenwasser von Framstraße und Grönlandsee sind in Abb.: 66 wiedergegeben.

In der **Framstraße** sind die Bleikonzentrationen 1989 und 1990 westlich der Polarfront ($3,5^{\circ}\text{W}$) mit Konzentrationen um $0,05 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ sehr niedrig. Diese westlichen Stationen liegen im Bereich 6/10 - 8/10 Eisbedeckung.

Zwischen 3°W - 7°E steigen die Werte 1989 auf durchschnittlich $0,1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ an, 1990 erreichen die Bleikonzentrationen ebenfalls $0,1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, im Vergleich zum Vorjahr sind im Bereich der Arktikfront minimale Konzentrationen unter $0,05 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ zu verzeichnen. Im östlichen Bereich des Schnittes zwischen 7° - 12°E wurden 1989 erhöhte Konzentrationen von $0,1$ - $0,22 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ gemessen. 1990 liegen die Konzentrationen dagegen um $0,05 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, nur an der östlichsten Station steigen die Werte auf bis zu $0,18 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ an. Insgesamt gesehen ist 1989 ein leichter Anstieg von West nach Ost zu verzeichnen.

Auf dem **Grönlandseeschnitt** liegen die westlichsten Stationen ebenfalls im Eis. Westlich der Polarfront (10° - 15°W) liegen die Konzentrationen 1989 unter 0,05 nmol·kg⁻¹, in östlicher Richtung bis 7°W steigen die Konzentrationen auf ca. 0,1 nmol·kg⁻¹ an, und im weiteren Verlauf bis 1°W gehen sie wieder auf Konzentrationen um 0,05 nmol·kg⁻¹ zurück. Zwischen 0° - 18°E fluktuieren die Bleikonzentrationen sehr stark zwischen 0,05 nmol·kg⁻¹ bis zur maximalen Konzentration von 0,4 nmol·kg⁻¹, insgesamt ist eine steigende Tendenz in Richtung Osten zu beobachten.

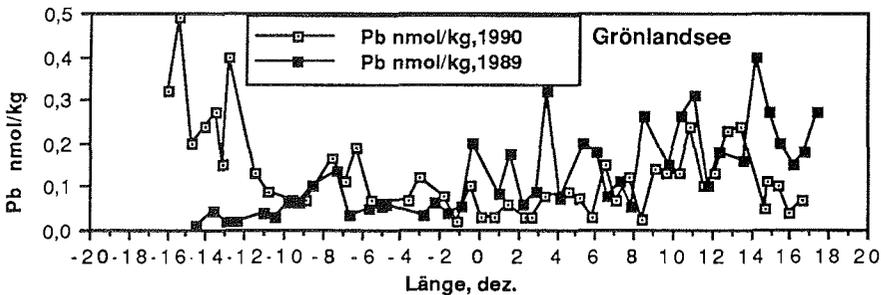
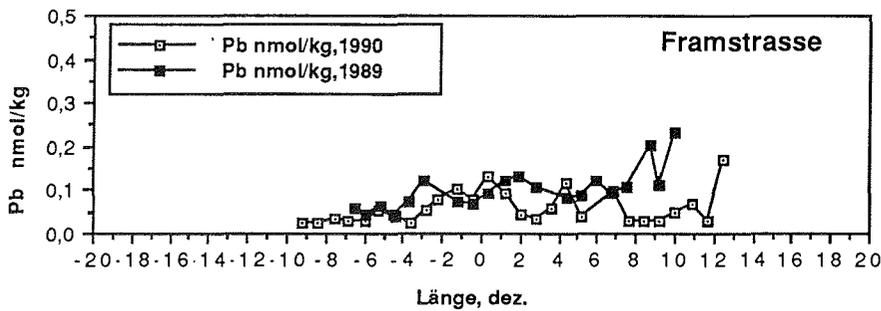


Abb.: 66 Bleikonzentrationen im Oberflächenwasser der Arktis im Juni 1989 und im Juli 1990.

1990 sind die Bleikonzentrationen im westlichen Bereich zwischen 16° - 11°W auf dem ostgrönländischen Schelf mit Konzentrationen zwischen 0,1 - 0,5 nmol·kg⁻¹ wesentlich höher als im Vorjahr. Im Bereich der Polarfront sinken die Konzentrationen auf 0,08 nmol·kg⁻¹ ab. Zwischen den Fronten im Grönlandseewirbel liegen die Werte mit 0,05 - 0,1 nmol·kg⁻¹ etwas niedriger als im Vorjahr, und erst östlich der Arktikfront ab 6°E im atlantischen Wasserkörper steigen die Bleikonzentrationen auf 0,15 - 0,23 nmol·kg⁻¹ an, mit Ausnahme der

östlichsten fünf Stationen, an denen die Konzentrationen auf ca. $0,1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ zurückgehen.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die durchschnittlichen Bleikonzentrationen im Oberflächenwasser der Framstraße niedriger sind und weniger fluktuieren als auf dem südlicheren Grönlandseeschnitt. Weiterhin fällt auf, daß die Bleikonzentrationen an den Stationen im Eis ebenfalls niedriger sind, eine Ausnahme sind die sehr hohen Konzentrationen 1990 auf dem Ost-Grönlandschelf.

5.2.2. Bleikonzentrationen in Schnee- und Schmelzwasserproben der Arktis

Da im Juni 1989 im Bereich des Ostgrönlandschelfs bei einer Eisbedeckung von 9/10 sehr niedrige Bleikonzentrationen im Wasser gemessen wurden, lag die Vermutung nahe, daß der größte Teil des durch die Atmosphäre eingetragenen Bleianteils im Oberflächenschnee der eisbedeckten Region enthalten sein mußte und erst durch das Schmelzen des Eises in den Wasserkörper eingetragen wird. Die Ergebnisse der Schnee- und Schmelzwasserproben sind in Abb.: 67 dargestellt.

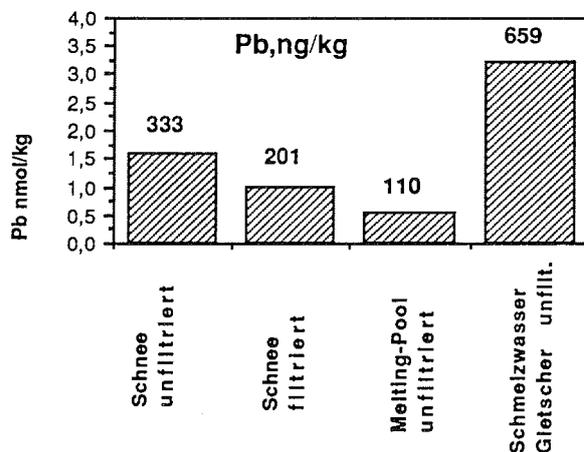


Abb.: 67 Blei in Schnee- und Schmelzwasserproben der Arktis im Juli 1990.

In unfiltriertem Schnee wurden $1,6 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Blei gemessen, in filtriertem Schnee lagen die Konzentrationen bei $0,97 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, daraus folgt, daß fast 40% des Bleis partikulär adsorbiert vorliegen.

In den Schmelzwasserbereichen des Meereises wurden Konzentrationen von $0,53 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ gemessen, diese Konzentrationen sind um die Hälfte niedriger als in den filtrierten Schneeproben, und vergleichbar mit den hohen Konzentrationen die 1990 im Oberflächenwasser des Ost- Grönlandschelfs gemessen wurden.

Die Konzentrationen von $3,2 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ im Schmelzwasser des Gletschereisbergs sind sehr hoch. Diese Ergebnisse zeigen, daß sowohl das Gletschereis wie auch das Meereis als Bleiquelle in Frage kommen.

Bei der Interpretation der hydrographischen Situation in diesem Seegebiet wurde festgestellt, daß die Salzgehalte 1990 im westlichen Bereich der Schnitte durch die Schmelzwassereinträge von ca. 33,5 ‰ auf 31 ‰ zurückgegangen waren. Dieses könnte ein Grund für die erhöhten Bleikonzentrationen im Oberflächenwasser des Ost - Grönlandschelfs sein, der im folgenden hypothetisch überprüft werden soll. Dabei wird die Salzgehaltsänderung von 2,5 ‰ als Bezugsgröße gewählt.

Es wurden die Bleikonzentrationen von 1989 durchschnittlich $0,05 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Blei und $0,3 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (1990) im westlichen Teil des Grönlandseeschnittes, sowie die Konzentrationen in unfiltriertem Schnee $1,6 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Blei zugrunde gelegt. Die doppelt so hohen Bleikonzentrationen aus dem Schmelzwasser des Gletschereisbergs wurden nicht berücksichtigt. Daraus berechnet sich folgendes Mischungsverhältnis: 161 Anteile $1,6 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Blei und 839 Anteile $0,05 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ ergeben 1000 Anteile $0,3 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Blei.

Tab.: 6 Mischungsverhältnisse zwischen Meerwasser 33,5 ‰ S und Meereis mit unterschiedlichen Salzgehalten auf eine Endkonzentration von 31 ‰ S im Meerwasser.

	Anteil 0 ‰ S	Anteil 2 ‰ S	Anteil 10 ‰ S	Anteil 15 ‰ S	Anteil 20 ‰ S
Mischungs- anteil - Eis	75	79	106	135	185
Anteil Wasser 33,5 ‰ S	925	921	894	865	815
Gesamtanteil 31,0 ‰ S	1000	1000	1000	1000	1000

Dieses theoretisch berechnete Mischungsverhältnis für Blei muß mit den Mischungsverhältnissen verglichen werden, die sich aus der Salzgehaltsänderung von 2,5‰ durch das Schmelzen des Meereises ergeben.

Hierbei muß allerdings davon ausgegangen werden, daß sich das Meereis aus einjährigem, zweijährigem und mehrjährigem Eis zusammensetzt, und der Salzgehalt aufgrund der inhomogenen Mischung des Eises zwischen 0 - 20 ‰ schwanken kann.

$$y = 74,6 + 2,6x - 0,043x^2 + 0,0095x^3 \quad r = 1,0 \quad p < 0,01$$

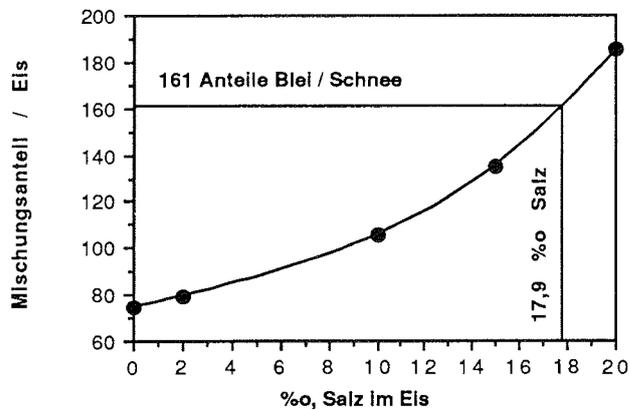


Abb.: 68 Mischungsanteil/Eis in Abhängigkeit von den möglichen Salzgehalten im Eis.

Mit diesen Voraussetzungen berechnen sich folgende Mischungsverhältnisse, für die jeweils angenommen Salzgehalte im Meereis, die in Tab.: 6 und in Abb.: 68 dargestellt sind. Die Mischungsverhältnisse folgen einem Polynom 3. Ordnung. Setzt man den Mischungsanteil von Blei/Schnee ein, ergibt sich ein Salzgehalt im Meereis von ca. 18‰. Dieser Wert wird niedriger, wenn der Bleieintrag aus dem Gletschereis berücksichtigt würde und ist durchaus realistisch.

MAYKUT, (1985) fand in einjährigem Eis durchschnittliche Salzgehalte zwischen 5 - 10 ‰, in zweijährigem Eis um 5‰ und in mehrjährigem Eis <1‰.

5.2.3. Bleikonzentrationen in arktischen Copepoden

Die Bleikonzentrationen in den Copepoden aus der Framstraße und der Grönlandsee sind in Abb.: 69 dargestellt.

In der westlichen **Framstraße** (4° - 6°W) liegen die Konzentrationen 1989 für *C hyperboreus* zwischen 0,3 - 1,0 µg·g⁻¹ (0,0015 - 0,005 mmol·kg⁻¹) und im

Bereich von 1°W - 9°E mit Konzentrationen von 0,2 - 0,5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (0,001 - 0,0025 $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) etwas niedriger. 1990 erreichen die Konzentrationen im westlichen Bereich (9°W) maximale Werte von 1,2 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (0,006 $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) in *C. hyperboreus*.

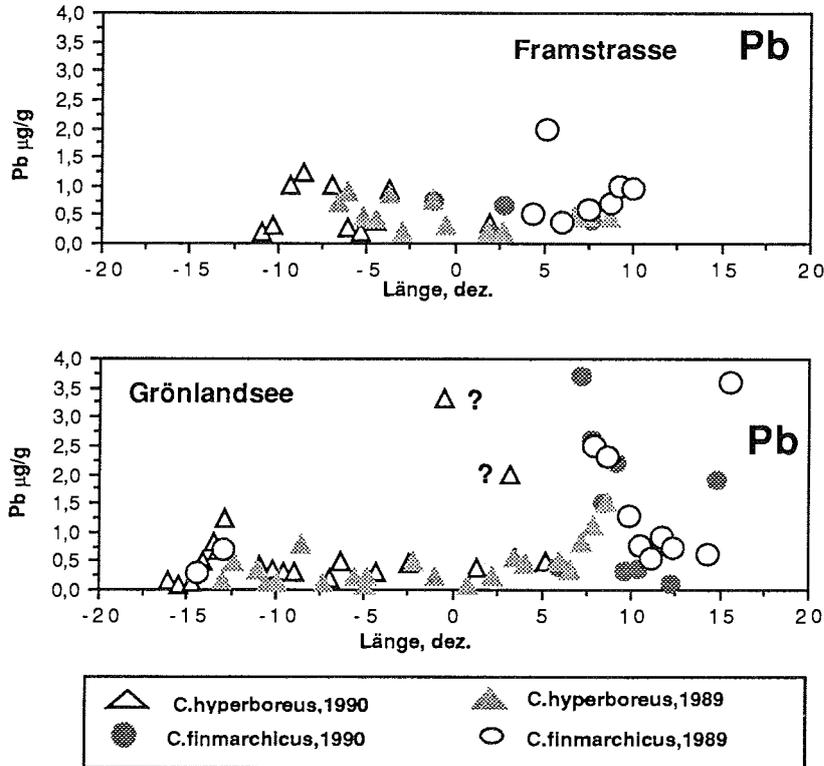


Abb.: 69 Bleikonzentrationen in Copepoden, $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ Trockengewicht

Bei *C. finmarchicus*, der sich vorwiegend im wärmeren Wasser atlantischen Ursprungs aufhält, wurden 1989 Bleikonzentrationen von 0,5 - 2,0 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (0,0025 - 0,01 $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) und 1990 maximale Werte von 0,8 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (0,004 $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) erreicht.

Im westlichen Teil des Grönlandseeschnittes zwischen 13°W - 6°E schwanken die Bleikonzentrationen 1989 in *C. hyperboreus* zwischen 0,2 - 0,5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (0,001 - 0,0025 $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$), während die östlichen 3 Proben dieses Jahrganges Werte bis zu 1,5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (0,007 $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) Blei erreichen.

1990 sind auf dem Ostgrönlandshelf maximale Werte für *C. hyperboreus* bis 1,2 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (0,006 $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) Blei zu verzeichnen, im Grönlandseewirbel zwischen

11°W - 5°E dominieren Werte um $0,5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ mit zwei Ausnahmen bei 0° ($3,5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) ($0,017 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) und 3°E ($2,2 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) ($0,011 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$).

C. finmarchicus zeigt 1989 und 1990 maximale Konzentrationen zwischen $2,7$ bis $4 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,013 - 0,019 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) bei 7° - 8°E. Östlich davon liegen die Konzentrationen 1990 um $0,3 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,0015 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) Blei und 1989 durchschnittlich um $0,7 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,0034 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) Blei. An der östlichsten Station auf diesem Schnitt wurden in beiden Jahren erhöhte Konzentrationen ($2,0$ und $3,7 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) ($0,01 - 0,018 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) in *C. finmarchicus* gemessen.

Zusammenfassend fällt auf, daß die Bleikonzentrationen der Tiere in den westlichen Regionen der Framstraße und der Grönlandsee mit Werten zwischen $0,3 - 1,2 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,0015 - 0,006 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) ein kleines Maximum (*C. hyperboreus*) andeuten, während sie im östlichen Teil der Grönlandsee maximale Konzentrationen (*C. finmarchicus*) von bis zu $3,8 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,018 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) erreichen. In den mittleren Mischwasserregionen der Schnitte erreichen sie dagegen minimale Konzentrationen.

5.2.3.1. Der Einfluß der Bleikonzentrationen im Wasser auf die Bleikonzentrationen in arktischen Copepoden.

Um zu überprüfen, ob lineare Beziehungen zwischen den Bleikonzentrationen im Wasser und den Copepoden bestehen, wurden mit den Datensätzen aus der Framstraße und Grönlandsee Korrelationen durchgeführt (Abb.: 70).

Allerdings muß davon ausgegangen werden, daß Blei nicht wie Cadmium während der Primärproduktion in die Phytoplanktonzelle eingebaut wird, denn die Überprüfung der Korrelationen zwischen den Bleikonzentrationen und Chlorophyll a im Wasser zeigten weder positive noch negative lineare Beziehungen. Daraus folgt, daß Blei nicht primär über die Nahrung aufgenommen, sondern über andere Mechanismen akkumuliert wird.

Eine signifikante Korrelation ($p < 0,05$) mit einer negativen Steigung ergibt sich nur zwischen den Bleikonzentrationen in *C. hyperboreus* aus der Framstraße (1990) und den Konzentrationen im Wasser sowie mit einer positiven Steigung für die Beziehungen in der Grönlandsee 1989. Weiterhin deutet sich für *C. hyperboreus* 1989 eine negative Korrelation im Bereich der Framstraße an.

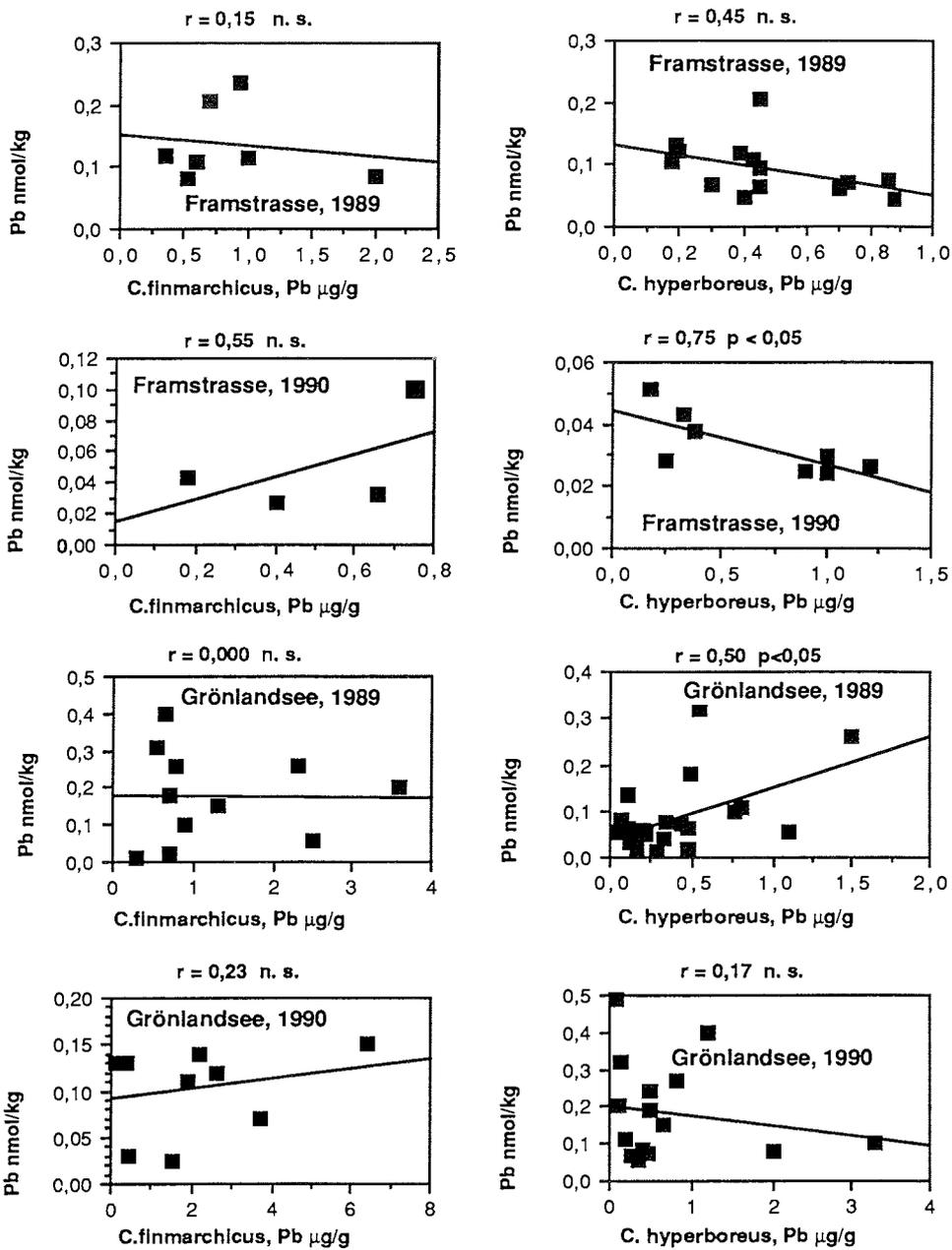


Abb.: 70 Korrelationen zwischen den Bleikonzentrationen in Copepoden und Wasser der Framstraße und der Grönlandsee

Unter Berücksichtigung beider Jahrgänge errechnet sich für *C. hyperboreus* im westlichen Teil der Framstraße ein Anreicherungsfaktor von 6×10^4 und für den mittleren Teil ein Faktor von $2,4 \times 10^4$.

Im westlichen Teil des Grönlandseeschnittes wurde für *C. hyperboreus* 1989 ein erhöhter Anreicherungsfaktor von 4×10^4 und 1990 von 1×10^4 errechnet. Im Bereich des Grönlandseewirbels sind die Faktoren 1989 und 1990 mit $1,5 \times 10^4$ ähnlich niedrig wie 1990 für den westlichen Teil des Schnittes.

Für *C. finmarchicus* resultiert in beiden Jahren ein Faktor von ca. $2,7 \times 10^4$ im östlichen Bereich der Framstraße. Dieser Wert ist vergleichbar mit dem Faktor $2,5 \times 10^4$, der sich 1989 und 1990 für den östlichen Bereich der Grönlandsee ergibt.

Die Daten können zusammenfassend folgendermaßen interpretiert werden: Die erhöhten Anreicherungsfaktoren von 6×10^4 und 4×10^4 (1989) für Blei im westlichen Teil der Schnitte sind in erster Linie auf die sehr niedrigen Konzentrationen im Wasser zurückzuführen, und nicht nur auf eine erhöhte Akkumulation in den Tieren. Besonders deutlich wird dieses 1990 im westlichen Bereich der Grönlandsee. Die Konzentrationen in *C. hyperboreus* sind 1990 doppelt so hoch wie im Vorjahr, während die Bleikonzentrationen im Wasser mit ca. $0,28 \text{ nmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 8 mal so hoch sind wie im Vorjahr. Trotz dieser Konzentrationsverschiebungen ist der Anreicherungsfaktor mit 1×10^4 (1990) sogar 4 mal niedriger als 1989. Dennoch kann nicht ausgeschlossen werden, daß die erhöhten Bleikonzentrationen in den Copepoden auf erhöhte Bleikonzentrationen im Wasser zurückzuführen sind.

5.2.4. Bleiverteilung im Oberflächenwasser des Ostatlantiks

Die Bleikonzentrationen im Oberflächenwasser des Ostatlantiks im Jahre 1989 sind in Abb.: 71 dargestellt. Im Südostatlantik zwischen 32°S - 0° wurden Bleikonzentrationen von $0,05$ - $0,06 \text{ nmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ gemessen. Etwas erhöhte Konzentrationen von bis zu $0,14 \text{ nmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ sind an der zweiten Station bei 29°S zu beobachten, weiterhin fällt ein Maximum von $0,3 \text{ nmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ bei 4°S auf, daß auf eine Probenkontamination zurückgeführt wird. Vom Äquator in Richtung Norden steigen die Werte auf ca. $0,15 \text{ nmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ (5°N) an, gehen wieder auf Konzentrationen um $0,05 \text{ nmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ (8°N) zurück und fluktuieren im weiteren Verlauf bis 16°N zwischen $0,03$ - $0,15 \text{ nmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ Blei.

Ab 16°N nehmen die Bleikonzentrationen im Oberflächenwasser drastisch zu und erreichen bei 25°N maximale Konzentrationen von $0,32 \text{ nmol} \cdot \text{kg}^{-1}$. In den

gemäßigten Breiten zwischen 30° - 45°N werden durchschnittliche Konzentrationen von 0,2 nmol·kg⁻¹ erreicht.

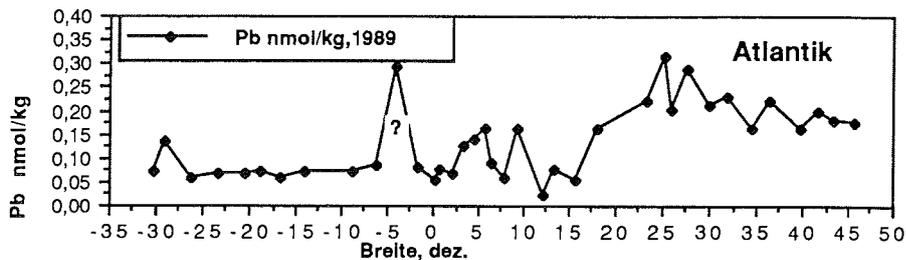


Abb.: 71 Bleiverteilung in der Oberfläche des Ostatlantiks im April 1989

Zusammenfassend können diese Ergebnisse folgendermaßen kommentiert werden: da die Bleieinträge in die Ozeane primär über die Atmosphäre erfolgen und meistens anthropogener Herkunft sind, ist es nicht erstaunlich, daß im Südatlantik die niedrigsten Konzentrationen mit durchschnittlich 0,05 nmol·kg⁻¹ gemessen wurden. Im Bereich der Innertropischen Konvergenz Zone (ITCZ) steigen sie um den Faktor 3 auf 0,15 nmol·kg⁻¹ an. Durch die starken Regenfälle (siehe auch Salzgehaltsverteilung Abb.: 17) wird atmosphärisches, an Partikel adsorbiertes, Blei permanent ausgewaschen und in die Meeresoberfläche eingetragen.

Im Gegensatz zu atmosphärischen Gasen sind atmosphärische Partikel nicht sehr gut durchmischt, sie werden hauptsächlich in der Troposphäre transportiert und haben eine Aufenthaltswahrscheinlichkeit von einigen Wochen. Der Äquator bildet eine Blockade, sodaß die Luftmassen diese geographische Grenze nur sehr begrenzt passieren können (WOLFF & PEEL 1985).

In den gemäßigten Breiten des Nordatlantiks, der Westwinddrift sind die Bleikonzentrationen um den Faktor 4 höher als im Südatlantik, dieses Ergebnis wird auf die anthropogenen Quellen der industrialisierten Kontinente Nord - Amerika und Europa zurückgeführt,

Zwischen den Bleikonzentrationen im Wasser, den Nährstoff- und Chlorophyll a-Konzentrationen bestehen keine Korrelationen.

5.2.4.1. Vertikale Bleiverteilung im Wasser an ausgewählten Tiefenstationen.

Die Bleiverteilung an den ausgewählten Tiefenstationen von 1990 wurde in Abb.: 72 graphisch dargestellt. Die Probenahme von Tiefenwasser erfolgte mit Hilfe einer Rosette, die mit 12 x 10 l GO-FLO-Schöpfern bestückt war. Aus der Literatur

(SCHAULE 1979) ist bekannt, daß diese Art der Probenahme für die anschließende Konzentrationsbestimmung von Blei nicht optimal ist. Da die Schöpfer geöffnet auf Tiefen von 3500 - 4500 m gefiert wurden, kann davon ausgegangen werden, daß durch den Spüleffekt ein weiterer intensiver Reinigungsschritt vorgenommen wurde und eine weitestgehend unkontaminierte Probenahme erfolgte. Dennoch sollen die hier angegebenen Bleikonzentrationen im Tiefenwasser mit Vorbehalten interpretiert werden.

Kap - Becken

Die Konzentrationen in den oberen 100 m erreichen maximale Werte um $0,25 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ bei 20 m Tiefe, im weiteren Tiefenverlauf bis 500 m gehen die Bleikonzentrationen auf durchschnittlich $0,1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ zurück, bleiben bis 2000 m nahezu konstant und erreichen bei 3000 m Werte um $0,15 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$. Somit sind die Konzentrationen in der Deckschicht um den Faktor 2,5 höher als in der Tiefe.

Angola - Becken

Hier wurden in den oberen 20 m Konzentrationen um $0,1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ gemessen bis 200 m gehen sie auf Werte um $0,016 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Blei zurück und im weiteren Tiefenverlauf bis 3500 m fluktuieren die Konzentrationen zwischen $0,03 - 0,09 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Guinea - Becken

Maximale Bleikonzentrationen von $0,15 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ wurden in der Deckschicht und bei 300 m Tiefe gemessen, bis 1500 m gehen die Konzentrationen um den Faktor 3 auf $0,05 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Blei zurück und erreichen bei 3000 m Werte um $0,1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Sierra - Leone - Becken

In diesem Becken werden die maximalen Bleikonzentrationen in der Wassersäule bei 200 m mit ca. $0,15 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ angetroffen, im weiteren Tiefenverlauf gehen sie auf $0,04 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ zurück und erreichen bei 5000 m Werte um $0,06 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Kapverden - Becken

Im Gegensatz zu den vorhergehenden Stationen sind hier in den oberen 300 m starke Fluktuationen der Bleikonzentrationen zu beobachten. Bei 300 m erreichen sie eine maximale Konzentration von $0,2 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, bei 500 m gehen sie um den Faktor 5 auf Werte unter $0,04 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ zurück und steigen dann langsam auf $0,1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ bei 3000 m an. Vergleichende Daten wurden von SCHMIDT (1988) dargestellt.

SCHMIDT, (1988) 20°N / 23°W
 Diese Arbeit

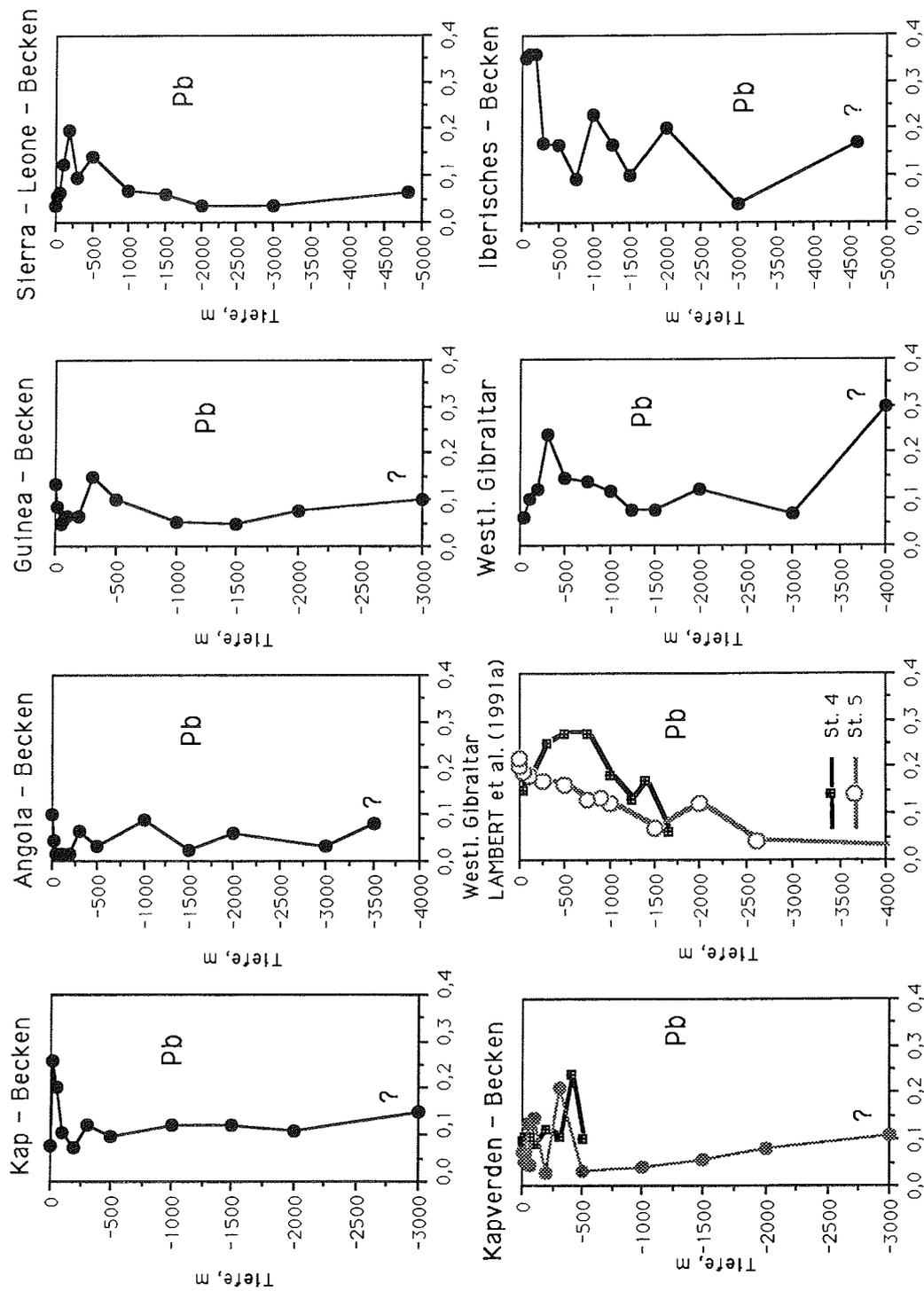


Abb.: 72 Tiefenprofile an den Stationen im Atlantik 1990, Blei in nmol/kg

Westlich Gibraltar

Auch hier wurden maximale Werte von $0,25 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Blei in 300 m Tiefe gemessen, bis 3000 m gehen sie auf Konzentrationen um $0,05 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ zurück und erreichen bei 4000 m $0,3 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$. Dieser Wert läßt eine Probenkontamination vermuten. Auffällig ist der Kurvenverlauf zwischen 500 - 2500 m, der fast synchron zu dem Vertikalprofil der Station 5 von LAMBERT et al. (1991a) verläuft.

Iberisches - Becken

Hier wurden in den oberen 200 m die höchsten Bleikonzentrationen mit $0,3 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ gemessen. Zwischen 200 m - 4700 m fluktuieren die Werte stark zwischen $0,04 - 0,16 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Bei einer zusammenfassenden Interpretation dieser Tiefenprofile fällt die teilweise hohe Zunahme der Bleikonzentrationen über dem Meeresboden auf, denn bei Bleiprofilen aus dem Pazifik (SCHAULE & PATTERSON, 1981) wurden diese Tendenzen nicht beobachtet. Dafür gibt es die Vermutung, daß das Wasser durch die Schöpfer kontaminiert wurde. Vor allem die Tiefenwasserproben waren aufgrund der langen Hievzeiten durchschnittlich 2 Stunden in Kontakt mit den Materialien. Wichtig für diese Arbeit sind aber die Verteilungen in den oberen 1500 m, da diese Konzentrationen eine mögliche Interpretationsgrundlage für die Bleikonzentrationen in Copepoden darstellen.

Charakteristisch sind die mehr oder weniger ausgeprägten Maxima bei 200 m/300 m. Sie liegen im Bereich der Sauerstoffminima, eine Ausnahme bildet das Iberische-Becken. Dieses Ergebnis sowie die Fluktuationen in diesem oberen Teil der Wassermasse, wie sie im Kapverden-Becken zu beobachten sind, könnten im wesentlichen auf Suspensionsprozesse von absinkenden, an Partikel adsorbiertes Blei zurückgehen. Nach SCHAULE (1979) sind die Vorgänge in dieser Sprungschicht sehr komplex. Hier finden wahrscheinlich Umverteilungsvorgänge statt, sodaß an Partikel gebundenes Blei die Sprungschicht in Richtung Tiefe passieren kann, während gelöstes Blei mit einer nichtbekannten Aufenthaltswahrscheinlichkeit in der Sprungschicht zurückbleibt .

Untersuchungen, die während der "METEOR" - Reise Nr. 6 von SCHMIDT (1988) im Seegebiet um die Kapverdischen Inseln durchgeführt wurden, enthalten vergleichbare Meßwerte, die Proben wurden über einen Bereich bis 500 m Tiefe mit Hilfe eines "MERCOS"-Schöpfers genommen (eigene Beobachtungen), Blei wurde inversvoltametrisch mit einer rotierenden Quecksilberfilmelektrode bestimmt (Abb.: 72)

5.2.5. Bleikonzentrationen in atlantischen Pontelliden aus der Oberfläche

Die Bleikonzentrationen der Pontelliden (Abb.: 73) im Südatlantik zwischen 21°S bis 0° liegen um $0,6 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,003 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$). Maximale Werte werden bei 12°S mit $2 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,01 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) und bei 9°S mit $8 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ gemessen, wobei letzterer Wert auf eine Probenkontamination zurückgeführt wird. Fluktuationen zwischen $0,5 - 2 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,002 - 0,01 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) wurden zwischen 0° - 15°N gemessen.

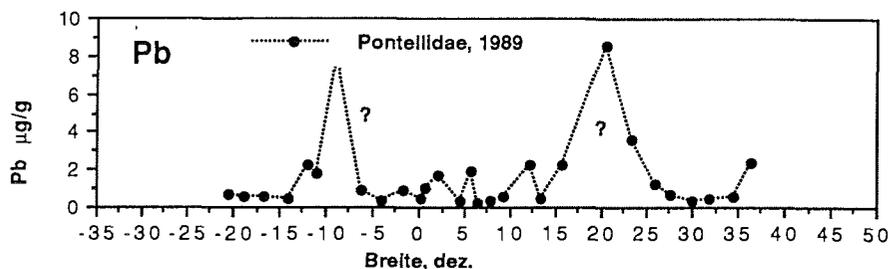


Abb.: 73 Bleikonzentrationen in atlantischen Pontelliden in $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ Trockengewicht

Das Maximum von $9 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ bei 20°N wird ebenfalls auf eine Probenkontamination zurückgeführt, somit erreichen die Bleikonzentrationen in den Organismen zwischen 15° - 25°N durchschnittlich $3 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,015 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$). Im weiteren Verlauf Richtung Norden nehmen die Konzentrationen wieder auf Werte um $0,6 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,003 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) ab und erreichen bei 37°N Konzentrationen um $2 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,01 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Wird eine durchschnittliche Bleikonzentration von $1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,005 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) in den Pontelliden angenommen, beträgt der Anreicherungsfaktor im Südatlantik gegenüber den Konzentrationen im Wasser $0,05 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1} \cdot 1 \times 10^5$. Mit den erhöhten Wasserkonzentrationen des Nordatlantiks wurde ein Faktor von $2,5 \times 10^4$ berechnet.

Die Korrelationen zwischen den Bleikonzentrationen im Wasser und in Tieren deuten eine leicht negative Beziehung an, sie ist mit $r = 0,1$ nicht signifikant und läßt keine Aussage zu (Abb.: 74). Die maximale Verteilungsdichte der Bleikonzentrationen in den Tieren liegt zwischen $0,5 - 2 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

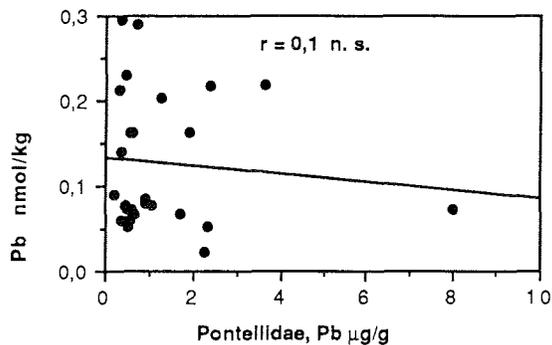


Abb.: 74 Korrelation zwischen den Bleikonzentrationen in atlantischem Oberflächenwasser und Pontelliden

5.2.5.1. Bleikonzentrationen in Copepoden an ausgewählten Tiefenstationen

In Abb.: 75 sind die Bleikonzentrationen in den Copepoden an den einzelnen Tiefenstationen über die Multinetzintervalle dargestellt.

In dem Tiefenbereich 200 - 900 m liegen die Konzentrationen auf allen Tiefenstationen zwischen $0,2 - 0,5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,001 - 0,0024 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$), Ausnahmen sind im Angola-Becken (200 m - 500 m) und im Iberischen Becken (500 - 700 m) zu verzeichnen. Im Guinea- und Sierra-Leone-Becken wurden in den oberen 200 m Bleikonzentrationen in zwei Proben zwischen $1,5 - 2 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,007-0,01 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) gemessen. Diese Konzentrationen sind vergleichbar mit den Werten, die in den Pontelliden aus der obersten Schicht der Wassersäule gemessen wurden.

Die Korrelationen zwischen den Bleikonzentrationen in Copepoden und im Wasser über alle Tiefenprofile sind nicht signifikant, somit sollen diese Daten der Vollständigkeit halber als "Baseline Studien" angegeben werden, denn sie lassen keine Interpretation zu.

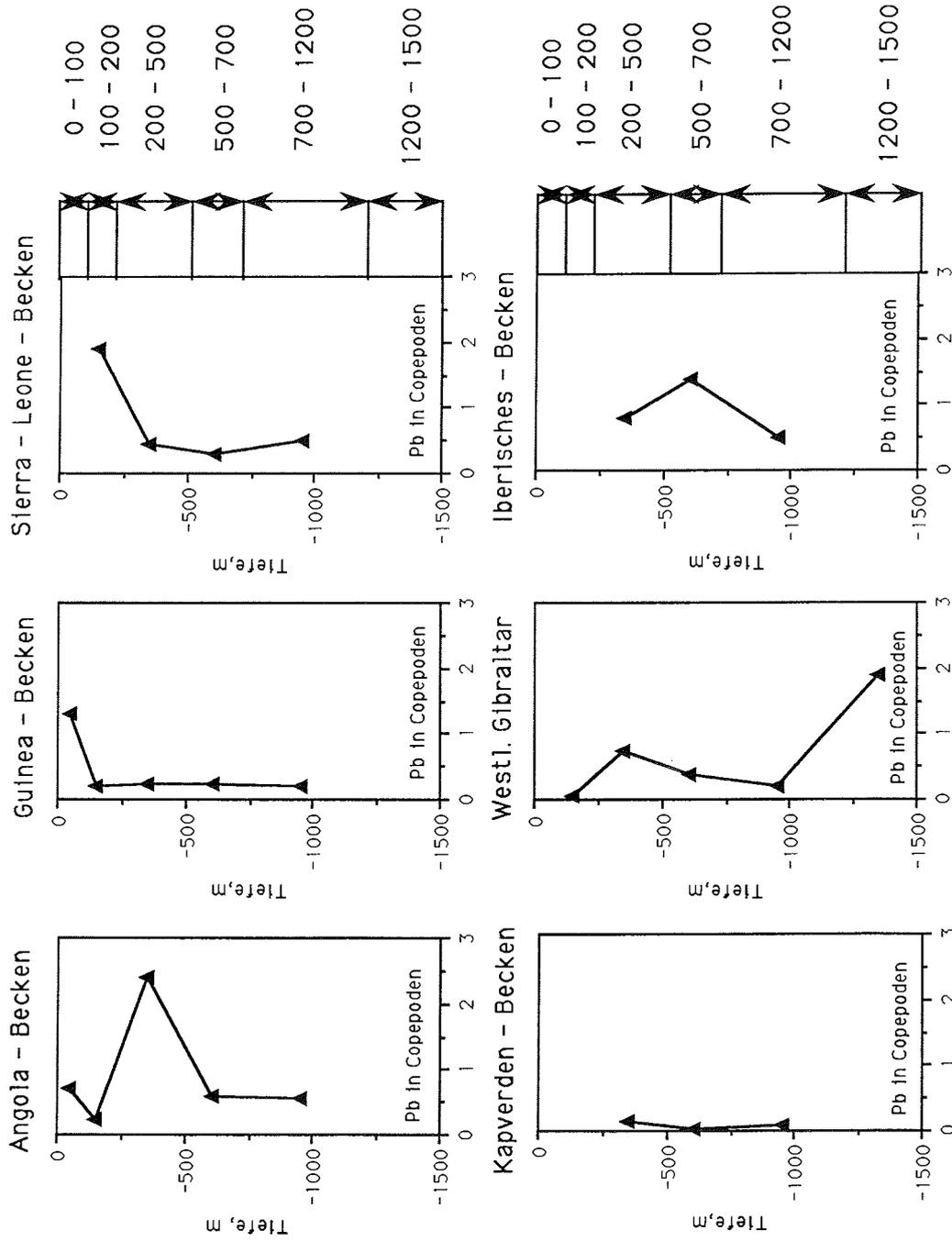


Abb.: 75 Tiefenprofile an den Stationen im Atlantik 1990, Pb in Tieren in $\mu\text{g/g}$
 Die Skaleneinteilung am rechten Rand entspricht den Tiefenintervallen,
 die mit dem Multinetz durchfischt wurden

5.3. KUPFER

5.3.1. Kupferverteilung im Oberflächenwasser der Arktis im Vergleich der Jahre 1989 und 1990

Die Kupferkonzentrationen im Oberflächenwasser der Arktis (Abb.: 76) zeigen im Bereich der **Framstraße** in beiden Jahren eine fast simultane Verteilung. Auf dem Schelf (6° - 12° W) liegen die Konzentrationen zwischen 3 - 5 $\text{nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$. Im Bereich der Polarfront gehen die Konzentrationen auf $1,5$ - 2 $\text{nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ zurück und auch im weiteren Verlauf Richtung Osten werden die Konzentrationen beibehalten. **1990** wird ein Maximum von 3 $\text{nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ bei 0° angetroffen, eine Probenkontamination kann nicht ausgeschlossen werden.

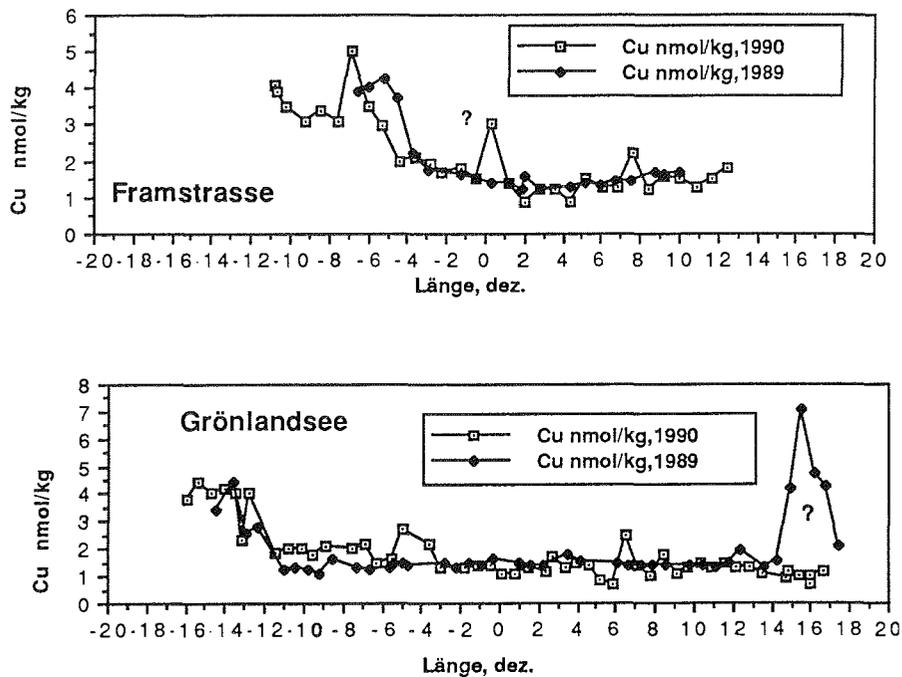


Abb.: 76 Kupferkonzentrationen im Oberflächenwasser der Arktis

Auf dem **Grönlandseeschnitt** 1989 und 1990 sind im westlichen Bereich auf dem Schelf ähnlich hohe Konzentrationen (ca. 4 $\text{nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) gemessen worden wie im Bereich der Framstraße. An der Polarfront gehen diese Konzentrationen ebenfalls auf $1,5$ - 2 $\text{nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ zurück und ändern sich im weiteren Verlauf nach Osten nicht, mit Ausnahme eines ausgeprägten Maximums zwischen 15° - 17° E.

Hier auf dem Bäreninselschelf wurden 1989 Konzentrationen von bis zu $7 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Kupfer gemessen, während die Konzentrationen 1990 um ca. $1,5 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ liegen. Wenn eine Probenkontamination ausgeschlossen wird, sind diese erhöhten Werte vielleicht zum einen auf vertikale Austauschprozesse auf dem Schelf zurückzuführen, zum anderen auf Einträge durch den ESC.

Kupfer gehört zu den Elementen des Typs C2, d. h. die Rücklösung des Kupfers aus den partikulären Anteilen findet erst im Sediment am Meeresboden statt, und erst dann erfolgt eine Kupferanreicherung des Tiefenwassers. Auf grund der hydrographischen Verhältnisse in diesem atlantischen Wasserkörper findet hier eine ausgiebige vertikale Konvektion statt, sodaß dieses zeitweise durchaus zu erhöhten Kupferkonzentrationen in der Oberfläche führen könnte.

Auf dem Ost-Grönlandschelf wurden ebenfalls erhöhte Kupferkonzentrationen angetroffen, und auch hier könnte die o. g. Hypothese zutreffen.

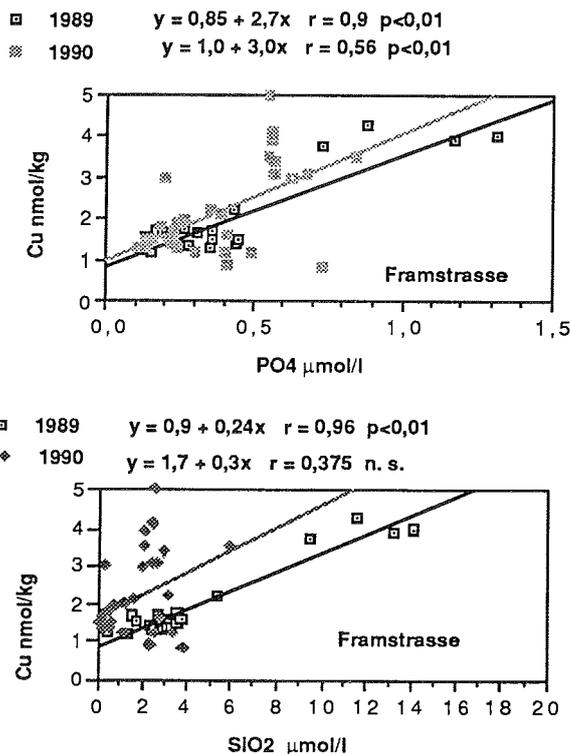


Abb.: 77 Korrelation zwischen Kupfer und den Nährstoffen Phosphat und Silikat für den Bereich der Framstraße

Beziehungen zwischen Kupfer und den Nährstoffen (Abb.: 77) bestehen für den Bereich der Framstraße zu Phosphat, sie sind in beiden Jahren signifikant auf dem

99 % Niveau. Silikat zeigt nur für das Jahr 1989 eine Korrelation mit $r = 0,96$ signifikant auf dem 99 % Niveau. Mit Nitrat bestehen keine linearen Abhängigkeiten.

Für den Bereich der Grönlandsee bestehen nur Abhängigkeiten zu Silikat mit $r = 0,73$; $p < 0,01$ im Jahre 1990 und $r = 0,41$; $p < 0,01$ im Jahre 1989.

Die auffälligen Korrelationen zwischen Kupfer und Silikat sind vielleicht darauf zurückzuführen, daß beide Komponenten als terrigenes Material mit dem Süßwasser aus den Landabflüssen eingetragen werden.

5.3.2. Kupferkonzentrationen in Schnee- und Schmelzwasserproben der Arktis

Mit fast $3 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Kupfer sind die Konzentrationen in unfiltriertem Schnee um ca. 34% höher als in filtriertem Schnee (Abb.: 78).

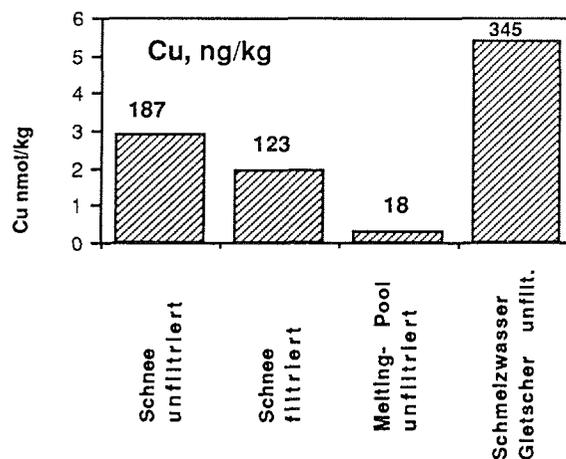


Abb.: 78 Kupfer in Schnee- und Schmelzwasserproben der Arktis

Beide Konzentrationen sind etwas niedriger als die Konzentrationen im Meerwasser in diesem Gebiet. Auffällig sind die sehr geringen Kupferkonzentrationen von ca. $0,3 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ in den Schmelzwasserbereichen des Meereises und die sehr hohen Konzentrationen von bis zu $5 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ im Schmelzwasser des Gletschereisbergs.

Während das Schmelzwasser des Gletschereisbergs durchaus als Kupferquelle für den umgebenden Wasserkörper angesehen werden kann, trifft dieses für den Schnee des Meereises nicht unbedingt zu. Die Differenz zwischen filtriertem und nicht filtriertem Schnee lassen auf einen geringen terrigenen Kupfereintrag über die Atmosphäre schließen, während für die niedrigen Konzentrationen in den Schmelzwasserbereichen keine Erklärung gegeben werden kann.

5.3.3. Der Einfluß der Chlorophyll a-Konzentrationen auf die Kupferverteilung im Oberflächenwasser

Auch Kupfer gehört zu den Elementen, deren Verteilung durch biologische Aktivitäten beeinflusst wird. Die Beziehungen zwischen den Kupferkonzentrationen im Wasser und den Chlorophyll a- Konzentrationen (Abb.: 79) sind 1989 auf beiden Schnitten signifikant auf dem 95% Niveau und negativ korreliert.

1990 bestehen keine Zusammenhänge zwischen diesen beiden Parametern, eine negative Steigung deutet sich an.

Daraus läßt sich ähnlich wie bei Cadmium schließen, daß gelöstes Kupfer während der Primärproduktion durch das Phytoplankton aus dem Wasserkörper eliminiert wird. Nach Abschluß und Wegfraß der Frühjahrsblüte, wie es für das Jahr 1990 belegt wurde, bestehen keine Korrelationen mehr.

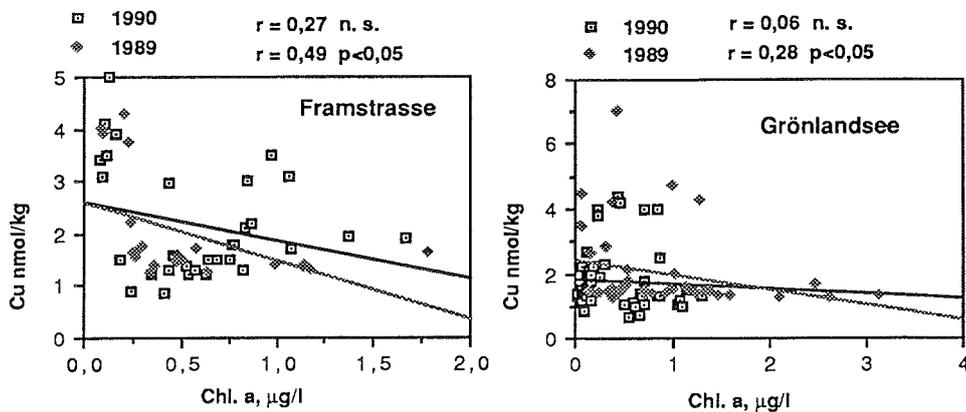


Abb.: 79 Korrelationen zwischen den Kupferkonzentrationen im Wasser und den Chlorophyll a- Konzentrationen in der Arktis.

5.3.4. Kupferkonzentrationen in arktischen Copepoden

In der **Framstraße** wurden **1989** Kupferkonzentrationen in *C. hyperboreus* zwischen $4 - 6 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,06 - 0,09 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) gemessen, **1990** sind die Konzentrationen ähnlich, sie steigen allerdings bei 5°W auf ca. $8 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,12 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) an (Abb.: 80).

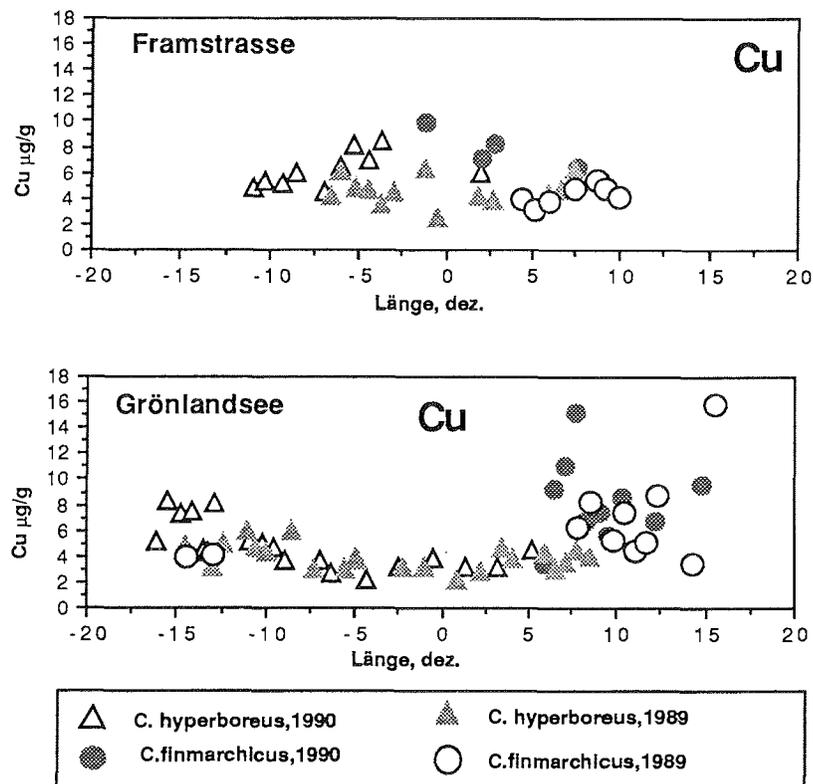


Abb.: 80 Kupfer in arktischen Copepoden in $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ Trockengewicht.

C. finmarchicus erreicht **1990** Konzentrationen von bis zu $10 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,15 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) im Mischwasserbereich der Framstraße und im atlantischen Teil gehen die Konzentrationen in beiden Jahren auf Werte zwischen $4 - 6 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,06 - 0,09 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) zurück.

Im westlichen Bereich des **Grönlandseeschnittes** erreichen die Kupferkonzentrationen **1989** bei *C. hyperboreus* ebenfalls $4 - 6 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,06 - 0,09 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) und **1990** erreichen sie Werte um $8 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,12 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$). Im Mischwasserbereich des Grönlandseewirbels gehen die Konzentrationen auf $2 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,03 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) zurück.

Im östlichen Teil des Schnittes konzentriert sich *C. finmarchicus* mit Kupferwerten zwischen 4 - 16 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (0,06 - 0,25 $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$). Weder saisonale noch regionale Tendenzen sind zu erkennen.

Die zusammenfassende Interpretation dieser Daten ist schwierig, da Kupfer für Crustaceen essentiell ist. Es wird als Zentralatom im Hämocyanin (Hämolymphe) eingebaut und durch biochemische Mechanismen reguliert (RAINBOW 1988; RIDOUT et al. 1989). Auffallend ist, daß die Konzentrationen im Mischwasserbereich der **Framstraße 1990** erhöht sind, während sie im Mischwasserbereich der **Grönlandsee** am niedrigsten sind. Im folgenden soll deshalb überprüft werden, ob Korrelationen zwischen den Kupferkonzentrationen im Wasser und in den Tieren bestehen, und ob die Anreicherungsfaktoren zu einer Interpretation beitragen.

5.3.4.1. Der Einfluß der Kupferkonzentrationen im Wasser auf die Kupferkonzentrationen in arktischen Copepoden

In der **Framstraße 1989** deutet sich eine lineare Beziehung zwischen den Kupferkonzentrationen im Wasser und in *C. finmarchicus* an, sie ist nicht signifikant. Es wurde ein durchschnittlicher Anreicherungsfaktor von 5×10^4 berechnet. **1990** bestehen keine linearen Beziehungen, der durchschnittliche Anreicherungsfaktor beträgt $7,5 \times 10^4$ und ist damit um den Faktor 0,5 höher als im Vorjahr (Abb.: 81).

In der **Grönlandsee** wurde **1989** ein Anreicherungsfaktor von $4,5 \times 10^4$ in *C. finmarchicus* errechnet, die Beziehung zwischen den Kupferkonzentrationen im Wasser und in den Tieren ist signifikant auf dem 99 % Niveau. **1990** ist der Anreicherungsfaktor mit ca. $1,3 \times 10^5$ um den Faktor 3 höher als im Vorjahr, die Beziehung ist nicht linear.

Für *C. hyperboreus* errechnen sich in den 4 Einheiten folgende Anreicherungsfaktoren: in der **Framstraße 1989** mit $3,6 \times 10^4$ und **1990** mit $2,6 \times 10^4$. Diese Beziehung ist negativ korreliert, außerdem ist der Anreicherungsfaktor **1990** niedriger als **1989**.

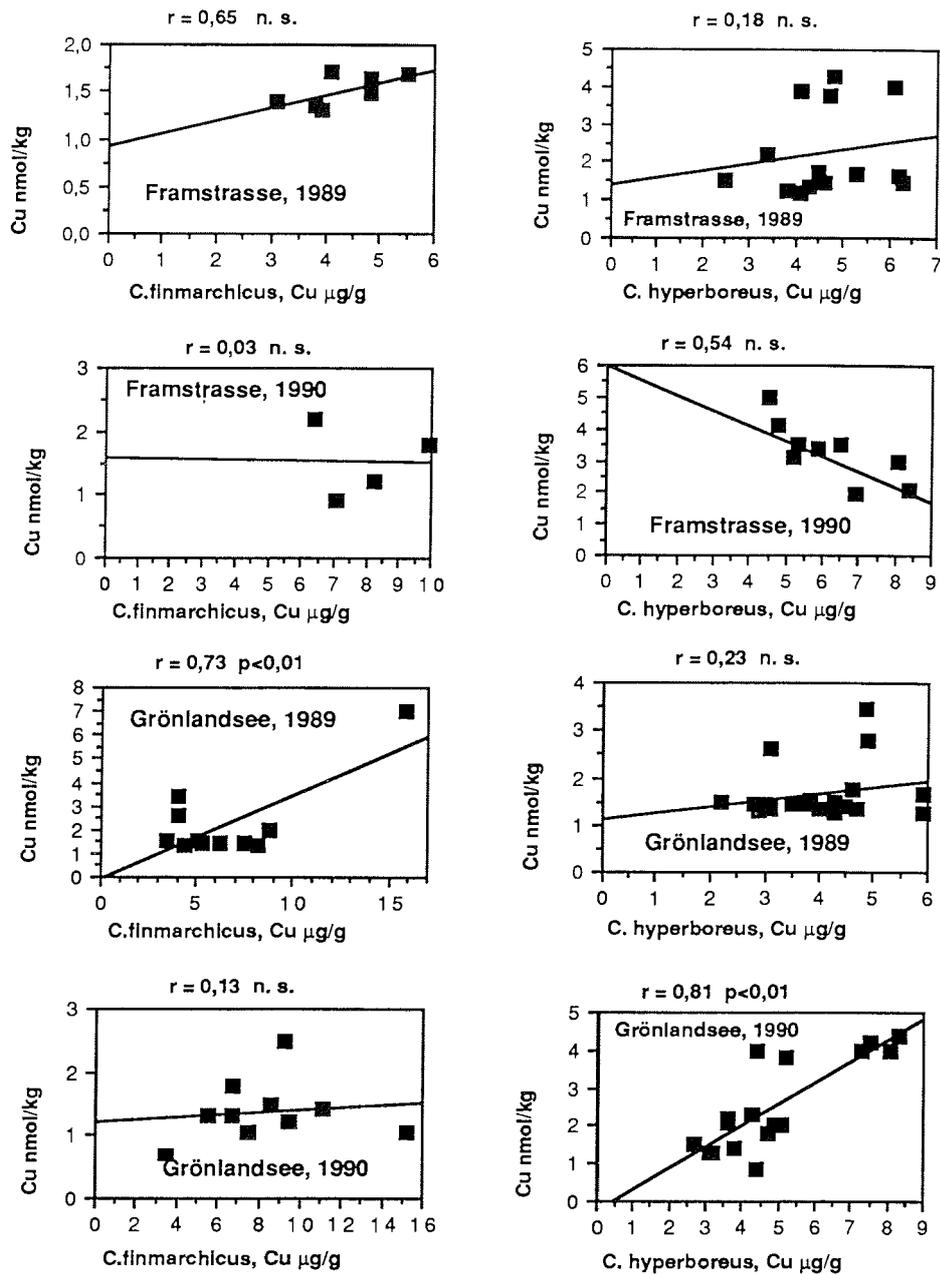


Abb.: 81 Korrelationen zwischen den Kupferkonzentrationen in Copepoden und Wasser der Framstraße und Grönlandsee.

In der Grönlandsee ist der Anreicherungsfaktor 1990 mit $3,8 \times 10^4$ ebenfalls niedriger als 1989 mit $4,4 \times 10^4$, allerdings sind hier die Werte positiv korreliert und signifikant auf dem 99 % Niveau.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die berechneten Anreicherungsfaktoren zwischen den Kupferkonzentrationen im Wasser und *C. finmarchicus* tendenziell höher sind als für *C. hyperboreus*. Außerdem zeigen sie eine geringere Kupferakkumulation im Vergleich der beiden Jahrgänge auf, dieses trifft auf *C. hyperboreus* nicht zu.

Im folgenden soll am Beispiel *C. finmarchicus* davon ausgegangen werden, daß Kupfer wie Cadmium an den biologischen Kreisläufen teilnimmt, der gelöste Anteil durch das Phytoplankton aus dem Wasserkörper eliminiert wird und von den Tieren primär über die Nahrung aufgenommen wird.

Es wurden Korrelationen zwischen den Kupferkonzentrationen in *C. finmarchicus* und dem Chlorophyll a durchgeführt (Abb.: 82).

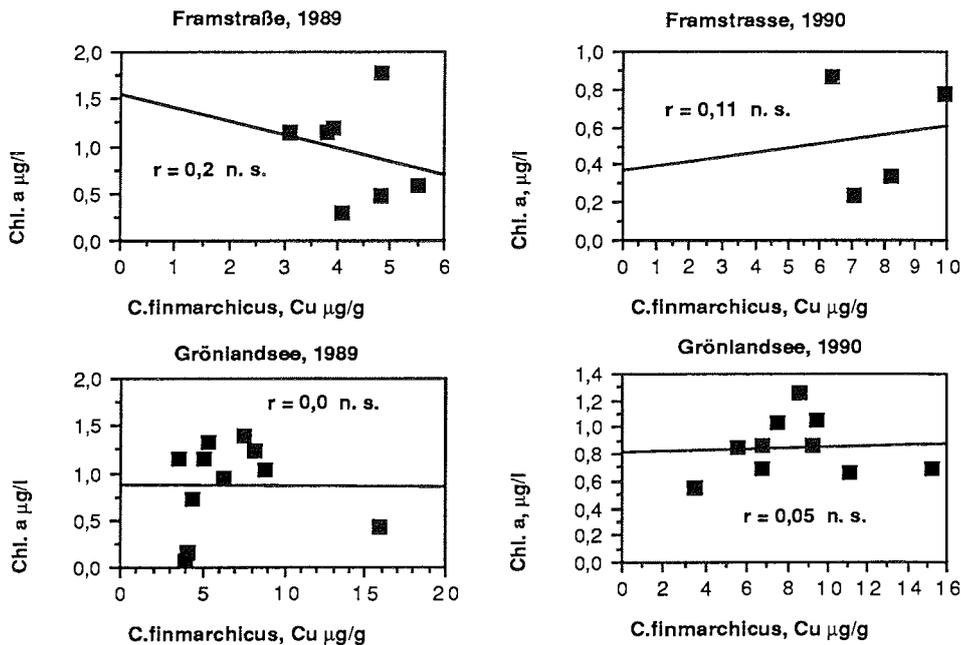


Abb.: 82 Korrelationen zwischen Chlorophyll a im Wasser und den Kupferkonzentrationen in *Calanus finmarchicus*.

Die Beziehungen zwischen diesen beiden Parametern in den 4 Darstellungen sind nicht signifikant und zeigen im Gegensatz zum Cadmium auch keine Tendenzen einer Kupferakkumulation aus der Nahrung, obwohl aus den vorrangigen Daten angenommen wurde, daß Kupfer durch das Phytoplankton aus dem Wasser eliminiert wird. Es muß deshalb angenommen werden, daß Kupfer als essentielles Metall reguliert wird und Überschüsse ausgeschieden werden.

5.3.5. Kupferverteilung im Oberflächenwasser des Ostatlantiks

Die Kupferkonzentrationen (Abb.: 83) im Oberflächenwasser des Ostatlantiks sind in den Jahren 1989 und 1990 vergleichbar. An der südlichsten Station (30°S) vor der Westafrikanischen Küste wurden leicht erhöhte Werte um $1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (1989) und $2,5 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (1990) gemessen. Dieser Konzentrationsabfall von der Küste zum offenen Ozean hin, ist möglicherweise auf fluviale Zufuhr oder den küstennahen Auftrieb zurückzuführen. Im weiteren Verlauf bis 10°S gehen die Konzentrationen auf Werte um $0,7 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ zurück.

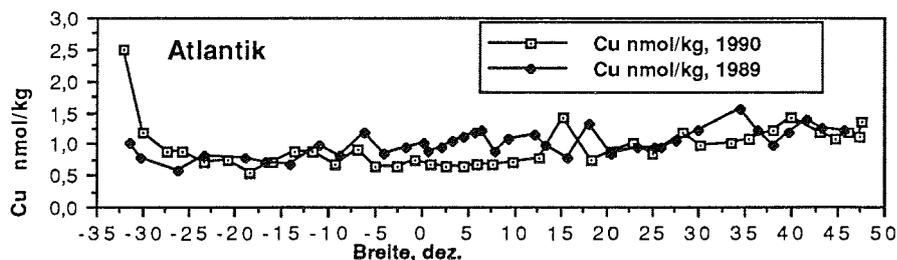


Abb.: 83 Kupferverteilung in der Oberfläche des Ostatlantiks im April 1989 und Mai 1990.

Während 1990 diese Konzentration bis 15°N konstant bleibt, wurde 1989 ein Anstieg im Bereich der ITCZ verzeichnet, mit Kupferkonzentrationen bis zu $1,2 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$. Zwischen 15°N - 47°N fluktuieren die Werte zwischen $1,2 - 1,5 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ in beiden Jahren. 1990 fällt ein kleines Maximum bei 15°N auf ($1,5 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$), welches mit den Nährstoff- und Cadmiummaxima zusammenfällt und 1989 wurden bei 35°N maximale Konzentrationen von $1,5 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ gemessen. Signifikante Korrelationen zu den Nährstoffen bestehen nicht.

5.3.5.1. Vertikale Kupferverteilung im Wasser an ausgewählten Tiefenstationen

In der Deckschicht liegen die Kupferkonzentrationen an allen Stationen zwischen $0,7 - 1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, bis 3000 m Tiefe steigen sie mit Ausnahme des Kap-Beckens ($3 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) auf Werte um $1,8 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ an (Abb.: 85).

An den tieferen Stationen, Angola-Becken, Westlich Gibraltar und Iberisches-Becken nehmen die Konzentrationen bis 4700 m weiterhin auf $3 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ zu, nur im Sierra-Leone-Becken wurden auch bei 4800 m Kupferkonzentrationen um $2 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ gemessen.

Die Korrelation zwischen Kupfer und den Nährstoffen über alle Tiefenprofile ergab eine lineare Beziehung zu Silikat mit $r = 0,74$ signifikant auf dem 99% Niveau (Abb.: 84). Zu Phosphat und Nitrat bestehen keine linearen Verhältnisse.

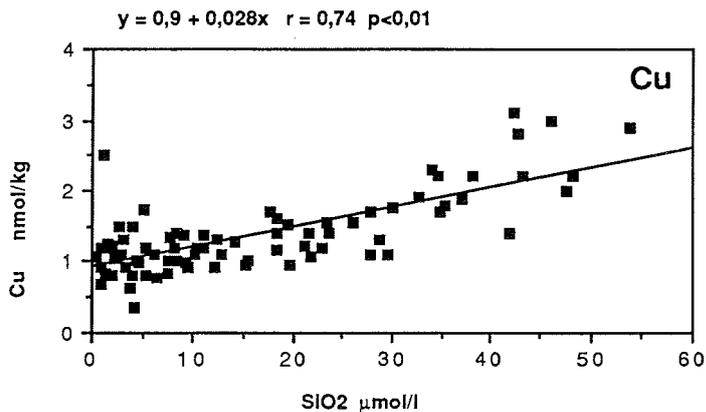


Abb.: 84 Korrelationen zwischen den Kupfer- und Silikatkonzentrationen über die sieben Tiefenprofile 1990 im Ostatlantik.

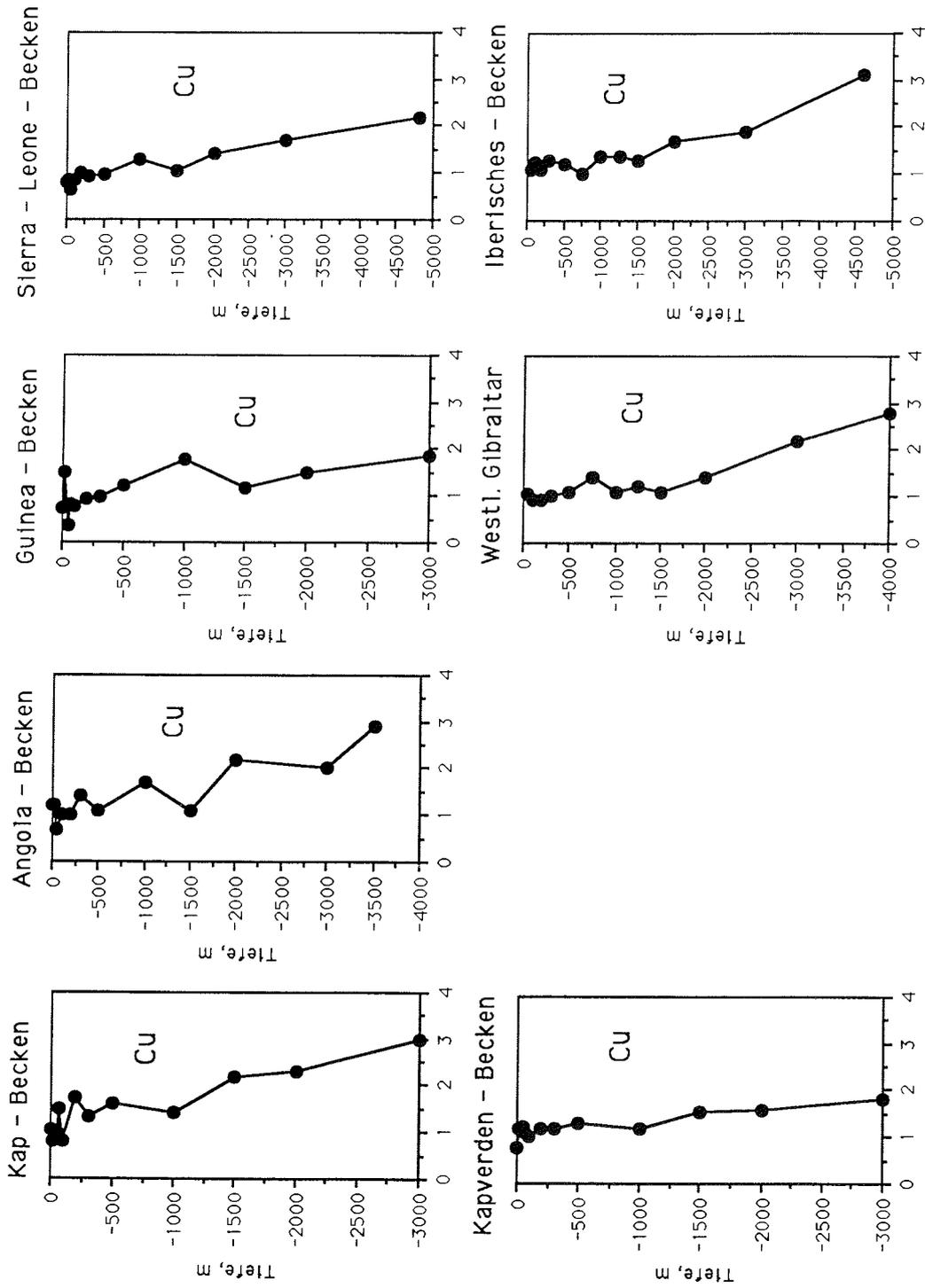


Abb.: 85 Tiefenprofile an den Stationen im Atlantik 1990, Kupfer in nmol/kg

5.3.6. Kupferkonzentrationen in atlantischen Pontelliden aus der Oberfläche

Die Kupferkonzentrationen in Pontelliden (Abb.: 86) zwischen 21°S bis 16°N fluktuieren um einen Wert von $5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,08 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$).

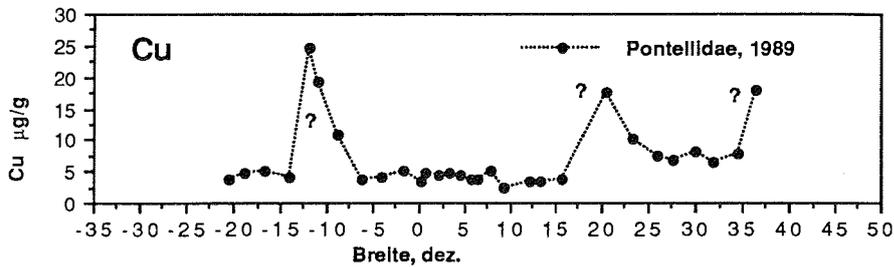


Abb.: 86 Kupferkonzentrationen in atlantischen Pontelliden in $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

Auffällig ist ein Maximum bei 12°S mit bis zu $25 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,4 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) Kupfer. Zwischen 15°N - 37°N liegen die durchschnittlichen Kupferkonzentrationen in den Pontelliden bei $8 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,13 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) mit maximalen Werten bei 20°N und 37°N von ca. $18 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,28 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$). Für den Südatlantik errechnet sich ein Anreicherungsfaktor in den Tieren gegenüber Wasser aus den Durchschnittswerten von $1,1 \times 10^5$ und für den Nordatlantik von $1,0 \times 10^5$. Zwischen den Kupferkonzentrationen im Wasser und in den Tieren bestehen keine Korrelationen (Abb.: 87).

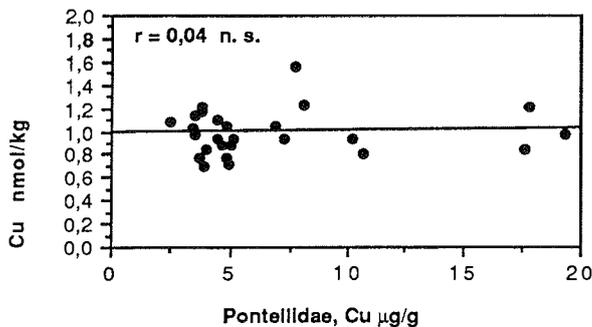


Abb.: 87 Korrelationen zwischen den Kupferkonzentrationen im Wasser und in Pontelliden.

Die maximale Verteilungsdichte der Kupferkonzentrationen in den Organismen liegt zwischen 3 - 5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

5.3.6.1. Kupferkonzentrationen in Copepoden an ausgewählten Tiefenstationen

Die Kupferkonzentrationen in den Organismen an den einzelnen Tiefenstationen sind in Abb.: 88 dargestellt.

Im Angola - Becken fluktuieren die Werte über den Tiefenbereich zwischen 4 - 12 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, während sie im Guinea-Becken durchschnittliche Konzentrationen von 6 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ Kupfer aufweisen. Im Sierra-Leone-Becken erreichen die Kupferkonzentrationen in der 200 - 500 m Probe sogar 20 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Es ist schwierig dieses Ergebnis im Rahmen biochemischer Zusammenhänge zu interpretieren bzw. es von Kontaminationen abzuleiten.

Im Kapverden-Becken dagegen sind die Konzentrationen mit 1 - 2 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ in den Organismen um den Faktor 3 - 10 niedriger als an den anderen Stationen.

An der Station Westlich Gibraltar wurden in der Oberflächenprobe ca. 28 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ Kupfer gemessen. Im Tiefenbereich zwischen 200 - 700 m liegen die Konzentrationen um 9 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ und in den beiden tiefsten Proben werden bis zu 24 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ erreicht. Die Proben mit den hohen Konzentrationen wurden im Wasserkörper des EASIW gefangen, dieser Wasserkörper umschließt eine Zunge des MW. Hier wurden Copepoden, möglicherweise mediterrane Arten, mit Faktor 3 niedrigeren Konzentrationen gefangen.

Im Iberischen Becken (Tiefenbereich bis 700 m) liegen die Kupferkonzentrationen mit 8 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ in den Tieren ähnlich hoch wie in den Copepoden des MW. Bei 1000 m Tiefe wurden Konzentrationen von 12 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ gemessen.

Da Kupfer für Copepoden essentiell ist, muß angenommen werden, daß die Kupferkonzentrationen in den verschiedenen Spezies, je nach Biologie und Lebensbedingungen, voneinander abweichen.

In dem vertikalen Probenmaterial konnten keine Tendenzen zwischen den einzelnen Tiefenstationen festgestellt werden, denn eine Korrelation zwischen den Kupferkonzentrationen im Wasser und in den Organismen über alle Tiefenstationen ergab keine signifikanten Hinweise.

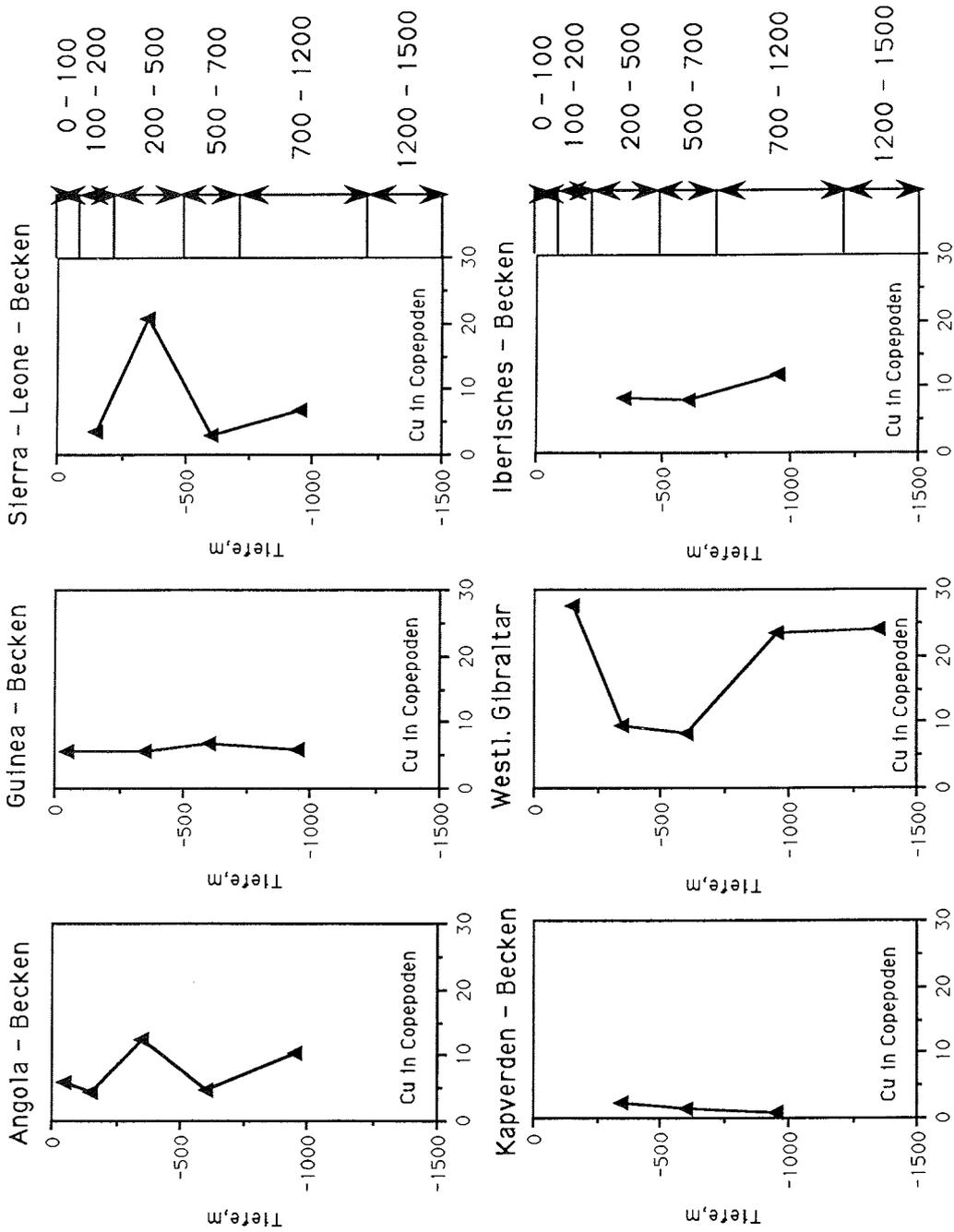


Abb.: 88 Tiefenprofile an den Stationen im Atlantik 1990. Cu in Tieren in µg/g
 Die Skaleneinteilung am rechten Rand entspricht den Tiefenintervallen,
 die mit dem Multinetz durchfischt wurden.

5.4. ZINK

5.4.1. Zinkverteilung im Oberflächenwasser der Arktis im Vergleich der Jahre 1989 und 1990

Zink ist ein "kontaminationsfreudiges" Metall, mit den folgenden Meßwerten sollte einerseits der Versuch unternommen werden Baseline-Daten für Meerwasser darzustellen, andererseits sollten Rückschlüsse auf Probenkontaminationen gezogen werden (Abb.: 89).

In der **Framstraße 1989** fluktuieren die Meßwerte für Zink zwischen ca. 1 - 2 nmol·kg⁻¹. Maximale Konzentrationen wurden bei 5°W (4 nmol·kg⁻¹), 3°E (3 nmol·kg⁻¹), 5°E (5,5 nmol·kg⁻¹) und 9°E bis zu 6 nmol·kg⁻¹ angetroffen. Da diese Maxima in keinem Zusammenhang mit anderen Parametern stehen, wird eine Probenkontamination angenommen.

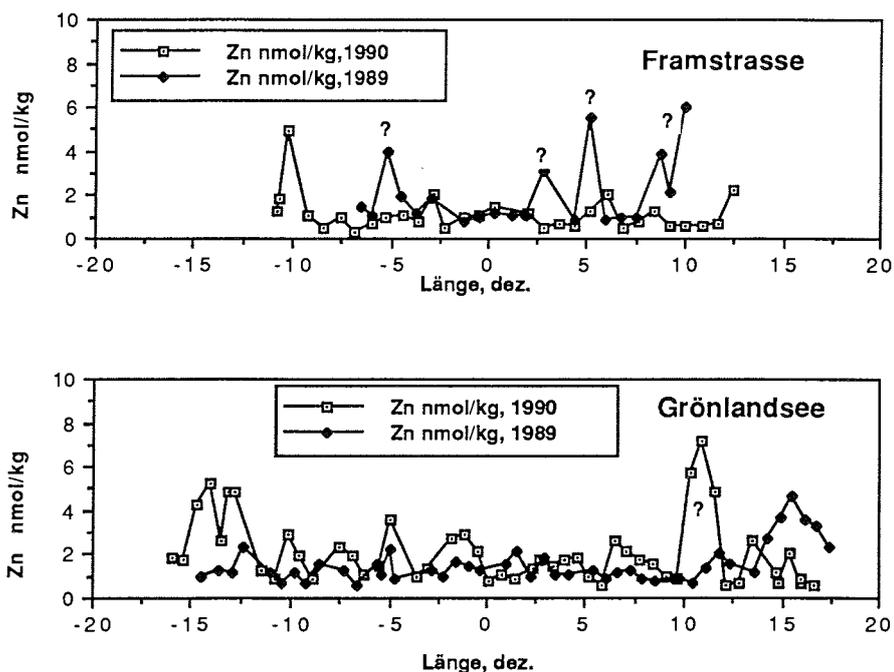


Abb.: 89 Zinkkonzentrationen im Oberflächenwasser der Arktis in $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ im Juni 1989 und Juli 1990.

Auch **1990** wurden Zinkkonzentrationen zwischen $0,6 - 2 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ gemessen, damit wurden die niedrigen Werte vom Vorjahr bestätigt, eine Ausnahme bei 10°W mit ca. $5 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Zink könnte ebenfalls als Kontamination interpretiert werden. Änderungen in der regionalen und saisonalen Zinkverteilung in der Grönlandsee sind nicht bekannt.

Auf dem **Grönlandseeschnitt** zwischen $15^\circ\text{W} - 11^\circ\text{E}$ liegen die Meßwerte **1989** bei $1 - 2 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, östlich 11°E ist ein allmählicher Anstieg der Konzentrationen bis $5 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ bei 15°E zu verzeichnen mit einem anschließenden Rückgang der Werte auf ca. $3 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

1990 wurden Zinkkonzentrationen auf dem Ost - Grönlandschelf mit maximalen Werten von bis zu $5 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ gemessen. Im Bereich der Polarfront gehen sie auf $1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ zurück, im weiteren Verlauf bis ca. 10°E fluktuieren sie zwischen $1 - 3 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ und bei 12°E werden maximale Konzentrationen von bis zu $8 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ erreicht. Auch hier sind Probenkontaminationen nicht auszuschließen.

5.4.2. Zinkkonzentrationen in Schnee- und Schmelzwasserproben der Arktis

Die Zinkkonzentrationen in den Schnee- und Schmelzwasserproben sind in Abb.: 90 dargestellt.

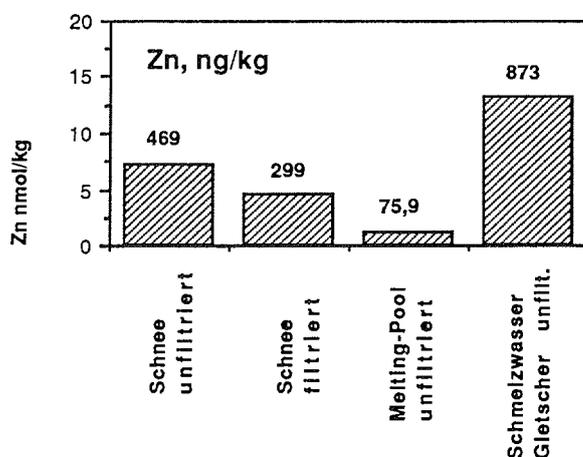


Abb.: 90 Zink in Schnee- und Schmelzwasserproben der Arktis

In unfiltriertem Schnee betragen sie ca. $7,5 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, in filtriertem Schnee sind sie mit $5 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ ca. 33% niedriger. In den Schmelzwasserbereichen des Meereises

gehen die Konzentrationen sogar auf ca. $1,2 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ zurück, und im Schmelzwasser des Gletschereisberges sind sie mit $13 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ besonders hoch. Aufgrund dieser Ergebnisse käme das Eis durchaus als Zinkquelle für den umgebenden Wasserkörper in Betracht, und auch die erhöhten Zinkkonzentrationen 1990 im Oberflächenwasser des Ostgrönländischen Schelfes ließen sich dadurch erklären.

5.4.3. Zinkkonzentrationen in arktischen Copepoden

Im westlichen **Framstraßenbereich** wurden 1990 Zinkkonzentrationen in *C. hyperboreus* zwischen $50 - 100 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,8 - 1,6 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) gemessen (Abb.: 91).

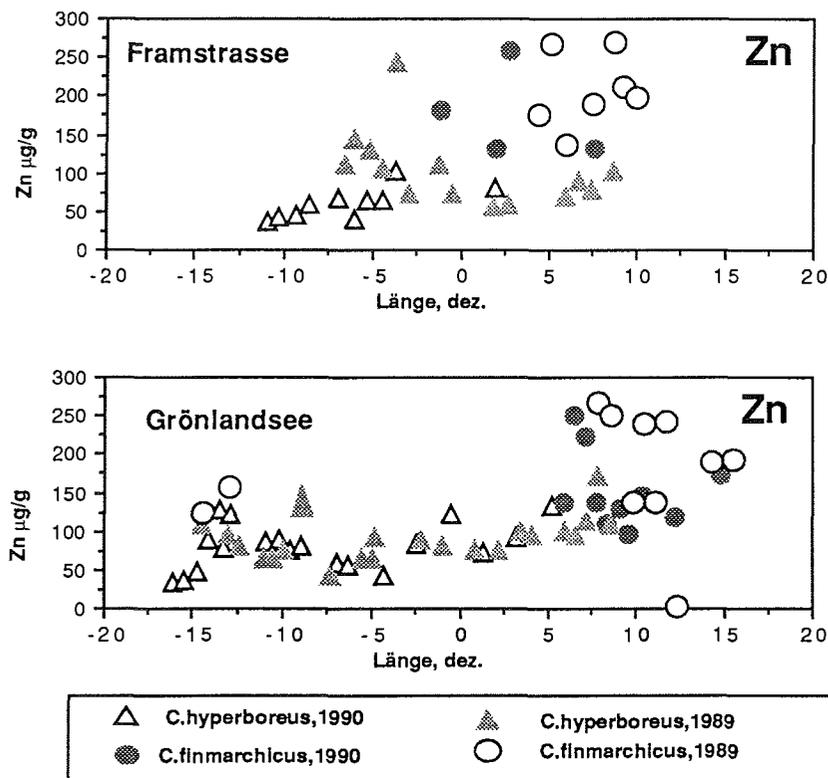


Abb.: 91 Zinkkonzentrationen in arktischen Copepoden in $\mu\text{g}/\text{g}$

1989 lagen sie im Bereich um $130 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($2 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$), und im weiteren Verlauf Richtung Osten nehmen sie wieder ab und erreichen durchschnittliche Konzentrationen von $75 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($1,2 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$).

In *C. finmarchicus* wurden auf diesem Schnitt Werte zwischen 150 - 270 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (2,3 - 4 $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) Zink gemessen, sie liegen damit durchschnittlich doppelt so hoch wie bei *C. hyperboreus*. Bleiben Jahreszeiten und Tierart unberücksichtigt, zeigt die gesamte Graphik einen auffälligen Trend mit niedrigen Konzentrationen im Westen und zunehmenden Konzentrationen in Richtung Osten.

Auf dem **Grönlandseeschnitt** sind die Zinkkonzentrationen von *C. hyperboreus* im Bereich der Polarfront bei 13°W 1989 und 1990 mit Konzentrationen um 120 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (1,8 $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) erhöht. Westlich der Polarfront erreichen sie Werte unter 50 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (0,8 $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) und im weiteren Verlauf Richtung Osten liegen sie zwischen 50 - 100 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (0,8 - 1,6 $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$). Sie sind vergleichbar mit den Konzentrationen aus der Framstraße.

Für *C. finmarchicus* im östlichen Bereich des Schnittes sind die Zinkkonzentrationen mit 120 - 270 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (1,8 - 4 $\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) um den Faktor 2 - 3 höher und vergleichbar mit den Konzentrationen der Tiere aus der Framstraße.

5.4.3.1. Der Einfluß der Zinkkonzentrationen im Wasser auf die Zinkkonzentrationen in arktischen Copepoden.

C. finmarchicus

In der **Framstraße** 1989 besteht eine lineare Beziehung mit positiver Steigung zwischen den Zinkkonzentrationen in *C. finmarchicus* und im Wasser. Bei erhöhten Konzentrationen im Wasser werden auch erhöhte Konzentrationen in den Tieren angetroffen, der durchschnittliche Anreicherungsfaktor gegenüber Wasser ist $1,1 \times 10^6$. 1990 ist die Beziehung in der Framstraße negativ korreliert, allerdings nicht signifikant. Je niedriger die Zinkkonzentrationen im Wasser sind um so höher sind sie in den Tieren (Abb.: 92).

Der Anreicherungsfaktor in den Tieren ist mit 4×10^6 um den Faktor 4 höher als im Vorjahr. Während die durchschnittlichen Zinkkonzentrationen in den Tieren ähnlich sind, ergibt sich der höhere Anreicherungsfaktor 1990 aus den niedrigeren Konzentrationen im Wasser. Hierfür gäbe es zwei Interpretationsmöglichkeiten:

1. Zink gehört wie Kupfer zu den essentiellen Metallen, es wird während der Diatomeenblüte aus dem Wasser eliminiert und begünstigt das Wachstum. Copepoden ernähren sich jedoch nicht primär von Diatomeen, deshalb sind die Konzentrationen in den Tieren der beiden Jahrgänge vergleichbar, während die Konzentrationen im Wasser unterschiedlich sind.

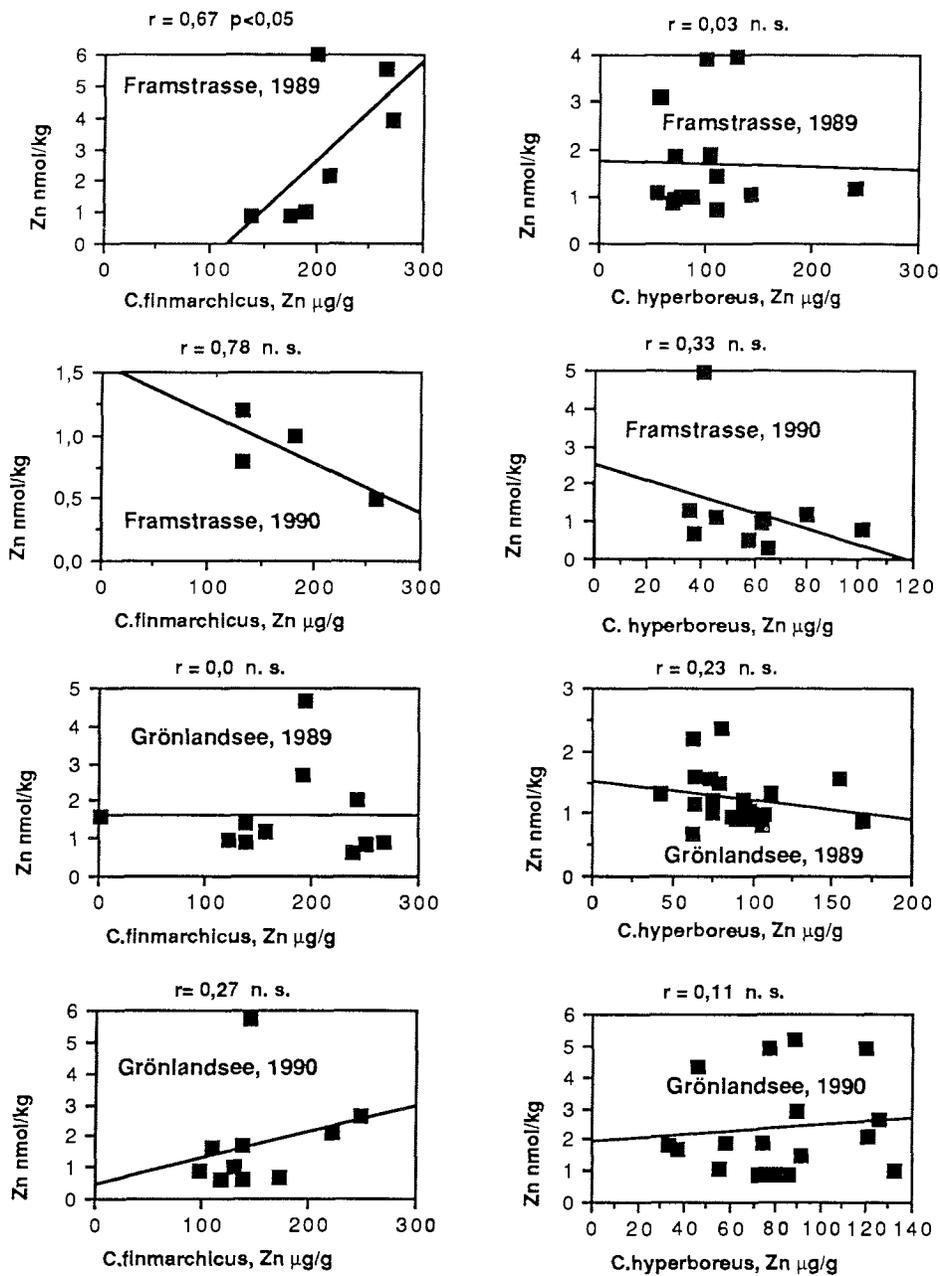


Abb.: 92 Korrelationen zwischen den Zinkkonzentrationen im Wasser und in Copepoden.

2. 1989 wurden wahrscheinlich zu hohe Zinkkonzentrationen im Wasser gemessen, da die Proben zum Teil kontaminiert waren.

In der **Grönlandsee** bestehen **1989** keine linearen Verhältnisse zwischen den Zinkkonzentrationen im Wasser und in *C. finmarchicus*, der durchschnittliche Anreicherungsfaktor beträgt 2×10^6 . **1990** deutet sich eine positive Korrelation an, der Anreicherungsfaktor ist mit durchschnittlich $1,5 \times 10^6$ etwas niedriger. Das Fehlen von eindeutig linearen Beziehungen läßt keine Interpretation der Daten zu.

Für *C. hyperboreus*, wurden in den vier Untersuchungseinheiten keine linearen Korrelationen angetroffen. Die durchschnittlichen Anreicherungsfaktoren errechnen sich für den Framstraßenbereich 1989 und 1990 mit 1×10^6 und für den Bereich der Grönlandsee 1989 mit $0,9 \times 10^6$ sowie 1990 mit $0,7 \times 10^6$. Damit sind die Anreicherungsfaktoren innerhalb der hier willkürlich gewählten Unterteilungen ähnlich.

5.4.2. Zinkverteilung im Oberflächenwasser des Ostatlantiks im Vergleich der Jahre 1989 und 1990

1989 liegen die Zinkkonzentrationen im Südatlantik zwischen $33^\circ\text{S} - 0^\circ$ um $0,5 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Abb.: 93). Bei 16°S , 11°S und 6°S sind 3 Maxima zu beobachten, mit erhöhten Konzentrationen zwischen $1 - 2 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ und auch in der ITCZ schwanken die Werte zwischen $0,5 - 1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Zink. Bei $7^\circ - 15^\circ\text{N}$ gehen sie wieder auf Konzentrationen unter $0,5 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Zink zurück und von 20°N bis 47°N fluktuieren sie mit leicht ansteigender Tendenz zwischen $0,7 - 1,7 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

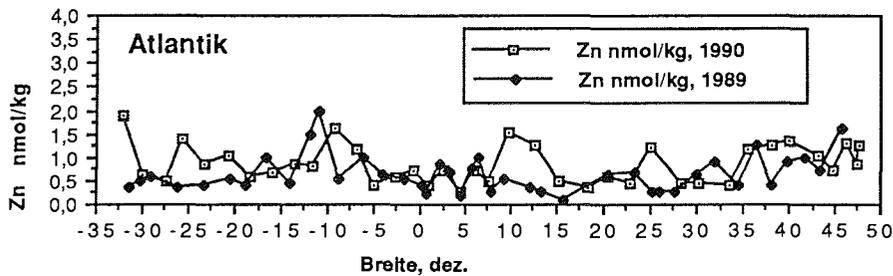


Abb.: 93 Zinkverteilung im Oberflächenwasser des Ostatlantiks im April 1989 und Mai 1990.

1990 wurden im Südatlantik Zinkkonzentrationen zwischen $0,5 - 2 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ gemessen, Tendenzen sind nicht zu erkennen. Im Bereich der ITCZ sind die Werte und der Kurvenverlauf vergleichbar mit den Konzentrationen von 1989. Im Bereich von 7°N bis 34°N fallen zwei Maxima bei 10°N ($1,6 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) und 25°N ($1,4 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) Zink auf. An den übrigen Stationen liegen die Konzentrationen um $0,6 \text{ nmol/kg}$, bei 35°N steigen sie wieder auf $1,6 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Zink an und im weiteren Verlauf bis 47°N fluktuieren sie um diesen Wert. Diese sehr niedrigen Zinkkonzentrationen wurden erstmalig für den gesamten Ostatlantik gemessen. Korrelationen zu den Nährstoffdaten bestehen nicht. Da aufgrund von Probenkontaminationen meistens höhere Werte gemessen werden, sind die Zinkkonzentrationen um $0,5 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ im Oberflächenwasser durchaus realistisch und vergleichbar mit Literaturwerten, die von BRULAND et al. (1978b) gemessen wurden. Dennoch könnten die erhöhten Konzentrationen von bis zu $2 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ sowohl auf Probenkontaminationen, wie auch auf natürliche Einträge zurückzuführen sein.

5.4.3. Zinkkonzentrationen in atlantischen Pontelliden aus der Oberfläche

Die Zinkkonzentrationen in atlantischen Pontelliden im Bereich von 22°S bis 15°N liegen zwischen $50 - 200 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($0,76 - 3,1 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) Abb.: 94. Zwischen $20^\circ - 27^\circ\text{N}$ erreichen sie Werte bis $280 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($4,3 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) und von $27^\circ\text{N} - 35^\circ\text{N}$ gehen die Zinkkonzentrationen in den Pontelliden auf Werte um $110 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($1,7 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) Zink zurück.

Bei 36°N wurden Zinkkonzentrationen bis $450 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($6,9 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) gemessen, dieser Wert könnte auf eine Probenkontamination zurückgeführt werden.

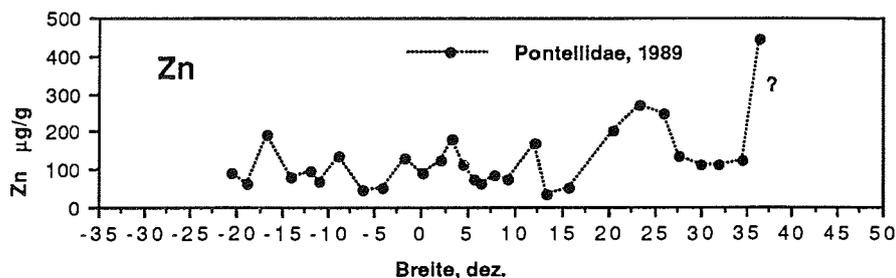


Abb.: 94 Zinkkonzentrationen in atlantischen Pontelliden in $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$

Die Korrelation zwischen den Zinkkonzentrationen im Oberflächenwasser und in den Pontelliden ist nicht signifikant (Abb.: 95)

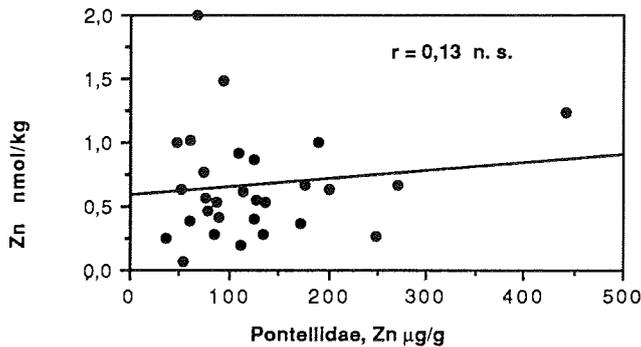


Abb.: 95 Korrelation zwischen den Zinkkonzentrationen im Wasser und in Pontelliden

Der Anreicherungsfaktor in den Tieren bei durchschnittlichen Konzentrationen von $100 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($1,5 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) gegenüber Wasser mit durchschnittlichen Konzentrationen um $0,5 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ beträgt 3×10^6 . Die maximale Verteilungsdichte der Zinkkonzentrationen in den Pontelliden liegt zwischen $60 - 130 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

5.5. Vergleich der durchschnittlichen Metallkonzentrationen in Copepoden aus unterschiedlichen Wassermassen und statistische Absicherung

In Tab.: 7 und Abb.: 96 sind die durchschnittlichen Metallkonzentrationen in den Copepoden *C. hyperboreus*, *C. finmarchicus* und *Pontelliden* in der Arktis und im Ostatlantik aufgeführt.

Da die Einzelwerte innerhalb der hier gewählten 9 Kategorien nicht normalverteilt sind und der geringe Probenumfang eine Logarithmierung nicht zulässt, wurde eine Rangvarianzanalyse für mehrere, nicht normalverteilte Stichproben nach Friedman durchgeführt.

Für Cadmium bestehen signifikante Unterschiede auf dem 95 % Niveau zwischen den Kategorien:

Pontellidae	<i>C. hyperboreus</i> , Grönlandsee 1989
Pontellidae	<i>C. hyperboreus</i> , Grönlandsee 1990
Pontellidae	<i>C. finmarchicus</i> , Grönlandsee 1989
Pontellidae	<i>C. finmarchicus</i> , Grönlandsee 1990

C. hyperboreus, Grönlandsee 1990
C. hyperboreus, Grönlandsee 1989

C. hyperboreus, Grönlandsee 1989
C. finmarchicus, Grönlandsee 1989

Tab.: 7 Durchschnittliche Metallkonzentrationen in $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ Trockengewicht und Standardabweichung in den Copepoden aus unterschiedlichen geographischen Regionen, n = Anzahl der Einzelproben.

Region	Art	Zn $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	Cd $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	Cu $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	Pb $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$
Grönlandsee 1989	<i>C. hyperboreus</i>	90,2 +/- 29,3 n = 22	2,0 +/- 1,15 n = 22	3,9 +/- 0,99 n = 22	0,41 +/- 0,36 n = 22
Grönlandsee 1990	<i>C. hyperboreus</i>	79,5 +/- 30,1 n = 19	4,0 +/- 2,9 n = 19	4,7 +/- 1,85 n = 19	0,5 +/- 0,46 n = 17
Grönlandsee 1989	<i>C. finmarchicus</i>	176 +/- 77 n = 11	8,8 +/- 4,4 n = 11	6,7 +/- 3,6 n = 11	1,3 +/- 1,0 n = 11
Grönlandsee 1990	<i>C. finmarchicus</i>	152 +/- 49 n = 10	6,6 +/- 2,5 n = 10	8,4 +/- 3,2 n = 10	1,95 +/- 1,95 n = 10
Framstraße 1989	<i>C. hyperboreus</i>	102 +/- 47,9 n = 14	2,8 +/- 0,8 n = 14	4,6 +/- 1,1 n = 14	0,47 +/- 0,24 n = 14
Framstraße 1990	<i>C. hyperboreus</i>	58,9 +/- 20,5 n = 10	2,7 +/- 0,8 n = 10	6,2 +/- 1,3 n = 10	0,57 +/- 0,4 n = 10
Framstraße 1989	<i>C. finmarchicus</i>	207 +/- 48 n = 7	4,1 +/- 1,7 n = 7	4,29 +/- 0,8 n = 7	0,87 +/- 0,55 n = 7
Framstraße 1990	<i>C. finmarchicus</i>	176 +/- 60 n = 4	8,9 +/- 5,0 n = 4	7,9 +/- 1,5 n = 4	0,5 +/- 0,26 n = 4
Atlantik 1989	Pontellidae	114 +/- 60 n = 28	12,1 +/- 4,2 n = 26	5,2 +/- 2,1 n = 30	1,08 +/- 0,87 n = 27

Für Blei ergeben sich signifikante Unterschiede auf dem 99 % Niveau zwischen den Kategorien:

Pontellidae	<i>C. hyperboreus</i> , Grönlandsee 1989
Pontellidae	<i>C. hyperboreus</i> , Grönlandsee 1990
<i>C. hyperboreus</i> , Grönlandsee 1989	<i>C. finmarchicus</i> , Grönlandsee 1989
<i>C. hyperboreus</i> , Grönlandsee 1990	<i>C. finmarchicus</i> , Grönlandsee 1990
<i>C. hyperboreus</i> , Grönlandsee 1989	<i>C. finmarchicus</i> , Grönlandsee 1990

Für Kupfer ergeben sich keine signifikanten Unterschiede in den einzelnen Kategorien.

Für Zink wurden signifikante Unterschiede auf dem 99 % Niveau zwischen folgenden Kategorien berechnet:

Pontellidae	<i>C. finmarchicus</i> , Grönlandsee 1989
<i>C. hyperboreus</i> , Grönlandsee 1989	<i>C. finmarchicus</i> , Grönlandsee 1989
<i>C. hyperboreus</i> , Grönlandsee 1990	<i>C. finmarchicus</i> , Grönlandsee 1990

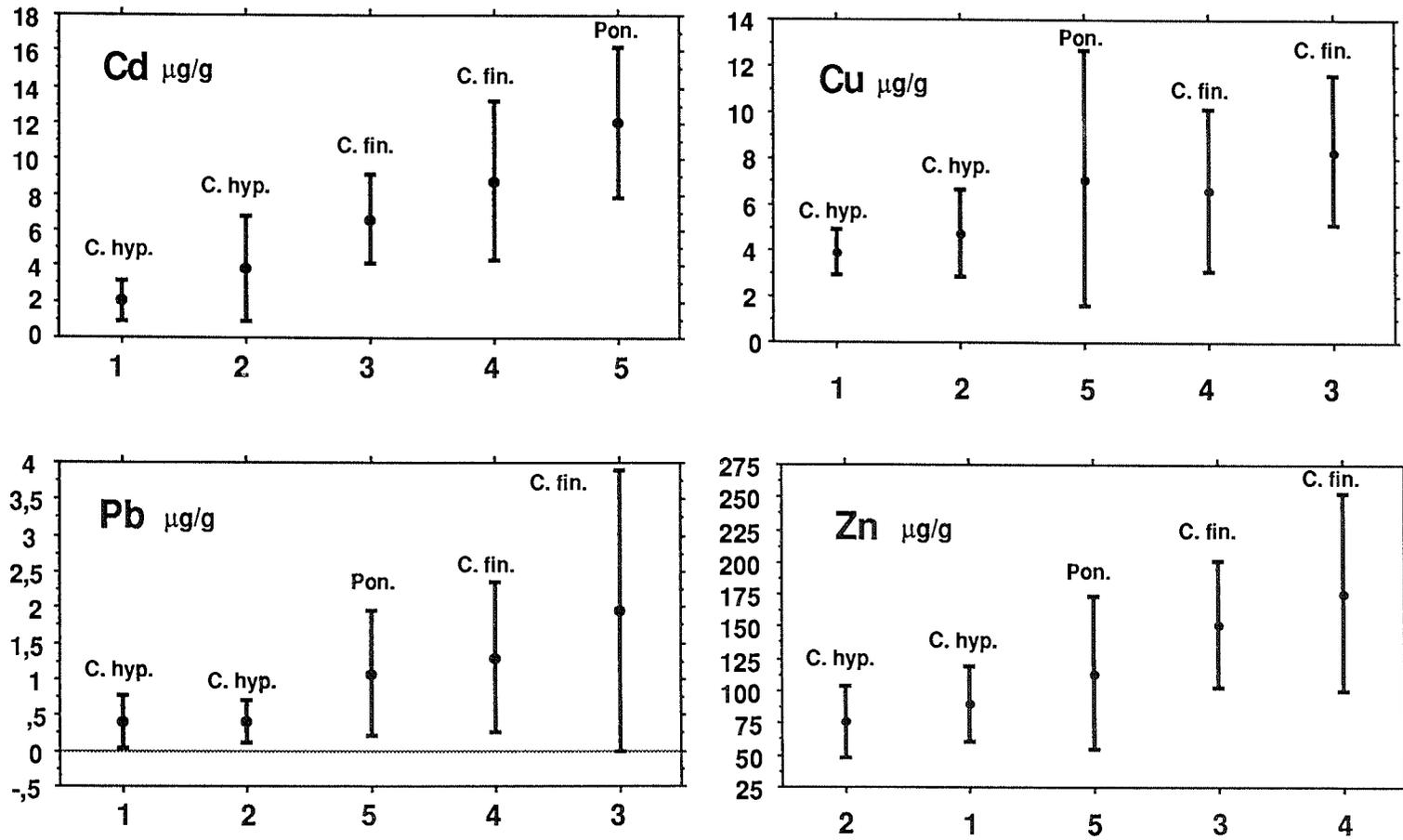


Abb.: 96 Durchschnittliche Metallkonzentrationen und Standardabweichungen in verschiedenen Copepodenarten aus unterschiedlichen Wassermassen.

- 1.) *C. hyperboreus* 1989, Grönlandsee
- 2.) *C. hyperboreus* 1990, Grönlandsee
- 3.) *C. finmarchicus* 1990, Grönlandsee
- 4.) *C. finmarchicus* 1989, Grönlandsee
- 5.) Pontellidae 1989, Atlantik

Zusammenfassend fällt auf, daß für die Proben aus der Framstraße beider Jahre keine signifikanten Unterschiede errechnet wurden, dieses ist sehr wahrscheinlich auf den geringen Probenumfang in den einzelnen Kategorien zurückzuführen.

Ein wichtiges Ergebnis sind die signifikanten Unterschiede zwischen den Cadmiumkonzentrationen von $12 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ in den atlantischen Pontelliden und den Copepoden aus der Arktis mit Konzentrationen zwischen $2 - 9 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ Cadmium, welches sich auch in den Anreicherungsfaktoren (Tab.: 8) widerspiegelt, die in den Pontelliden ebenfalls höher sind. Wenn davon ausgegangen wird, daß Cadmium primär mit der Nahrung aufgenommen wird, läßt sich das Ergebnis folgendermaßen interpretieren:

Während sich die Nahrungsaufnahme der arktischen Copepoden auf einige Wochen im Jahr beschränkt, wird Cadmium nur in diesem kurzen Zeitraum akkumuliert und vielleicht auch zum Teil während der Überwinterungsphase in der Tiefe ausgeschieden. Die atlantischen Pontelliden besiedeln die oberen 30 cm der euphotischen Zone, sie sind das ganze Jahr hindurch freßaktiv, akkumulieren somit ständig Cadmium über das Phytoplankton. Dieses dürfte gleichermaßen der Grund für die erhöhten Cadmiumkonzentrationen in Copepoden aus der Oberfläche im Vergleich zu den in der Tiefe lebenden Organismen sein. Nach WEIKERT (1973) überwiegen in der Oberfläche herbivore Arten, während sich Tiefsee-Copepoden überwiegend carnivor ernähren.

Tab.: 8 Zusammenfassende Übersicht der Anreicherungsfaktoren von Metallen in Copepoden gegenüber den Wasserkonzentrationen

Region	Art	Zn	Cd	Cu	Pb
Grönlandsee 1989	C. hyperboreus	$0,9 \times 10^6$	2×10^5	$4,4 \times 10^4$	4×10^4
Grönlandsee 1990	C. hyperboreus	$0,7 \times 10^6$	$6,7 \times 10^5$	$3,8 \times 10^4$	1×10^4
Grönlandsee 1989	C. finmarchicus	2×10^6	$8,2 \times 10^5$	$4,5 \times 10^4$	$2,5 \times 10^4$
Grönlandsee 1990	C. finmarchicus	$1,5 \times 10^6$	7×10^5	$1,3 \times 10^5$	$2,5 \times 10^4$
Framstraße 1989	C. hyperboreus	1×10^6	$3,6 \times 10^5$	$3,6 \times 10^4$	$2,4 - 6 \times 10^4$
Framstraße 1990	C. hyperboreus	1×10^6	3×10^5	$2,6 \times 10^4$	$2,4 - 6 \times 10^4$
Framstraße 1989	C. finmarchicus	$1,1 \times 10^6$	$3,7 \times 10^5$	5×10^4	$2,7 \times 10^4$
Framstraße 1990	C finmarchicus	4×10^6	7×10^5	$7,5 \times 10^4$	$2,7 \times 10^4$
Atlantik 1989	Pontellidae	3×10^6	$1 \times 10^6 -$ 1×10^7	1×10^5	$2,5 \times 10^4$ 1×10^5

Weiterhin fallen die niedrigen Bleikonzentrationen in *C. hyperboreus* auf, die signifikant unterschiedlich zu den atlantischen Pontelliden und zu *C. finmarchicus* sind, der bevorzugt in dem atlantischen Wasserkörper der Grönlandsee vorkommt. Die Anreicherungsfaktoren für Zink sind wie die Konzentrationen in den Copepoden am höchsten und nehmen in der Reihenfolge Zink > Cadmium > Kupfer > Blei ab.

Das keine signifikanten Unterschiede für das Element Kupfer gefunden wurden, ist ein weiterer Hinweis dafür, daß dieses Element nur bei Bedarf akkumuliert wird bzw. daß Überschüsse ausgeschieden werden.

Für Zink wurden nur in drei Kategorien signifikante Unterschiede errechnet, und auch die Anreicherungsfaktoren lassen keine definitive Aussage zu.

6. DISKUSSION

6.1 Die Untersuchungsmethoden und ihre Grenzen während der Probennahme, der analytischen Messungen und für die Auswertung.

Die Probennahme von Tiefenwasserproben erfolgte mit 10 Liter Schöpfern, die an einer Rosette mit integriertem Multisondensystem montiert waren. Für spurenanalytische Untersuchungen ist es sinnvoller, möglichst große Schöpfervolumina (30 Liter) zu wählen, um Materialkontaminationen zu reduzieren. Um eine Korrosion des integrierten Sondensystems zu vermeiden, werden an der Rosette Zinkanoden installiert. Für die Bestimmungen von Blei- und Zinkkonzentrationen im Tiefenwasser ist diese Art der Probennahme daher nicht optimal.

Außer der Probenkontamination während der Probennahme können erhebliche Fehler durch Kontaminationen während der analytischen Aufarbeitung entstehen. Trotz Reinigung der Gefäße und Absicherung der Methodik durch zertifizierte Standardmaterialien sind Kontaminationen nicht völlig auszuschließen.

Das Zooplanktonmaterial in den 6 vertikalen Multinetzfängen aus dem Atlantik 1990 war sehr gering und ist nicht repräsentativ. Wiederholungsfänge unter gleichen Bedingungen waren aus Zeitgründen nicht möglich. Die untersuchten Copepodenproben aus diesen vertikalen Fängen beziehen sich nur auf die jeweilige Station und einen Zeitpunkt, es sind daher Momentaufnahmen.

Die vertikale Auflösung war außerdem gering, eine Wassersäule von 1200 m wurde von 5 Netzen beprobt. Die im gleichen Netz gefangenen Tiere können deshalb auch aus unterschiedlichen Wassertiefen stammen. Für die Korrelation mit den Spurenmetallkonzentrationen der Wasserproben aus den Tiefenprofilen wurden die Metallkonzentrationen der Copepoden den mittleren Tiefen der einzelnen Tiefenintervalle zugeordnet und mit den entsprechenden Metallkonzentrationen im Wasser korreliert.

TCHERNIA (1980) gibt für den SEC eine mittlere Geschwindigkeit von $37 \text{ km}\cdot\text{d}^{-1}$ und $31 \text{ km}\cdot\text{d}^{-1}$ für den NEC an. Die Folge ist allgemein, daß Phytoplankton und damit auch die Copepodengemeinschaften in diesen Oberflächenströmungen verdriftet werden, und nur begrenzt in Beziehung zu dem am Probenahmeort gemessenen Umweltfaktoren stehen. Diese Tatsache wurde bei der Auswertung der Ergebnisse nicht berücksichtigt.

Die arktischen Copepoden wurden zur Darmentleerung einige Stunden bei 5°C gehältert, bevor sie für die spurenanalytischen Untersuchungen ausgezählt, gespült und tiefgefroren wurden. Bei diesen Proben kann davon ausgegangen werden, daß die Metallgehalte in den Organismen erfasst wurden und nicht zusätzlich in dem von ihnen konsumierten Phytoplankton, das deutlich als "Grünfärbung des Darmes zu erkennen ist.

Die Pontelliden des Atlantikschnittes wurden sofort nach dem Fang aussortiert und tiefgefroren, um eine Dezimierung des Probenmaterials durch räuberische Arten wie Amphipoden (Hyperiidæ) auszuschließen. Somit könnte der eventuell vorhandene Darminhalt der Tiere einen Einfluß auf den Gesamtgehalt der Spurenmetallkonzentrationen in den Organismen haben.

Im Hinblick darauf, daß Plankton im Meer nicht gleichmäßig, sondern fleckenhaft verteilt ist ("patchiness", PARSONS et al. 1984) sollte die Probennahme räumlich so eng wie möglich erfolgen. Auf den Schnitten **Grönlandsee** und **Framstraße** wurde daher ein sehr enges Stationsnetz von 10 sm Distanz zwischen den Stationen gelegt, während die Oberflächenstationen auf dem Atlantikschnitt aus zeitlichen Gründen 150 sm auseinanderlagen, so daß hier, falls sie vorhanden waren, kleinskalige Änderungen nicht erfasst wurden.

Die Spurenmetallergebnisse im Meereis, in den Schmelzwasserbereichen und im Schmelzwasser des Gletschereisberges basieren jeweils nur auf einer Probe, und sind damit natürlich nicht repräsentativ. Für diese Arbeit stellen sie aber eine zusätzliche Basis bei der Interpretation der Daten dar. Sie sollten auch zu umfangreicheren Untersuchungen anregen. Besonders kritisch und nur orientierend zu bewerten ist die Berechnung der Mischungsverhältnisse mit den resultierenden Salzgehaltsdifferenzen als Bezugsgröße und einer daraus abgeleiteten Bleikontaminationsquelle durch das Eis.

Die Berechnung der Anreicherungsfaktoren der Metalle in den Copepoden muß ebenfalls einer kritischen Betrachtung unterzogen werden. Die Anreicherungsfaktoren in den Tieren wurden aus Durchschnittswerten der gelösten Metallkonzentrationen im Wasser und in Tieren berechnet. Der Anreicherungsfaktor wurde daher aus methodischen Gründen auf das Trockengewicht bezogen.

Es wurde weiterhin davon ausgegangen, daß die jeweils adulten Organismen der hier untersuchten Arten *C. hyperboreus*, *C. finmarchicus* und Pontellidæ in Bezug auf Naß- und Trockengewicht äquivalent sind.

6.2. Horizontale und vertikale Verteilung der Metalle in Abhängigkeit von der Hydrographie und der Nährstoffsituation

Die Spurenmetallverteilungen im Wasser in den beiden hier behandelten Untersuchungsgebieten sind sehr stark mit der Hydrographie und der Nährstoff- und Chlorophyll a- Situation verknüpft.

Während in der Arktis die Frontensysteme, die Eisbedeckung und der limitierende Faktor Licht die Primärproduktion und damit die biologischen Aktivitäten auf einen relativ kurzen Zeitraum begrenzen, bestehen im tropischen und subtropischen Atlantik während des ganzen Jahres, nahezu konstante hydrographische Bedingungen.

Die Metallkonzentrationen im Oberflächenwasser des arktischen Ozeans sind im allgemeinen höher als im Atlantik. Der Metalleintrag in die Arktis wird größtenteils auf Süßwasser bzw. Landabflüsse, atmosphärische Einträge und Vermischungen mit Wassermassen aus der Behringsee zurückgeführt. Einen weiteren Beitrag leisten Austauschprozesse mit den Sedimenten der Schelfgebiete und Umverteilungsmechanismen durch biologische Aktivitäten. Im folgenden sollen die hier ermittelten Ergebnisse mit Hilfe von vergleichenden Daten aus der Literatur für Arktis und Atlantik diskutiert werden (Tab.: 9 und Tab.: 10).

6.2.1. Cadmium

Cadmium liegt im Meerwasser hauptsächlich als CdCl_2° und CdCl_3^- vor. Es gehört zu den Spurenmetallen des Typs C1, die zusammen mit Nitrat und Phosphat in die Phytoplanktonzelle eingebaut werden, und in mittleren Tiefen, ähnlich den beiden labilen Nährstoffen, ein Maximum aufweisen. Warum Cadmium in die Zellen eingebaut wird, ist unbekannt, da Cadmium keine nachweisbare biochemische Funktion hat. Vermutungen gehen dahin, daß die Organismen während der Selektion der essentiellen Spurenstoffe wie Zink oder Phosphat auch nicht-essentielle Elemente mit ähnlichem Ionenradius aufnehmen und diese so innerhalb der Zelle speichern, daß sie keine toxische Wirkung auf den Organismus ausüben (COLLIER & EDMOND 1983, 1984).

MOORE (1981, 1983) fand Cadmiumkonzentrationen von $0,31 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ im Oberflächenwasser des arktischen Beckens, YEATS (1988) ermittelte Cadmiumkonzentrationen von $0,16 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ an der Fram 3-Station nördlich von Spitzbergen. In den vertikalen Profilen zeigten sich in den oberen 70 m geringe

Cadmiumfluktuationen im weiteren Verlauf bis 2500 m sind die Cadmiumkonzentrationen einheitlich.

Tab.: 9 Vergleichende Metallkonzentrationen im Wasser (Arktis)
1.) Oberfläche, 2.) mittlere Tiefe (Atlantikwasser), 3.) Tiefenwasser

Oberfläche/ Tiefe	Region	Cd nmol/kg	Pb nmol/kg	Cu nmol/kg	Zn nmol/kg	Ni nmol/kg	Autor
1 2 3	Arktis	0,31 0,19			2,9 3,1		MOORE (1981)
1 2 3	Arktis	0,15 0,18 0,22			1 1,5 3,5	3,4 3,5 3,6	DANIEL- SSON et al. (1983)
1 2 3	Arktis	0,09 0,14 0,14				2,3 2,1 3,2	MART et al. (1984a)
1 3	Arktis	0,07 0,12 - 0,19	0,07 0,01 - 0,02	1,5 2,8 - 6,3		2,1 3,7 - 3,9	MART et al. (1984b)
1 2 3	Arktis Fram 3	0,16 0,21 0,27			1,0 3,8 4,1	3,8 4,0 4,1	YEATS (1988)
1 2 3	Norweg. See Arktis	0,2 0,6 0,3		1,4 3,5 2,0	1,5 2,7 - 5,1 3,0	3,5 4,6 3,5	DANIEL- SSON et al. (1985) YEATS & WESTER- LUND, 1991
1	Ostgrönl. schelf	0,191 +/- 0,07	0,03 - 0,5	3 - 5	1 - 5	4,4 - 5,9	Diese Arbeit 1989/1990
1	Atlantik- wasser (WSC)	0,09 +/- 0,016	0,15 - 0,23	1,5 - 2	1 - 2	3,1 - 4,0	1989
1	Polarfront	0,062 +/- 0,02	0,08	1,5 - 2	1 - 2	3,1 - 4,0	Diese Arbeit
1 2	Grönland- seewirbel	0,108 +/- 0,019 0,07 - 0,1	0,05 - 0,1	1,5 - 2 1,8 - 2,2	1 - 3	3,1 - 4,0 3,6 - 3,9	1989 Diese Arbeit

Die für diese Arbeit analysierten Konzentrationen von 0,07 - 0,191 nmol·kg⁻¹ Cadmium für den Bereich des EGC bewegen sich in ähnlichen Größenordnungen, und auch für die Vertikalverteilungen im Bereich des Mischwasserkörpers der Grönlandsee betrug das Oberflächen-/Tiefenverhältnis während der Phytoplanktonblüte 1:1 und nach der Phytoplanktonblüte 1:5. Im polaren Frontenbereich und im atlantischen Wasserkörper des WSC betrug es 1:2.

Eine Anreicherung im Tiefenwasser zwischen 500 - 1000 m, wie es im Atlantik gemessen wurde, wurde im arktischen Bereich nicht vorgefunden. Ursachen dafür sind zum einen der fehlende Sprungschichtcharakter der Wassersäule, und der damit verbundenen vertikalen Konvektion, die durch den Transport von

sauerstoffreichem Oberflächenwasser in die Tiefe während der Wintermonate (nicht alljährlich) in der Grönlandsee stattfindet und zur Bildung des Tiefenwasserkörpers beiträgt. Dieses Tiefenwasser hat eine kurze Aufenthalts-wahrscheinlichkeit gegenüber den Wasserkörpern des Indiks und Pazifiks (CARMARCK & AAGAARD 1973; QUADFASEL & MEINCKE 1987).

YEATS & WESTERLUND (1991) publizierten Cadmiumkonzentrationen aus dem Kanadischen Becken der Arktis und - unter Berücksichtigung der Werte von MART et al. (1984a) - berechneten ein Cadmiumbudget für den arktischen Ozean. So werden $3 \times 10^5 \text{ mol} \cdot \text{a}^{-1}$ Cadmium durch Süßwasser bzw. Landabflüsse, $1,1 \times 10^7 \text{ mol} \cdot \text{a}^{-1}$ Cd durch die Behringstraße und $1,5 \times 10^7 \text{ mol} \cdot \text{a}^{-1}$ Cd mit dem WSC in das arktische Becken eingetragen. Der Cadmiumtransport aus dem arktischen Becken beträgt $2,1 \times 10^7 \text{ mol} \cdot \text{a}^{-1}$ durch das Kanadische Archipel und $4,7 \times 10^6 \text{ mol} \cdot \text{a}^{-1}$ Cadmium durch den EGC.

Bezogen auf die in dieser Arbeit gemessenen Cadmiumkonzentrationen im atlantischen Einflußbereich der Grönlandsee liegen die Cadmiumkonzentrationen zwischen $0,06 - 0,12 \text{ nmol} \cdot \text{kg}^{-1}$. Der Einstrom durch die Framstraße beträgt $3,2 \text{ Sv}$ (COACHMAN & AAGAARD 1974), damit errechnet sich ein Cadmiumestrom in das arktische Becken von $5,8 \times 10^6 - 1,2 \times 10^7 \text{ mol} \cdot \text{a}^{-1}$.

Mit dem EGC werden im Jahre 1989 ca. $2 \times 10^7 \text{ mol} \cdot \text{a}^{-1}$ Cadmium aus dem arktischen Becken durch die Framstraße transportiert. (Ausstrom durch die Framstraße $3,7 \text{ Sv}$; TCHERNIA, 1980). Somit wäre der Cadmiumausstrom durch die Framstraße ähnlich hoch wie durch das Canadische Archipel.

Allerdings ist es ausschlaggebend, welche Cadmiumkonzentrationen für den EGC zugrunde gelegt werden. Da Meereis als relevante Cadmiumquelle nicht in Betracht kommt, reduzieren sich die gelösten Cadmiumkonzentrationen im EGC während der Eisschmelze bzw. im polaren Frontenbereich zusätzlich durch die Elimination auf grund biologischer Aktivitäten.

1990 wurden auf dem Ostgrönlandschelf Cadmiumkonzentrationen von ca. $0,07 \text{ nmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ gemessen. Wird diese Konzentration berücksichtigt, erhält man für das Jahr 1990 einen Cadmiumausstrom mit dem EGC von $7,7 \times 10^6 \text{ mol} \cdot \text{a}^{-1}$, dieser Wert ist um 60 % niedriger als im Vorjahr. Wie das Beispiel zeigt, ist ein Konzentrationsvergleich mit Literaturwerten nur begrenzt zulässig, da einzelne Konzentrationsangaben keine Aussage über jahreszeitenabhängige hydrographisch und biologisch bedingte Veränderungen geben.

Die $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ Verhältnisse von $1,81 \times 10^{-4}$ bzw. $1,73 \times 10^{-4}$ für Framstraße und Grönlandsee sind vergleichbar mit den Steigungen $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ $1,4 \times 10^{-4}$, die DANIELSSON & WESTERLUND (1983) für die Arktis angeben.

Ein globales $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ von $2,1 \times 10^{-4}$ wie es von BOYLE et al. (1988) beschrieben wird, scheint es nicht zu geben, vielmehr regionale hydrographische und biologische Besonderheiten bestimmen diese Relation. Auch die Werte aus dem Nord-Pazifik, $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P} = 3,47 \times 10^{-4}$ (BRULAND 1983), sind höher.

Daraus läßt sich folgern, daß in der Arktis während einer Zeiteinheit weniger Cadmium durch das Phytoplankton aufgenommen wird, als im Nord-Pazifik. DANIELSSON & WESTERLUND (1983), führen diese geringere Metallaufnahme auf verstärktes Phytoplanktonwachstum zurück, d. h. durch stärkere Wachstumsraten wird weniger Cadmium aus dem Wasser in die Algenzelle eingebaut.

Signifikante Steigerungsänderungen (BOYLE 1988) des $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ Verhältnisses ergeben sich bei ca. $1,3 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ Phosphat. Unterhalb dieser Konzentration, die in Oberflächenwassermassen des Noratlantiks und der Arktis angetroffen wird, beträgt die Steigung ca. $2,1 \times 10^{-4}$, darüber (Südatlantik, Pazifik) nimmt die Steigung einen Wert von ca. $4,0 \times 10^{-4}$ an und schneidet die y - Achse im negativen Bereich. Deshalb wird angenommen, daß Cadmium einen etwas tieferen Regenerationskreislauf als Phosphat hat.

Die Durchschnittskonzentrationen für Cadmium im Oberflächen- und Tiefenwasser von Nord- und Südatlantik (Diese Arbeit) sind vergleichbar mit den Literaturwerten (Tab.: 10). Dabei sind die Oberflächenkonzentrationen um den Faktor 5 - 20 niedriger als in den unterschiedlichen arktischen Wassermassen und die Tiefenkonzentrationen um den Faktor 2 - 3 höher als in der Grönlandsee.

Die Beziehungen zwischen Cadmium und Phosphat in der Oberfläche sind nur 1989 linear, das $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ Verhältnis wurde für die Oberfläche mit $1,9 \times 10^{-4}$ und unter Berücksichtigung der vertikalen Verteilung wurde ein globaler Wert mit $1,2 \times 10^{-4}$ berechnet.

Die ozeanischen Durchschnittskonzentrationen des Pazifiks liegen zwischen $0,1 \text{ nmol kg}^{-1}$ im Oberflächenbereich bis $1,1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ im Tiefenwasser (BOYLE et al. 1976) mit einem Cadmium : Phosphat Verhältnis von $3,5 \times 10^{-4}$.

Tab.: 10 Vergleichende Metallkonzentrationen im Wasser (Atlantik / Pazifik)
 1.) Oberfläche; 2.) Bereich des Nährstoffmaximums; 3.) Frühjahr; 4.) Sommer

Oberfläche/ Tiefe	Region	Cd nmol·kg ⁻¹	Pb nmol·kg ⁻¹	Cu nmol·kg ⁻¹	Zn nmol·kg ⁻¹	Ni nmol·kg ⁻¹	Autor
1 2	Pazifik	0,1 1,1					BOYLE et al. (1976)
1 2	Kaliforn. Stromsyst.	0,04 1,1					BRULAND et al. (1978a)
1 2	Nord - Ost Pazifik				0,2 9,2		BRULAND et al. (1978b)
1 2	Nord - Ost Pazifik	0,03 - 0,06					MARTIN et al. (1976)
1 2	Nord - Atlantik Sargasso	0,3		1,2	2,4		BRULAND & FRANKS (1983)
1	Nordwest Atlantik		0,1 - 0,15				BOYLE et al. (1986)
1 2	Pazifik		0,068 0,005				SCHAULE & PATTER- SON (1981)
1	Nordost Atlantik		0,17 - 0,22				LAMBERT et al. (1991a)
1	Ost - Atlantik		0,036 - 0,15				HELMERS et al. 1990
1	Nord - Pazifik			0,5			BRULAND (1980)
1.) 3.) 1.) 4.)	Nord - Atlantik	(0,024 - 0,078) (0,006 - 0,035)		1,21 +/- 0,21 1,07 +/- 0,13		2,44 +/- 0,21 2,33 +/- 0,26	KREMLING & POHL (1989)
1 2	Nord - Ost Atlantik 1990	(0,01 - 0,06) (0,15 - 0,22)	0,03 - 0,32 0,04	1,2 - 1,5 2 - 3	0,4 - 1,4 ?	2,0 - 2,7 5,5 - 6,5	Diese Arbeit
1 2	Süd - Ost Atlantik 1990	(0,01 - 0,045) (0,22 - 0,3)	0,05 - 0,06 0,04 - 0,1	0,7 2 - 3	0,3 - 1,0 ?	2,0 - 2,7 4,0 - 5,5	Diese Arbeit

MARTIN et al. (1976) fanden Cadmiumkonzentrationen für den Nord-Ost-Pazifik zwischen 0,03 - 0,06 nmol·kg⁻¹ in den oberen 100 m der Wassersäule. Im Kalifornischen Stromsystem ermittelten BRULAND et al. (1978a), Konzentrationen von 0,04 nmol·kg⁻¹ im Bereich der Oberfläche und 1,1 nmol·kg⁻¹ in der Tiefe des Phosphat- und Nitratmaximums. Das entspräche einem Oberflächen-/Tiefenverhältnis von 1:27,5.

Interessante Ergebnisse erhielten BRULAND et al. (1978a) bei Untersuchungen zum $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ Quotient von Mikroplanktonproben. Sie bestimmten Durchschnittswerte von $3,3 \times 10^{-4}$, die ähnlich den $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ Quotient in der Wassersäule sind.

Vergleiche zwischen Nord - Atlantik und Nord - Pazifik führten zu ähnlich niedrigen Cd - Konzentrationen in der Oberfläche (BRULAND & FRANKS 1983), dagegen

sind die Tiefenkonzentrationen im Nord-Atlantik mit $0,3 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ um 60 % niedriger als im Nord-Pazifik. Dieses wird auf den wesentlich älteren Tiefenwasserkörper des Pazifiks zurückgeführt.

In dieser Arbeit wurden die höchsten Oberflächen-/Tiefenverhältnisse mit Werten von bis zu 1:12 für den Bereich des tropischen Ostatlantiks berechnet. Richtung Norden nehmen sie ab und erreichen westlich Gibraltar einen Wert von 1:6 und im Iberischen Becken sind die Tiefenkonzentrationen für Cadmium nur noch um den Faktor 4,5 höher als in der Oberfläche. In der Grönlandsee ist dieses Verhältnis sogar auf 1:1 während und 1:5 nach der Phytoplanktonblüte reduziert. Für die südlichste Station im Kap-Becken wurde ein Oberflächen-/Tiefenverhältnis von 1:8 berechnet.

Die hohen Verhältnisse im Bereich der Tropen werden auf die Aussüßung der Oberfläche durch die starken Regenfälle zurückgeführt, die Oberflächenschicht erhält damit den Charakter einer Sperrschicht, an Partikel fixierte Metalle werden in den Tiefenwasserkörper eingetragen, die fehlende vertikale Konvektion verhindert jedoch, daß die resuspendierten Anteile aus der Tiefe erneut an die Oberfläche rezirkulieren. Im Bereich des Nährstoffmaximums (Angola Becken) sind ca. 12 % des gesamten Cadmiums im partikulären Anteil enthalten.

Der Hauptanteil wird durch organisches Material in die Tiefe transportiert, nur 2 % des vertikalen Cadmiumtransportes wird von anorganischen Partikeln, wie den Calciumkarbonatschalen der Foraminiferen, übernommen (BOYLE 1988).

6. 2. 2. Blei

Durch strikte Kontaminationskontrolle und analytische Verbesserungen gelang es SCHAULE & PATTERSON (1981, 1983) zu unverfälschten Meßwerten zu gelangen. Die Bleikonzentrationen im offenen Ozean variieren zwischen $0,005 - 0,175 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ und werden auf anthropogene Einflüsse durch aeolische Einträge zurückgeführt. Blei kann als Karbonato-, Hydroxo- und Chlorokomplex vorliegen, die vertikale Verteilung erfolgt nach dem B-Typ (Kap.: 1.1.1.).

Im Vergleich zu den Elementen Cadmium, Zink und Kupfer liegt eine umgekehrte Situation zwischen Atlantik und Pazifik vor. Die Bleikonzentrationen im Oberflächenbereich des Nord-Atlantiks sind um den Faktor 2,5 höher als im Nord-Pazifik und um den Faktor 5 höher als im Tiefenwasser. Weiterhin zeigen vergleichende Daten von LAMBERT et al. (1991a) aus dem Nord-Atlantik höhere Bleikonzentrationen im Nordost-Atlantik ($0,17 - 0,22 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) als im Nordwest-Atlantik von BOYLE et al. (1986) ($0,1 - 0,15 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Es wird eine Aufenthaltswahrscheinlichkeit von 2 Jahren für die Oberflächenschicht und mehrere 100 Jahre für die Tiefsee angenommen (BOYLE et al. 1986).

Somit können zwei Kreisläufe für das Element Blei in der Wassersäule vermutet werden: ein schneller Oberflächenkreislauf, bei dem das Blei durch "scavenging" Prozesse direkt aus der Oberfläche in die Sedimente transportiert wird, und ein langsamer Kreislauf, bei dem das Blei an den Lösungs- und den vertikalen Konvektionsprozessen teilnimmt, bevor es im Sediment abgelagert wird (LAMBERT et al. 1991b).

Die erhöhten Oberflächenkonzentrationen im Nordatlantik werden allgemein auf die atmosphärischen Einträge aus den industrialisierten Ländern Europas und Nord-Amerikas zurückgeführt, denn ca. 90 % der industriellen Aktivitäten sind hier lokalisiert. (WOLFF & PEEL 1985; BRÜGMANN et al. 1985; LAMBERT et al. 1991 a).

Tab.: 11 Vergleichende Metallkonzentrationen in arktischem Schnee

Autor	Region	Jahr	Cd ng/kg	Pb ng/kg	Cu ng/kg	Zn ng/kg
MUROZUMI et al. (1969)	Grönland	1965	---	200	---	---
WEISS et al. (1978)	Grönland	1965	3	---	---	---
HERRON et al. (1977)	Grönland	1971/1973	3	145-221	34-102	---
BOUSTRON, (1979)	Grönland	1973/1974	0,7-85	128-899	---	---
DAVIDSON et al. (1981)	Grönland	1978/1979	11-<19	120-140	28-40	---
MART, (1983)	Grönland/ Spitzberg.	1979	2,6-6	173-226	80-120	---
Diese Arbeit	Ostgrönl. 78°10,6N 14°03,7W	1990 a.) Schnee unfiltr.	4,1	333	187	469
		b.) Schnee filtr.	1,5	201	123	299
		c.) Melting Pool/unfiltr.	2,5	110	18,2	75,9
		d.) Schmelzw. Eisberg, unfiltr.	60	659	345	873

Der Vergleich zweier Datensätze aus den Jahren 1981 und 1989 (HELMERS et al. 1990) im Nordost-Atlantik, reflektiert die Abnahme des atmosphärischen Bleieintrages innerhalb der letzten 8 Jahre. In den USA wird seit geraumer Zeit auf Bleizusätze bei Autobenzinen verzichtet. Es konnte gezeigt werden, daß die

Bleikonzentrationen im Oberflächenbereich von durchschnittlich $0,200 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ auf die Hälfte zurückgegangen waren.

Auch in der Arktis wurden höhere Konzentrationen ($0,068 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) im Oberflächenwasser ermittelt, die mit zunehmender Tiefe ($0,020 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) bei ca. 800 m und ($0,018 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) bei ca. 1400 m geringer werden (MART et al. 1983).

Die Bleikonzentrationen in der Arktis werden ebenfalls auf atmosphärische Einträge aus den industrialisierten Regionen der Nordhalbkugel zurückgeführt.

Nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl am 26. 4. 1986 wurde die Ausbreitung der radioaktiven Luftmassen in den ersten 10 Tagen vom amerikanischen Atomforschungszentrum Lawrence Livermore Laboratory in Zusammenarbeit mit dem Wetterdienst der U. S. Air Force rekonstruiert (STROHM 1987). Demnach benötigten Luftmassen ca. 6 Tage vom europäischen Kontinent bis in die arktischen Regionen.

In Untersuchungen von SHEN & BOYLE (1987) dienen Korallen als Bleiindikator der Vergangenheit. Da Korallen ein gleichmäßiges Wachstum aufweisen sowie die Altersbestimmung verschiedener Schichten sehr gut möglich ist, wurden die Bleikonzentrationen in diesen Schichten analysiert und auf den Calciumanteil bezogen. Durch Korrelation mit den Bleikonzentrationen im Oberflächenwasser, sowie die Bestimmung der Gleichgewichtskonstanten gelang es Rückschlüsse auf die Bleikonzentrationen im Oberflächenwasser der Vergangenheit zu ziehen. Für den Südpazifik und das Jahr 1920 wurde eine Bleikonzentration von $0,016 - 0,019 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ ermittelt, für die Sargasso See lagen die Werte zwischen $0,015 - 0,020 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ mit einem Anstieg im Jahre 1923 auf $0,090 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ und $0,240 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ im Jahre 1971.

Die hohen Bleikonzentrationen im Meereis und Gletschereis, die 1990 im Bereich der ostgrönländischen Polynya analysiert wurden, reflektieren ebenfalls hohe atmosphärische Einträge (Tab. 11). Die Eisschicht bildet in den Wintermonaten ein Bleireservoir, erst mit Beginn der Eisschmelze wird das Blei in den umgebenden Wasserkörper eingetragen. Diese Erklärung scheint realistisch, zumal sich die Bleikonzentrationen im Oberflächenwasser des ostgrönländischen Schelfs im Vergleich der beiden Jahre 1989 und 1990 stark unterscheiden.

In mehreren 1000 Jahre alten Eiskernen wurden Bleikonzentrationen von $0,007 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ gemessen (WOLFF & PEEL 1985).

Nach SCHAULE (1979) ist die Verweilzeit von Blei im Oberflächenwasser küstennaher Stationen sehr gering, da Blei primär mit terrigenen Partikeln assoziiert ist und mit diesen in tiefere Wasserschichten transportiert wird.

Aus Untersuchungen von CAPODAGLIO et al. (1990) geht hervor, daß ca. 50 % des gesamten Bleis im Meerwasser an die organische Fraktion komplexiert sind. Somit würden sich auch die Konzentrationsmaxima an den einzelnen Tiefenstationen 1990 im Ostatlantik erklären lassen. Da sie im Bereich der Sauerstoffminima auftreten, kann angenommen werden, daß der organisch adsorbierte Bleianteil durch die Abbauprozesse in Lösung geht und die Sprungschicht nicht passieren kann.

Nach RAHN (1976), wird atmosphärisches Blei primär von Partikeln $<0,1 \mu\text{m}$ akkumuliert. Diese Fraktion entsteht durch anthropogene Hochtemperaturprozesse. Weiterhin ist die Löslichkeit des Bleis im Seewasser besser als die der Elemente Al, Si, Fe, die primär an mineralogische Aerosole assoziiert sind. Unter der Annahme, daß 90 % des atmosphärischen Bleis in den Ozean eingetragen wird, liegt die Löslichkeit für Blei im Seewasser zwischen 13 - 90 %.

Vergleiche zwischen den Bleikonzentrationen aus dem Oberflächenwasser der hier untersuchten geographischen Regionen, ergaben die niedrigsten Durchschnittskonzentrationen mit $0,05 - 0,06 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Blei für den Südatlantik, im Nordatlantik steigen sie bis um den Faktor 5 (Westwinddrift) an, und sind vergleichbar zu den Konzentrationen im atlantischen Einflußbereich der Grönlandsee. Im westlichen Teil auf dem ostgrönländischen Schelf sind die Bleikonzentrationen im Oberflächenbereich dagegen starken jahreszeitlichen Fluktuationen unterlegen, die sich aus der Eisschmelze ergeben. Die in dieser Arbeit vorgestellten Werte sind damit nur eine Momentaufnahme im Jahreszyklus.

6.2.3. Kupfer

Kupfer gehört zu den essentiellen Spurenmetallen im Meerwasser, es kann als CuCO_3 , $\text{Cu}(\text{OH})^+$, als freies Cu^{2+} - Ion und als gelöstes, organisch komplexiertes Kupfer vorliegen. Die Konzentrationen im offenen Ozean liegen zwischen $0,5 - 6 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$. Die vertikale Verteilung im Pazifik wird durch einen linearen Anstieg mit der Tiefe charakterisiert. Während die Regeneration von Phosphat mit den analogen Metallen schon in geringeren Tiefen und die von Silikat mit den entsprechenden Metallen erst im unteren Teil der Wassersäule erfolgt, zeigt Cu im Tiefenwasser keine Regeneration, sie findet erst im Sediment statt (BRULAND & FRANKS 1983). Das Tiefenwasser wird mit gelöstem Kupfer aus dem Sediment angereichert und nimmt dann an der Zirkulation des Tiefenwassers teil. In den Wassermassen über den Kontinentalschelfen wird die Kupferverteilung ebenfalls

durch Austauschprozesse mit dem Sediment beeinflusst, indem die Schelf-sedimente als Kupferquelle für die darüberliegenden Wassermassen fungieren (KRAMER 1982; KREMLING 1983).

Experimente zur Anreicherung von gelöstem Kupfer im Bodenwasser wurden von PAULSON et al. (1991) durchgeführt, dabei wurde die Lösung von Kupfer aus marinem organisch suspendiertem Material und aus Abwasserpartikeln untersucht. Es stellte sich heraus, daß ca. 33 % des Kupfers, das an Partikel $> 53 \mu\text{m}$ gebunden vorlag gelöst wurde, während aus den Partikeln $< 53 \mu\text{m}$ nur 5 % des gesamten gebundenen Kupfers in Lösung gingen.

Die Autoren vermuten, daß die Anreicherungsprozesse im Tiefenwasser nicht primär auf Rücklösungsprozesse aus dem Sediment zurückzuführen sind, sondern auf den Eintrag von sedimentierendem organischem Material, daß nach kurzer Zeit Kupfer in die gelöste Phase freigibt.

Nach COALE & BRULAND (1988) liegen fast 100 % des Kupfers im Oberflächenwasser in der gelösten, organisch komplexierten Fraktion vor. Bei 1000 m Tiefe reduziert sich dieser Anteil auf 50 - 70 %.

Die niedrigsten Oberflächenkonzentrationen für Kupfer wurden im zentralen Wirbel des Nord-Pazifiks mit $0,5 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ gemessen (BRULAND 1980). Im Vergleich dazu sind die Konzentrationen in der Sargasso See mit $1,2 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ erhöht (BOYLE et al. 1981; BRULAND & FRANKS 1983). Erhöhte Konzentrationen in den Küstenbereichen sind meistens auch mit erhöhten Mangankonzentrationen assoziiert.

Die niedrigsten Kupferkonzentrationen in dieser Arbeit wurden mit $0,7 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ im Südatlantik gemessen, im Nordatlantik sind sie ca. um den Faktor 2 und im Bereich der Grönlandsee um den Faktor 3 höher. Die höchsten Konzentrationen wurden auf dem ostgrönländischem Schelf mit bis zu $5 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ angetroffen. Die Konzentrationen im Tiefenwasserkörper des Atlantiks erreichten Werte zwischen 2 - 3 $\text{nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Auffällig sind die Korrelationen zwischen Kupfer und Silikat für den Oberflächenbereich der Arktis, die auf einen terrigenen Eintrag mit den Flüssen zurückgeführt wurden. Für die signifikanten Korrelationen zwischen Kupfer und Silikat über alle Tiefenprofile im Ostatlantik gibt es keine Erklärung.

Zwischen Silikat und Zink wurden signifikante Verhältnisse von BRULAND et al. (1978b) publiziert und Untersuchungen von RUETER et al. (1981) und MOREL et al. (1983) ergaben, daß Kupfer und Zink bei der Silikataufnahme durch Diatomeen

konkurrieren. Dabei übt Kupfer primär eine hemmende Wirkung auf die Wachstumsrate und sekundär auf die Silikataufnahme aus, weiterhin ist diese hemmende Wirkung abhängig von dem Verhältnis der Ionenaktivitäten zwischen Kupfer und Zink.

YEATS (1988) und YEATS & WESTERLUND (1991) fanden reziproke Beziehungen zwischen den Kupfer-, Mangan-, sowie den Nickelkonzentrationen und dem Salzgehalt im Bereich der kanadischen Arktis. Mit ansteigenden Metallkonzentrationen nahmen die Salzgehalte im Oberflächenwasser ab. Sie führen dieses Ergebnis primär auf die Süßwassereinträge durch die Flüsse zurück, aber schließen Einträge über die Atmosphäre sowie Austauschprozesse mit den Schelfsedimenten nicht aus.

Auch MOORE (1981) fand, daß das hohe Kupferangebot in der Arktis auf die Landabflüsse des eurasischen Kontinents zurückzuführen ist, und die Nährstoffe vielleicht einen Einfluß auf die Kupferverteilung haben könnten.

6.2.4. Zink

Zink liegt im Meerwasser wahrscheinlich als Hydroxy-, Carbonato- und Chlorokomplex sowie als freies Ion vor. Die vertikale Verteilung entspricht dem C2-Typ. Zink ist ein guter Indikator zur Überprüfung von Probenkontaminationen, es gehört neben Blei und Eisen zu den Elementen, deren Konzentrationen aufgrund des Kontaminationsrisikos sehr schwierig zu bestimmen sind.

Im atlantischen Oberflächenwasser gehen die Zinkkonzentrationen auf Werte um $0,3 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ zurück (Diese Arbeit) (Tab.: 10). Damit konnte erstmals die Zinkverteilung über den gesamten Ozean gezeigt werden.

BRULAND et al. (1978 b) publizierte für den Nord-Ost-Pazifik Konzentrationen um $0,2 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ in der Oberfläche und bis zu $9 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ im Tiefenwasser. Es wurden signifikante Korrelationen zu Silikat aufgezeigt.

Bei Zinkmangel (ANDERSON et al., 1978) wird die Silikataufnahme in Diatomeen eingeschränkt. Die Wachstums limitierende Konzentrationsgrenze liegt bei $10^{-11} \text{ mol [Zn}^{2+}]$, darüber wachsen die Algen mit maximaler Wachstumsrate. Bei Ionenaktivitäten von $10^{-8} \text{ mol [Zn}^{2+}]$ wurden toxische Reaktionen beobachtet. Zwischen Zinkmangel und toxischen Konzentrationen liegen nur 2 - 3 Zehnerpotenzen.

Die Konzentrationen im arktischen Oberflächenwasser liegen zwischen $1 - 5 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ (YEATS 1988; YEATS & WESTERLUND 1991) und sind damit vergleich-

bar mit den in dieser Arbeit ermittelten Konzentrationen für den arktischen Bereich (Tab.: 9). Lineare Korrelationen zu den Nährstoffen konnten nicht gezeigt werden. Die hohen Zinkkonzentrationen im Meer- und Gletschereis ($5 - 14 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) (Tab.: 11) bilden ein Zinkdepot, sodaß Zink, ähnlich wie Blei während der Eisschmelze in den umgebenden Wasserkörper eingetragen wird. Hinweise dafür sind, wenn Probenkontaminationen ausgeschlossen werden, die im Jahre 1990 gegenüber 1989 erhöhten Zinkkonzentrationen auf dem ostgrönländischen Schelf.

6.3. Saisonale und regionale Veränderungen der Spurenmetallkonzentrationen im Wasser

Frühe saisonale und regionale Untersuchungen zu den Metallkonzentrationen im Wasser und im Plankton wurden von KNAUER & MARTIN (1973); MARTIN & KNAUER (1973); MARTIN & BROENKOW (1975) zwischen der kalifornischen Küstenregion und Hawaii durchgeführt. Während die publizierten Metallkonzentrationen im Wasser aus heutiger Sicht nicht realistisch sind, zeigten die Metallkonzentrationen im Plankton saisonale Unterschiede. So waren die Konzentrationen im Plankton während der Auftriebsperioden höher, im umgebenden Wasserkörper wurden aber keine Konzentrationsunterschiede festgestellt.

Saisonale Abhängigkeiten im Oberflächenwasser des offenen Nordatlantiks (KREMLING & POHL 1989) zeigen Cadmiumkonzentrationen zwischen $0,024 - 0,078 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ im März und $0,006 - 0,035 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ im Juni/Juli. Eine Korrelation zwischen Cadmium und Phosphat konnte nur für die Situation im Frühjahr gefunden werden mit einem $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ Verhältnis von $1,7 \times 10^{-4}$. Für Kupfer wurden keine saisonalen Abhängigkeiten festgestellt.

Regionale Änderungen ergaben sich beim Übergang vom offenen Ozean auf den nordwesteuropäischen Schelf, es war ein Anstieg der Cadmiumkonzentrationen um den Faktor 5 und der Kupferkonzentrationen um den Faktor 3 (Eingang Englischer Kanal) zu verzeichnen, der im wesentlichen auf Flußwasserzufuhren und den Metalleintrag aus den Schelfsedimenten zurückgeführt wurde (KREMLING 1985).

Ähnliche Verhältnisse wurden für die Cadmium- und Kupferverteilungen im Oberflächenbereich der Framstraße und der Grönlandsee im Vergleich der Jahre 1989 und 1990 gefunden (diese Arbeit).

Die regionalen Änderungen beziehen sich auf die Schelfregion vor Ostgrönland im Jahre 1989. Im Einflußbereich des Schelfes sind die Cadmiumkonzentrationen am

höchsten, im polaren Frontenbereich nehmen sie um den Faktor 3 - 4 ab. Im Mischwasserbereich der Grönlandsee liegen mittlere Konzentrationen um $0,1 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ vor, sie sind um den Faktor 2 höher als im Frontenbereich und um den Faktor 2 niedriger als auf dem Schelf.

Saisonale Unterschiede für Cadmium lassen sich im Vergleich der beiden Jahrgänge 1989 und 1990 sowie dem Vergleich des südlicheren Grönlandseeschnittes mit dem nördlicheren Framstraßenschnitt erfassen.

Periode 1 - Framstraße 1989 - Beginn der Primärproduktion:

Es bestehen lineare Beziehungen zwischen Cadmium und den Nährstoffen, eine negative Korrelation zwischen Cadmium und Chlorophyll a deutet sich an. Aus den Korrelationsgleichungen zum $\Delta\text{Cd}:\Delta\text{P}$ Verhältnis läßt sich noch eine weitere Information ableiten. Bei vollständiger Zehrung des Phosphats durch biologische Aktivitäten ist die Restkonzentration $0,029 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ Cadmium.

Die Cadmiumelimination berechnet sich dann mit 78,2 % aus der Differenz Cadmiumkonzentration unter der Annahme von Phosphat = 0 und Chlorophyll a=0.

Periode 2 - Grönlandsee 1989 - Fortgeschrittenes Stadium der Primärproduktion:

Signifikante Korrelationen zwischen Cadmium und den Nährstoffen, sowie eine signifikant-reziproke Beziehung zu Chlorophyll a lassen auf eine Cadmiumfixierung durch das Phytoplankton schließen. Die Restkonzentration an Cadmium errechnet sich mit $0,024 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, sie ist niedriger als in der 1. Periode und die Cadmiumelimination ist mit 81,7 % höher als in der 1. Periode.

Diese Restkonzentrationen zwischen $0,024 - 0,029 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ im Oberflächenbereich sind vergleichbar mit den Cadmiumkonzentrationen des Nord-Atlantiks beim Übergang von der Frühjahrssituation zur Sommersituation (KREMLING & POHL, 1989).

Periode 3 - Framstraße 1990 - Ende der Primärproduktion:

Es bestehen keine signifikanten Korrelationen zwischen Cadmium, den Nährstoffen und Chlorophyll a, deshalb kann die Restkonzentration bzw. die Cadmiumelimination aus dem Wasser nicht berechnet werden. Durch die Nitratlimitierung ist die Primärproduktion im polaren Bereich abgeschlossen. In diesem polaren Bereich sind die Cadmiumkonzentrationen des Wassers im Vergleich zum Vorjahr auf über 50 % reduziert.

Eine weitere Ursache für die niedrigen Cadmiumkonzentrationen in diesem Bereich bilden die Schmelzwassereinträge, die somit zu einer Fehlinterpretation beitragen könnten.

Periode 4 - Grönlandsee 1990 - Zehrung der Primärproduktion:

Die Primärproduktion ist durch die biologischen Aktivitäten dezimiert. Die Cadmiumkonzentrationen sind nur im westlichen Bereich des Grönlandseewirbels zwischen 9° W - 2° E ca. um 50 % niedriger als im Vorjahr, für den gesamten Schnitt ergibt sich aus der signifikanten Korrelation zu Phosphat eine Restkonzentration an Cadmium von $0,05 \text{ nmol}\cdot\text{kg}^{-1}$, die höher ist als in den Perioden 1 und 2. Dafür gibt es zwei Erklärungen: 1990 wurde im Vergleich zum Vorjahr weniger Cadmium aus dem Wasser eliminiert, denn das niedrige Cadmium/Phosphatverhältnis von $0,9 \times 10^{-4}$ läßt auf ein hohes Phytoplanktonwachstum schließen oder es haben bereits Abbau- und Lösungsprozesse stattgefunden, welches allerdings unwahrscheinlich ist, da die Cadmiumkonzentrationen über den gesamten Schnitt niedriger bzw. ähnliche Konzentrationen wie im Vorjahr aufweisen.

Für Kupfer sind die Konzentrationen auf dem ostgrönländischen Schelf um den Faktor 2 - 3 höher als im Mischwasserbereich der Grönlandsee, und für Zink konnten 1989 keine regionalen Unterschiede in diesem Bereich gefunden werden. 1990 wurden allerdings erhöhte Konzentrationen gemessen, die nicht eindeutig zu interpretieren sind. Saisonale Unterschiede wurden weder für Kupfer noch für Zink festgestellt.

Für das Element Blei wurden 1989 im Oberflächenwasser des Schelfbereiches die niedrigsten Konzentrationen gemessen, es erfolgte eine Konzentrationszunahme in Richtung Osten. Während es in den eisfreien Regionen direkt in den Oberflächenwasserkörper eingetragen wird, wird das atmosphärische Blei auf dem ostgrönländischen Schelf durch die Eisschicht zurückgehalten, dabei wurden die maximalen atmosphärischen Bleieinträge in die Arktis während der Wintermonate registriert (WOLFF & PEEL 1985).

Saisonale Unterschiede wurden im Vergleich der beiden Jahre ebenfalls auf dem ostgrönländischen Schelf nachgewiesen, dieses Ergebnis wird auf den hohen Eintrag von Schmelzwasser zurückgeführt, denn gleichzeitig wurden sehr hohe Bleikonzentrationen im Meer- und Gletschereis festgestellt.

Regionale Unterschiede in den Bleikonzentrationen der Oberfläche wurden zwischen Nord- und Südatlantik sowie im Bereich der ITCZ gemessen. Die um den Faktor 4 höheren Bleikonzentrationen im Nordatlantik sind auf die atmosphärischen Einträge aus den industrialisierten Ländern zurückzuführen (BRÜGMANN et al. 1985; BOYLE et al. 1986; LAMBERT et al. 1991 a) (s. Kap. 6.2.2.).

6.4. Aufnahme von Metallen durch das Phytoplankton

SLAUENWHITE & WANGERSKY (1991) und WANGERSKY et al. (1989) untersuchten das Verhalten von Cadmium und Kupfer während der Planktonblüte unter in situ Bedingungen. Die gelösten Cadmiumkonzentrationen zeigten einen drastischen Rückgang zum Zeitpunkt der maximalen Phytoplanktonblüte, die Cadmiumelimination in den oberen 100 cm des Tankversuchs betrug 50 %. Dieses Ergebnis wird den scavenging-Prozessen zugeschrieben, Cadmium wird während der Planktonblüte in die Zellen eingebaut.

Für Kupfer wurde dagegen keine Affinität zu den Partikeln beobachtet. Organisch komplexiertes Kupfer zeigte einen nahezu linearen Anstieg mit zunehmender Zeit und ergab keine Korrelationen mit der Biomasse oder der Produktivität.

Kupfer unterliegt bestimmten Umverteilungsmechanismen in der gelösten Phase. Während der Primärproduktion wurde ein Übergang von gelöstem anorganischem Kupfer in gelöstes organisch komplexiertes Kupfer beobachtet, die Gesamtkonzentrationen an gelöstem Kupfer in der Wassersäule änderten sich dabei nicht.

Weiterführende Prozesse, wie der Konsum des Phytoplanktons durch Sekundärproduzenten sowie die Regeneration der Metalle aus den Kotpillen der Zooplankter, wurden in diesen Versuchen nicht berücksichtigt.

Für die vorliegende Arbeit ist dieses Ergebnis ein wichtiger Interpretationshinweis. Die Cadmiumelimination aus der Wassersäule ist vergleichbar mit den in dieser Arbeit errechneten Cadmiumeliminationen zwischen 78 - 82 % für die Oberflächenbereiche sowie 55 - 60 % an einzelnen Tiefenstationen in der Arktis.

Umverteilungsmechanismen in der gelösten Phase während der Primärproduktion könnten ein Hinweis auf die allgemein relativ konstanten gesamtgelösten Kupferkonzentrationen im Oberflächenwasser des Atlantiks und der Arktis im Vergleich der beiden Jahrgänge sein. Somit erscheint die negative Korrelation zwischen den gelösten Kupferkonzentrationen im Wasser und dem Chlorophyll a auf den beiden Arktisschnitten im Jahre 1989 eher ein Zufallsergebnis zu sein.

Dagegen sprechen Untersuchungen, die von BOYLE et al. (1977); MOORE (1978) und BREWER et al. (1980) im Nord-Pazifik durchgeführt wurden. Demnach spielen Partikel eine gravierende Rolle im Kupferkreislauf, denn die Abreicherung der Oberflächenkonzentrationen korrelieren mit der biologischen Produktivität, und diese steht wiederum im Zusammenhang mit der Remobilisation durch bakteriellen Abbau.

Daß es sich bei Cadmium um einen aktiven Einbau in das Phytoplankton handelt, postulieren ROMEO et al. (1985). Vermutungen einer aktiven Cadmiumaufnahme

durch das Phytoplankton wurden bestätigt, da fixierte Zellen kein Cadmium akkumulierten. Bis zu diesem Zeitpunkt war man davon ausgegangen, daß Cadmium mehr oder weniger zufällig an Phytoplanktonteilchen adsorbiert bzw. eingebaut wurde. Auch sind die Anreicherungsfaktoren von Cd, Pb, Cu, Zn in Planktonorganismen relativ zu den Konzentrationen im Meerwasser abhängig von der Spezies, in der sie vorliegen. Im Phytoplankton wurden höhere Metallkonzentrationen gemessen als im Zooplankton.

Entscheidend ist also die Bioverfügbarkeit der Metalle für die Zellen. Zum Beispiel sind die freien Ionen der Metalle Kupfer, Cadmium, Blei und Zink die chemischen Spezies mit der größten toxischen Wirkung auf das Phytoplankton (SUNDA & GUILLARD 1976; GÄCHTER et. al. 1978); Zooplankton (ANDREW et al. 1977; SUNDA et al. 1978) und Fisch (DAVIES et al. 1976; BENGTSSON, 1974; BENGTSSON et al. 1975). Den komplexierten Metallspezies schreibt man eine verminderte Toxizität zu.

6.5. Nahrungsselektion und Ingestionsverhalten von Copepoden

Copepoden sind in der Lage, ihre Nahrung selektiv auszuwählen. DONAGHAY & SMALL (1979) führten Fütterungsversuche unter in situ Bedingungen mit natürlichem Plankton als Futter durch. In den Experimenten ergab sich jeweils eine Bevorzugung bestimmter Phytoplankter als Futterorganismen, teilweise stellten diese bevorzugten Arten den Hauptanteil der Biomasse.

BARTHEL (1986) fand bei Fütterungsversuchen mit arktischen Copepoden, daß die Partikelgröße entscheidend für ein Selektionsverhalten war. Hier stehen vor allem die energetischen Aspekte im Vordergrund. Zur Deckung des Energiebedarfs ist es vorteilhafter große Zellen zu konsumieren, erst wenn auf Grund geringerer Konzentrationen das Umherschwimmen und Suchen nach großen Zellen zuviel Energie verbraucht, werden kleinere Zellen attraktiv.

Copepoden sind nach einer längeren Zeit des Hungerns nicht in der Lage, sofort voll aktiv ein Nahrungsangebot zu nutzen. Sie benötigen mehrere Tage, um die nötigen Verdauungsenzyme zu synthetisieren. HEAD & CONOVER (1983) fanden für diapausierende C5-Stadien von *C. hyperboreus*, daß bei der Fütterung mit bestimmten Phytoplanktern bei 8 - 9°C eine signifikante Enzymproduktion erst nach einer Woche eintrat, bei Temperaturen von 1 - 2°C erst nach zwei Wochen. Konnten die Copepoden die vorangegangene Eisalgenblüte nutzen, waren sie in der Lage die Planktonblüte vom ersten Tag an umzusetzen.

Außer den Algenzellen gibt es noch andere Partikel die in der Wassersäule sedimentieren, die Kotpillen spielen dabei eine sehr wichtige Rolle. Für Copepoden, die die Hauptbiomasse in der Grönlandsee darstellen, sind Kotpillen ein akzeptables Futter. Dadurch werden den Kotpillen mehrmals die nahrhaften Bestandteile entzogen, weiterhin erhöht sich der Grad der Remineralisierung des gefressenen Phytoplanktons und damit das Nährstoffangebot für die Algenzellen. Die Exkretionsproduktion der Copepoden ist somit geeignet, die Planktonblüte zu verlängern (SMITH, W. O. 1987; SMITH, S. L. 1988).

6.6. Metallkonzentrationen in Zooplanktonorganismen

Untersuchungen zum Spurenmetallgehalt in Zooplanktonorganismen wurden u. a. von MARTIN (1970); MARTIN & KNAUER (1973); BOHN & MCELROY (1976); BRÜGMANN (1978); HAMANAKA & TSUJITA (1981); SCHULZ - BALDES (1991) und in Exuvien und Kotpillen von BOOTHE & KNAUER (1972) sowie FOWLER (1977) publiziert (Tab.: 12 und Tab.: 13) worauf im folgenden vergleichend eingegangen werden soll.

Bei Spurenmetalluntersuchungen, die BRÜGMANN schon 1978 im Plankton des Auftriebsgebietes vor Westafrika durchführte, lagen die maximalen Häufigkeitsverteilungen in den Proben für Cadmium zwischen 8 - 10 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, für Blei zwischen 0 - 10 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ für Kupfer zwischen 5 - 15 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ und für Zink zwischen 50 - 150 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Die Planktonproben wurden als Gesamtplankton analysiert, eine Differenzierung zwischen Zoo- und Phytoplankton wurde nur begrenzt vorgenommen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen für die atlantischen Pontelliden vergleichbare Verteilungmaxima bei den Cadmiumkonzentrationen (9 - 11 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) und den Zinkkonzentrationen (60 - 130 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$). Die Kupferkonzentrationen (3 - 5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) und die Bleikonzentrationen (0,5 - 2 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) sind niedriger.

Baseline-Studien zu den Spurenmetallgehalten in Decapoden, Mysidaceen und Euphausiaceen wurden von RIDOUT et al. (1989) im Nord-Ost Atlantik durchgeführt, die Metallkonzentrationen zeigen Unterschiede innerhalb der untersuchten systematischen Gruppen auf, sie sind deshalb nicht direkt mit den Metallkonzentrationen in Copepoden vergleichbar. Während die Cadmiumkonzentrationen in Euphausiaceen mit 0,37 - 1,6 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ am niedrigsten sind, wurden in Mysidaceen 2,7 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ und in Decapoden bis zu 13,3 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ Cadmium analysiert. Sehr hohe Cadmiumkonzentrationen (16,1 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) wurden auch in den räuberisch lebenden Hyperiidern Amphipoden (MACDONALD & SPRAGUE 1988) gemessen.

Tab.: 12 Vergleichende Metallkonzentrationen in Copepoden

Autor	Region	Art	Cd $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	Pb $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	Cu $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	Zn $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$
MARTIN & KNAUER (1973)	Monterey Bay	Copepoda	4,1 +/- 1,75	3,3	10,5	113
SCHULZ - BALDES (1991)	Trop. Subtrop. Atlantik	Copepoda	8,5	1,7	14,4	
BOHN & MCELROY (1976)	Arktis	Copepoda	2,8 - 5,0		3,4 - 3,7	60 - 75
BRÜGMANN. (1978)	Nord - W. Atlantik	Zooplankton	8 - 10	0 - 10	5 - 15	50 - 150
MAC - DONALD et al. (1988)	Canad. Arctic	Copepoda C. hyperboreus	1,67 2,16, 2,37 3,04			
WITZEL, (1986)	Nordsee	Copepoda Februar April Juni	0,12-4,63 0,13-3,14 0,41-5,3	0,19-14,4 0,1-4,9 0,9-5,2	2,8-46 2,5-20,3 1,9-20,8	
HAMANAKA & TSUJITA (1981)	Behring See	Copepoda	6,63			116
Diese Arbeit	Grönlandsee 1989	C. hyperboreus	2,0 +/- 1,15	0,41 +/- 0,36	3,9 +/- 0,99	90,2 +/- 29,3
	Grönlandsee 1990	C. hyperboreus	4,0 +/- 2,9	0,5 +/- 0,46	4,7 +/- 1,85	79,5 +/- 30,1
	Grönlandsee 1989	C. finmarchicus	8,8 +/- 4,4	1,3 +/- 1,0	6,7 +/- 3,6	176 +/- 77
	Grönlandsee 1990	C. finmarchicus	6,6 +/- 2,5	1,95 +/- 1,95	8,4 +/- 3,2	152 +/- 49
	Framstraße 1989	C. hyperboreus	2,8 +/- 0,8	0,47 +/- 0,24	4,6 +/- 1,1	102 +/- 47,9
	Framstraße 1990	C. hyperboreus	2,7 +/- 0,8	0,57 +/- 0,4	6,2 +/- 1,3	58,9 +/- 20,5
	Framstraße 1989	C. finmarchicus	4,1 +/- 1,7	0,87 +/- 0,55	4,29 +/- 0,8	207 +/- 48
	Framstraße 1990	C. finmarchicus	8,9 +/- 5,0	0,5 +/- 0,26	7,9 +/- 1,5	176 +/- 60
	Atlantik 1989	Pontellidae	12,1 +/- 4,2	1,08 +/- 0,87	5,2 +/- 2,1	114 +/- 60

In der vorliegenden Arbeit wurden für die Cadmiumkonzentrationen signifikante Unterschiede zwischen den atlantischen Pontelliden und den arktischen Copepoden nachgewiesen. Dieses ist ein wichtiges Ergebnis, das auf eine Cadmiumaufnahme über die Nahrung zurückgeführt wird. Die höheren Konzentrationen in den Pontelliden wurden auf ihre ganzjährigen Freßaktivitäten in

der euphotischen Zone, der damit verbundenen stetigen Cadmiumelimination durch das Phytoplankton und der Akkumulation in den Organismen zurückgeführt, während die arktischen Copepoden ihre Nahrungsaufnahme auf einige Wochen im Jahr beschränken müssen.

Signifikante Korrelationen zwischen den Cadmiumkonzentrationen im Wasser und in Copepoden über die Tiefenprofile zeigten reziproke Beziehungen. An der Oberfläche wurden die höchsten und in der Tiefe die niedrigsten Konzentrationen in den Tieren analysiert. WEIKERT (1973) publizierte, daß sich die Arten in der Oberfläche überwiegend herbivor und die Arten in der Tiefe überwiegend carnivor ernähren. In diesem Zusammenhang geben die gelösten und partikulär fixierten Cadmiumkonzentrationen über das Tiefenprofil im Angola Becken einen weiteren Hinweis. Nur 12 % des Cadmiums liegt in der partikulären Phase vor, somit wäre die Cadmiumaufnahme über die Nahrung ebenfalls geringer als in der Oberfläche. Die Zusammenhänge, die zu diesen Ergebnissen führten wurden in Kap.: 5.1.2.2. eingehend analysiert. Direkte Korrelationen zwischen den Cadmiumkonzentrationen im Wasser und in Organismen sind nur begrenzt aussagekräftig, besser ist es, diese Ergebnisse im Zusammenhang mit der Primärproduktion und der damit verbundenen Cadmiumelimination aus dem Wasser zu interpretieren.

Mit den Korrelationen zwischen den Cadmiumkonzentrationen in den Organismen und Chlorophyll a als Parameter für die Primärproduktion konnte ein hypothetischer Kreislauf für die Cadmiumakkumulation in den Organismen über das Phytoplankton beschrieben werden. Einen weiteren Hinweis für die Cadmiumaufnahme über die Nahrung sind die hohen Konzentrationen in den Kotpillen von Euphausiaceen Tab.: 13 (FOWLER 1977).

Die theoretische Cadmiumaufnahme von Copepoden wurde für einen 30-tägigen Phytoplanktonkonsum mit $0,45 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ berechnet. Sie liegt um den Faktor 6,5 niedriger als der Meßwert. Der Frage nachzugehen, ob die Cadmiumdifferenz aus dem Wasser über die Körperoberfläche akkumuliert wird, wäre rein spekulativ. Es muß eher davon ausgegangen werden, daß die Konsumeriode über einen längeren Zeitraum besteht, daß die Tiere durchschnittlich 2 Jahre alt sind und damit schon länger Cadmium akkumulieren, und das die Kotpillen mit wesentlich höheren Cadmiumkonzentrationen ebenfalls als Futter akzeptiert werden (Kap.: 6.5.).

Untersuchungen von WITZEL (1986) in Copepoden aus der Nordsee zeigen die niedrigsten Cadmiumkonzentrationen von durchschnittlich $0,87\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ im Februar, also vor Beginn der Phytoplanktonblüte, mittlere Werte von $0,92 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ im April und die höchsten Werte von $2,0 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ im Juni während oder nach dem Abschluß der Primärproduktion.

Auch YAMAMOTO et al. (1987) fanden in antarktischen Krill (*Euphausia superba*), daß die Metallkonzentrationen in den Tieren saisonal unterschiedlich waren. Die höchsten Konzentrationen wurden für Cadmium in den Monaten Januar und Februar gemessen, also während des antarktischen Sommers, wenn das Nahrungsangebot am höchsten ist.

Die Kupfer- und Zinkkonzentrationen in Decapoden (RAINBOW 1988; RIDOUT et al. 1989) unterliegen regulierenden Mechanismen und zeigen Abhängigkeiten zwischen der Metallkonzentration im Tier und der Tiergröße. Es wird angenommen, daß kleinere Tiere weniger Kupfer benötigen, um ihren enzymatischen Ansprüchen zu genügen, weiterhin ist der Haemocyaningehalt in kleineren Tieren ebenfalls geringer.

Diese Resultate können mit den eigenen Ergebnissen nur zum Teil bestätigt werden. Es wurden nur adulte Organismen untersucht, die innerhalb der hier formulierten 9 Kategorien keine signifikanten Unterschiede in den Kupferkonzentrationen und nur für 3 Kategorien signifikante Unterschiede in den Zinkkonzentrationen zeigten. Dieses Ergebnis läßt Rückschlüsse auf physiologische Regulierungen zu. Der Widerspruch geht dahin, daß zwischen den drei hier untersuchten Arten Größenunterschiede bestehen, für die keine signifikant unterschiedlichen Kupferkonzentrationen festgestellt werden konnten.

Dieses Ergebnis schließt allerdings nicht aus, daß dennoch Konzentrationsunterschiede zwischen den einzelnen Copepodenarten aufgrund ihrer Größe und unterschiedlicher Stoffwechselaktivitäten bestehen.

Die Interpretation der Bleikonzentrationen in Copepoden ist schwierig, da es nur wenige vergleichende Daten in der Literatur gibt, die meistens höhere Werte beinhalten. Signifikante Unterschiede wurden zwischen den atlantischen Pontelliden ($1,08 \pm 0,87 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) und *C. hyperboreus* ($0,41 - 0,5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) in der Grönlandsee berechnet. Ebenfalls bestehen signifikante Unterschiede zwischen *C. hyperboreus* und *C. finmarchicus* aus der Grönlandsee.

Die Größe der einzelnen Copepodenarten nimmt in der Reihenfolge *C. hyperboreus* > Pontellidae > *C. finmarchicus* ab. Berücksichtigt man weiterhin das Oberflächen-/Volumenverhältnis so nimmt es in der Reihenfolge *C. hyperboreus* < Pontellidae < *C. finmarchicus* zu. Die Bleikonzentrationen nehmen ebenfalls in der folgenden Reihenfolge zu; *C. hyperboreus* < Pontellidae < *C. finmarchicus*.

Daraus folgt, daß Blei sehr wahrscheinlich primär durch Oberflächenadsorption, bzw. Chelatisierung im Chitinpanzer der Tiere fixiert wird, zumal die Bleikonzentrationen in den Chitinexuvien von Euphausiaceen sehr hoch sind (s. Tab.: 13) (FOWLER 1977).

Auch aus den Korrelationen zwischen den Bleikonzentrationen im Wasser, mit den Konzentrationen in Copepoden, sowie Chlorophyll a geht ebenfalls hervor, daß Blei nicht primär über die Nahrung aufgenommen wird, sondern andere Mechanismen entscheidend sind.

Es muß davon ausgegangen werden, daß die Metallaufnahme und Akkumulation durch das Zooplankton verschiedenen elementspezifischen Mechanismen unterliegen, wobei Cadmium primär über die Nahrung aufgenommen wird.

Für Blei kann primär das Adsorptionsvermögen bzw. die Komplexbildung an der chitinhaltigen Oberfläche angenommen werden, durch die Häutungen wird es dann wieder eliminiert und in tiefere Schichten transportiert.

Die Elemente Kupfer und Zink scheinen primär stoffwechselphysiologischen aktiven Mechanismen zu unterliegen, die die Aufnahme und die Abgabe der Metalle regulieren.

6.7. Transport von Metallen durch das Zooplankton

Für die gelösten Spurenmetalle sind Zusammenhänge zwischen Primärproduzenten, herbivoren Zooplanktern und den Exkretionsprodukten der Tiere von großer Bedeutung. Dabei ist der Hauptanteil der Spurenmetalle in Planktonproben direkt mit den nicht nicht-skeletalen organischen Phasen des Planktons assoziiert. Diese organischen Fraktionen sind sehr labil, und werden sehr schnell in das Meerwasser freigesetzt (COLLIER & EDMOND 1984).

Chitin und Chitosan, die deacetylierte Form des Chitins sind Hauptbestandteile des Außenskeletts von Copepoden. Untersuchungen von SUBRAMANIAN (1978) und YOSHINARI & SUBRAMANIAN (1976) haben ergeben, daß Metalle wie Blei, Kupfer und Zink Chitin-Metall-Chelate bilden und deshalb die Metalle im Außenskelett der Tiere angereichert werden. Nach der Häutung ist das Chitin weiterhin als Bestandteil in der Exuvie enthalten. Während die Metallchelate des Chitins instabil sind und von Bakterien sehr schnell abgebaut werden, sind die Metallchelate des Chitosans stabiler.

Auch die Kotpillen der Crustaceen sind von einer chitinhaltigen Membran umhüllt (TURNER & FERRANTE 1979) und wurden nahezu unverändert im Sediment nachgewiesen (PORTER 1984).

MARTIN (1970) vermutete, daß Copepoden größere Mengen an Metallen durch Oberflächenadsorption konzentrieren. Bei Vergleichen zwischen Copepoden aus

der Oberfläche und Tieren aus 100 m Tiefe fand er in den Tiefenproben höhere Durchschnittskonzentrationen für die Elemente Cu, Zn und Pb. Normalerweise sind die Copepodenarten, die die Oberfläche bewohnen, kleiner als die Copepoden aus der Tiefe (HARDY 1965). Daraus folgt, daß das Oberflächen-/Volumenverhältnis mit zunehmender Tiefe abnimmt. Somit müßte man, wenn Metalle wie angenommen durch Oberflächenadsorption konzentriert werden, niedrigere Konzentrationen in der Tiefe als in der Oberfläche finden. Da hier die umgekehrte Situation vorlag, wurde das Ergebnis mit dem kritischen Faktor Zeit interpretiert. So wurde davon ausgegangen, daß die Copepoden an der Oberfläche aufgrund des reichlichen Nahrungsangebotes schneller wachsen und somit die Häutungen in kürzeren Zeitabständen verlaufen, als es bei den Tieren in der Tiefe der Fall ist. Deshalb sind die Tiere aus der Oberfläche nicht in der Lage, in diesen kurzen Zeiträumen hohe Metallkonzentrationen zu adsorbieren und enthalten niedrigere Metallkonzentrationen als Tiere aus der Tiefe. Die Vermutungen gehen dahin, daß die Metalle primär über das Außenskelett, also den Chitinpanzer transportiert werden.

Ein sehr wichtiger Aspekt wurde hier nicht berücksichtigt, und zwar gibt es nach GOLDBERG (1957; 1971) zwei Möglichkeiten für Zooplanktonorganismen Metalle aus dem Meerwasser anzureichern, zum einen durch direkte Diffusionsmechanismen aus dem Wasser, zum anderen über die Nahrung.

FOWLER (1977) fand auffällig hohe Metallkonzentrationen in den Kotpillen von Euphausiaceen (Tab.: 13), in ihren Exuvien mittlere und in den Tieren selbst die niedrigsten Metallkonzentrationen. Eine Ausnahme bildet das Element Kupfer, welches in den Tieren etwas höhere Konzentrationen zeigt als in den Exuvien. Dieses Ergebnis ist zu erwarten, denn Kupfer ist als respiratorischer Blutfarbstoff im Hämocyanin der Crustaceen enthalten. Blei zeigt dagegen auch sehr hohe Konzentrationen in den Exuvien, sie sind nur ca. 33 % niedriger als in den Kotpillen.

Tab.: 13 Metallkonzentrationen in Euphausiaceen aus dem Mittelmeer im Gesamtkörper, Exuvien und Kotpillen, bezogen auf das Trockengewicht (nach FOWLER 1977).

	Cd $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	Pb $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	Cu $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	Zn $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$
Körper	0,74	1,1	48	62
Exuvien	2,1	22	35	146
Kotpillen	9,6	34	226	950

Ungeklärt ist allerdings, wie die Metalle von den Kotpillen fixiert werden. Zum einen besteht die Möglichkeit, daß die Metalle bereits durch das Phytoplankton aus dem Wasser eliminiert werden, von Zooplanktern über die Nahrung aufgenommen und sofern sie nicht bioverfügbar sind, in konzentrierter Form wieder ausgeschieden werden. Zum anderen gibt es die Möglichkeit, daß die Metalle von absinkenden Kotpillen adsorbiert und in tiefere Wassermassen transportiert bzw. von den Copepoden erneut als Futter akzeptiert werden. Dieses dürfte mit einer der Ursachen für die hohen Anreicherungsfaktoren der Metalle in den Copepoden gegenüber Wasser sein. Allerdings ist nicht geklärt, welchen Effekt die erneute Verdauung auf die Akkumulation der Metalle in den Organismen oder auf die Löslichkeit der Metalle in den Exkretionsprodukten hat.

Biogene Partikel spielen eine wichtige Rolle in der vertikalen und horizontalen Verteilung der Spurenmetalle im Wasser. Aus geochemischer Sicht sind Mechanismen von Interesse, die die Adsorption bzw. Fixierung an oder in Partikel, die Aufnahme von Metallen in Organismen und die Elimination bzw. Sedimentation aus der Wassersäule berücksichtigen.

Aus biologischer Sicht sollte die Frage gestellt werden, welchen Einfluß Organismen auf die Löslichkeit der Metalle in der Wassersäule ausüben.

Eine Quantifizierung des Stoff- bzw. Spurenmetalltransportes zwischen den einzelnen Kompartimenten, bedingt durch die biologischen Parameter Phyto- und Zooplankton steht bisher aus und sollte bei zukünftigen Untersuchungen mit berücksichtigt werden.

7. LITERATURVERZEICHNIS

AAGAARD, K.; COACHMAN, L. K. (1969): The East Greenland current north of Denmark strait. *Arctic*, 21, 181-200.

AAGAARD, K.; COACHMAN, L. K. (1977): Recent studies on Arctic currents. In: M. J. DUNBAR (ed.) *Polar Oceans*, Arctic Institute of North America, pp. 87-99.

ANDERSON, M. A.; MOREL, F. M. M.; GUILLARD, R. R. L. (1978): Growth limitation of a coastal diatom by low zinc ion activity. *Nature*, 276, 70-71.

ANDERSON, L.; DYRSSEN, D. (1981): Chemical constituents of the Arctic Ocean in the Svalbard area. *Oceanol. Acta*, Vol.4/3, 305-312.

ANDREW, R. W.; BIESSINGER, K. F.; GLASS, G. E. (1977): Effects of inorganic complexing on the toxicity of copper to *Daphnia magna*. *Water Res.*, 11, 309-315.

BARTHEL, K. G. (1986): Die Stellung dominanter Copepoden-Arten im Nahrungsgefüge typischer Wasserkörper der Grönland-See. *Berichte aus dem Institut für Meereskunde an der Christian-Albrechts-Universität Kiel*, Nr. 158, pp. 107.

BECKER, H. (1991): Bilanzierung und Identifizierung von Nährstoffen und gelösten organischen Stickstoffverbindungen in der Grönlandsee. *Dissertationsarbeit*, Alfred - Wegener - Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, Columbusstraße, pp.113.

BÖHNECKE, G.; HENTSCHEL, E.; WATTENBERG, H. (1930): Über die hydrographischen, chemischen und biologischen Verhältnisse an der Meeresoberfläche zwischen Island und Grönland. *Ann. d. Hydr.*, 58/7, 233-250.

BOHN, A.; MCELROY, R. O.; (1976): Trace metals (As, Cd, Cu, Fe and Zn) in arctic cod *Boreo gadus saida* and selected zooplankton from Strathcona sound, northern Baffin Island. *J. Fish. Res. Board Can.*, Vol. 33, 2836- 2840.

BOOTHE, P. N.; KNAUER, G. A. (1972): The possible importance of fecal material in the biological amplification of trace and heavy metals. *Limnol. Oceanogr.* Vol. 17, 270-274.

BOUSTRON, C. (1979): Trace element content of Greenland snows along an east - west transect. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43, 1253 - 1258.

BOXSHALL, G. A.; SCHMINKE, H. K. (eds.), (1988): *Biology of copepods. Proceedings of the third international conference of copepoda. Developments in hydrobiology.* DH 47. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp.639.

BOYLE, E. A.; SCLATER, F.; EDMOND, J. M. (1976): On the marine geochemistry of cadmium. *Nature*, Vol. 263 , Sept. 2, 42-44.

BOYLE, E. A.; EDMOND, J. M. (1977a): Determination of copper, nickel and cadmium in sea water by APDC chelate coprecipitation and flameless Atomic Absorption Spectrometry. *Anal. Chim. Acta*, 91, 189-197.

BOYLE, E. A.; SCLATER, F.; EDMOND, J. M. (1977b): The distribution of dissolved copper in the Pacific. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 37, 38-54.

BOYLE, E. A.; HUESTED, S.; JONES, S. P. (1981): On the distribution of copper, nickel, and cadmium in the surface waters of the North Atlantic and North Pacific Ocean. *J. Geophys. Res.*, 86, C9, 8048-8066.

BOYLE, E. A.; HUESTED, S. (1983): Aspects of the surface distributions of Cu, Ni, Cd and Pb in the North Atlantic and North Pacific. In: C. S. WONG; E. A. BOYLE; W. K. BRULAND; E.D. GOLDBERG (eds). *Trace metals in sea water*. Plenum Press, New York p. 379-393.

BOYLE, E. A.; CHAPNICK, S. D.; SHEN, G. T. (1986): Temporal variability of lead in the Western North Atlantic. *J. Geophys. Res.*, Vol. 91/C7, 8573-8593.

BOYLE, E. A. (1988): Cadmium: Chemical tracer of deepwater paleoceanography. *Paleoceanography*, 3/4, 471-489.

BREWER, P. G.; NOZAKI, Y.; SPENCER, D. W.; FLEER, A. P. (1980): Sediment trap experiments in the deep North Atlantic: isotopic and elemental fluxes. *J. Mar. Res.*, 38, 703-728.

BROEKER, W.S.; PENG, T.H. (eds.) (1982): *Tracers in the sea*. Eldigio Press, Columbia University, Palisades, New York 10964, pp.690.

BRÜGMANN, L.; NEHRING, D. (1977): Einige Bemerkungen zur Verteilung von Zn, Cd, Pb, Cu im Cap Blanc Auftriebsgebiet und im Saharastaub. *Beitr. z. Meeresk.* 39, 89-97.

BRÜGMANN, L. (1978): Zum Gehalt einiger Schwermetalle in marinen Organismen aus dem Auftriebsgebiet vor NW- Afrika. *Fisch. -Forsch.*, 16, 53-58.

BRÜGMANN, L.; DANIELSSON, L. G.; MAGNUSSON, B.; WESTERLUND, S. (1985): Lead in the North Sea and the North East Atlantic Ocean. *Mar. Chem.*, 16, 47-60.

BRULAND, K. W.; KNAUER, G. A.; MARTIN, J. H. (1978a): Cadmium in northeast Pacific water. *Limnol. Oceanogr.*, 23/4, 618-625

BRULAND, K. W.; KNAUER, G. A.; MARTIN, J. H. (1978b): Zinc in northeast Pacific water. *Nature*, Vol. 271, 741-743.

BRULAND, K. W. (1980): Oceanographic distributions of cadmium, zinc, nickel and copper in the North Pacific. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 47, 176-198.

BRULAND, K. W. (1983): Trace elements in sea-water. In: J. P. RILEY & R. CHESTER (eds.) *Chemical Oceanography*, 8, Academic Press, London, 157-220.

BRULAND, K. W.; FRANKS, R. P. (1983): Mn, Ni, Cu, Zn and Cd in the western north atlantic. In: C. S. WONG; E. A. BOYLE; W. K. BRULAND; E. D. GOLDBERG (eds). Trace metals in sea water. Plenum Press, New York, 395-414.

BUAT- MENARD, P.; CHESSELET, R. (1979): Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter. Earth Planet. Sci. Lett., 42, 399-411.

CAPODAGLIO, G.; COALE, K. H. ; BRULAND, K. W. (1990): Lead speciation in surface waters of the Eastern North Pacific. Mar. Chem., 29, 221-233.

CARMARCK, E.; AAGAARD, K. (1973): On the deep water of the Greenland Sea. Deep Sea Res., 20, 687-715.

CHESSELET, R.; BUAT-MENARD, M.; LESTY, M.; JEHANNO, C. (1976): Heavy metals in oceanic microlayer derived aerosols, In: The skin of the ocean, abstracts of papers presented at the Joint Oceanographic Assembly, Edingburgh, Scotland (Food and Agricultural Organization, Rome).

CHESTER, R.; GRIFFITHS, A. G.; HIRST, J. M. (1979): The influence of soil-sized atmospheric particulates on the elemental chemistry of the deep-sea sediments of the northeastern Atlantic. Mar. Geol., 32, 141-154.

COACHMAN, L. K.; AAGAARD, K. (1974): Physical oceanography of the Arctic and Subarctic seas. In: Y. HERMANN (ed.). Marine geology and oceanography of the Arctic Seas. Springer Verlag, New York, pp. 1-72.

COALE, K. H.; BRULAND, K. W. (1988): Copper complexation in the Northeast Pacific. Limnol. Oceanogr., 33/5, 1084-1101.

CODISPOTI, L. A. (1968): Some results of an oceanographic survey in the northern Greenland Sea, summer 1964. Naval Oceanographic Office, Technical Report, Washington, 45pp.

COLLIER, R. W.; EDMOND, J. M. (1983): Plankton compositiones and trace element fluxes from the surface ocean. In: C. S. WONG; E. A. BOYLE; W. K. BRULAND; E. D. GOLDBERG (eds). Trace metals in sea water. Plenum Press, New York, p. 789-809.

COLLIER, R. W.; EDMOND, J. M. (1984): The trace element geochemistry of marine biogenic particulate matter. Prog. Oceanog., 13, 113-199.

CONOVER, R. J. (1967): Reproductive cycle, early development, and fecundity in laboratory populations of the copepod *Calanus hyperboreus*. Crustaceana, 13, 61-72.

CONOVER, R. J. (1988): Comparative life histories in the genera *Calanus* and *Neocalanus* in high latitudes of the northern hemisphere. Hydrobiologia 167/168, 127-142.

- DANIELSSON, L. G.; MAGNUSSON, B.; WESTERLUND, S. (1978): An improved metal extraction procedure for the determination of trace metals in sea-water by atomic absorption spectrometry with electrothermal atomization. *Anal. Chim. Acta*, 98, 47-57.
- DANIELSSON, L. G. (1980): Cadmium, cobalt, copper, iron, nickel and zinc in indian ocean water. *Mar. Chem.*, 8, 199-215.
- DANIELSSON, L. G.; WESTERLUND, S. (1983): Trace metals in the arctic ocean. In: C. S. WONG; E. A. BOYLE; W. K. BRULAND; E. D. GOLDBERG (eds). *Trace metals in sea water*. Plenum Press, New York, p. 85-97.
- DANIELSSON, L. G.; MAGNUSSON, B.; WESTERLUND, S. (1985): Cadmium, copper, iron, nickel and zinc in the North- East Atlantic Ocean. *Mar. Chem.*, 17, 23-41.
- DAVIDSON, C. I. ; CHU, L.; GRIMM, T. C.; NASTA, M. A.; QUAMOS, M. P. (1981): Wet and dry deposition of trace elements onto the Greenland ice sheet. *Atmos. Environ.*, 15, 1429 - 1437.
- DAVIES, P. H.; GOETTL, J. P.; SINLEY, J. R.; SMITH, N. F. (1976): Toxicity of silver to rainbow trout. (*Salmo gairdneri*). *Water Res.*, 10, 199-206.
- DEFANT, A. (ed.) (1932-1962): Deutsche Forschungsgemeinschaft: Wissenschaftliche Ergebnisse der Deutschen Atlantischen Expedition auf dem Forschungs- und Vermessungsschiff "METEOR" 1925-1927. 16 Bände, Berlin.
- DIETRICH, G.; KALLE, K. (eds.) (1965): *Allgemeine Meereskunde*. 2. Auflage, Gebr. Borntraeger, Berlin Nikolasse, pp. 492.
- DIETRICH, G.; ULRICH, J. (eds.) (1968): *Atlas zur Ozeanographie*, Hochschulatlanten, Bibliographisches Institut Mannheim 307 a - 307 m pp. 76.
- DONAGHAY, P. L.; SMALL, L. F. (1979): Food selection capabilities of the estuarine copepod *Acartia clausi*. *Mar. Biol.*, 52, 137-146.
- DUINKER, J. C.; VAN ECK, G. T. M.; NOLTING, R. F. (1974): On the behaviour of copper, zinc, iron and manganese and evidence for mobilization processes in the Dutch Wadden Sea. *Netherl. J. Sea Res.* 8, 214-239.
- DUINKER, J.C.; HILLEBRAND, M.T.C.; NOLTING, R.F.; WELLERSHAUS, S. (1982b): The river Weser: Processes affecting the behaviour of metals and organochlorines during estuarine mixing. *Netherl. J. Sea Res.* 15, 170-195.
- EMERY, W. J.; MEINCKE, J.: (1986): Global water masses: Summary and review. *Oceanologica acta* 4, 383-391.
- ENGEL, D. W.; SUNDA, W. G.; FOWLER, B.A. (1981): Factors affecting trace metal uptake and toxicity to estuarine organisms. 1. Environmental parameters. In: W. B. VERNBERG, F. P. THURBERG, A. CALABRESE, F. J. VERNBERG (eds.). *Biological monitoring of marine pollutants*, Academic Press, New York, p. 127-144.

FLEGAL, A. R.; PATTERSON, C. C. (1983): Vertical concentration profiles of lead in the Central Pacific at 15°N and 20°S. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 64, 19-32.

FOWLER, S. W. (1977): Trace elements in zooplankton particulate products. *Nature*, Vol. 269, 51-53.

FOWLER, B. A.; CARMICHAEL, N. G.; SQUIBB, K. S.; ENGEL, D. W. (1981): Factors affecting trace metal uptake and toxicity to estuarine organisms. II Cellular mechanisms. In: W. B. VERNBERG, F. P. THURBERG, A. CALABRESE, F. J. VERNBERG (eds.). *Biological monitoring of marine pollutants*, Academic Press, New York, p. 145-163.

FREIMANN, P.; SCHMIDT, D.; SCHOMAKER, K. (1983): Mercos- A simple teflon sampler for ultratrace metal analysis in seawater. *Mar. Chem.*, 14, 43-48.

GÄCHTER, R.; DAVIS, J. S. MARES, A. (1978): Regulation of copper availability to phytoplankton by macromolecules in lake water. *Environ. Sci. Technol.*, 12, 1416-1421.

GARRITY, C.; RAMSEIER, R. (1989): FS "POLARSTERN" expedition data report, ARK VI/3, 1989, Microwave Group; Atmospheric environment service; York University; Ottawa River; Canada; pp. 102.

GARRITY, C. (1990): FS "POLARSTERN" expedition data report, ARK VII/2, 1990 Microwave Group; Atmospheric environment service; York University; Ottawa River; Canada; pp. 107.

GOLDBERG, E. D.; BAKER, M.; FOX, D. L. (1952): Microfiltration in oceanographic research 1. *J. Mar. Res.*, 11, 194-204.

GOLDBERG, E. D.; (1957): Biogeochemistry of trace metals. In: N. W. HEDGPETH (ed.). *Treatise on marine ecology and paleoecology 1* Geol. Soc. America, Memoir 67, 345-357.

GOLDBERG, E. D.; BROECKER, W. S.; GROSS, M. G.; TUREKIAN, K. K. (1971): Marine chemistry. In: *Radioactivity in the marine environment*. Prepared by the Panel on Radioactivity in the Marine environment of the committee on oceanography. National Academy of Sciences, Washington, D. C. 137-146.

GORSHKOV, S. G. (ed.): (1983): *World Ocean Atlas, 3, Arctic Ocean*, Pergamon Press, Oxford.

GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M.; KREMLING, K. (eds.): (1983): *Methods of Seawater analysis*. Verlag Chemie, Weinheim, pp.419.

HAGEN, E.; SCHEMAINDA, R. (1984): Der Guineadom im ostatlantischen Stromsystem. *Beitäge zur Meereskunde*, 51, 5-27.

- HAMANAKA, T.; TSUJITA, T. (1981): Cadmium and zinc concentrations in zooplankton in the subarctic region of the North Pacific. *J. oceanogr. soc. Jap.*, Vol. 37/4, 160-172.
- HARDY, A. C. (1965): *The open sea: Its natural history*. Houghton Mifflin, 355 pp.
- HEAD, E. J. H.; CONOVER, R.J. (1983): Induction of digestive enzymes in *Calanus hyperboreus*. *Mar. Biol. Lett.*, 4, 219-231.
- HELLAND-HANSEN, B.; NANSEN, F. (1909): *The Norwegian Sea: Its physical oceanography based upon the Norwegian researches 1900-1904*. Rep. Norw. Fish. Mar. Invest., 2, (1(2)), 390 pp.
- HELMERS, E.; MART, L.; SCHULZ-BALDES, M.; ERNST, W. (1990): Temporal and spatial variations of lead concentrations in Atlantic surface waters. *Mar. Pollut. Bull.*; Vol. 21/11, 515-518.
- HEMPEL, G. WEIKERT, H. (1972): The neuston of the subtropical and boreal Northeastern Atlantic Ocean. A review. *Mar. Biol.*, 13, 70-88.
- HERRING, P. J. (1967): The pigments of plankton at the sea surface. In: *Aspects of marine zoology*. Symp. zool. Soc. Lond., 19, 215-235.
- HERRON, M. M.; LANGWAY, C. C.; WEISS, H.; CRAGIN, J. H. (1977): Atmospheric trace metals and sulphate in the Greenland ice sheet. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 41, 915-920.
- HIRCHE, H. J. (1983): Overwintering of *Calanus finmarchicus* and *Calanus helgolandicus*. *Mar. Ecol Progr. Ser.*, 11, 281-290.
- HIRCHE, H. J. (1989): Spatial distribution of digestive enzyme activities of *Calanus finmarchicus* and *Calanus hyperboreus* in Fram Strait / Greenland Sea. *J. Plankt. Res.*, 11/3, 431-443.
- HYDES, D. J. (1982): Aluminium- a "reactive" metal in seawater. *Thalassia Jugosl.*, 18, 345-347.
- JOHANNESSEN, O.M.; JOHANNESSEN, J.A.; MORISON, J.; FARRELLY, B.A.; SVENDSEN, E.A.S. (1983): Oceanographic conditions in the marginal ice zone north of Svalbard in early fall 1979 with emphasis on mesoscale process. *J. Geophys. Res.*, 88, 2755-2769.
- JOHANNESSEN, O.M. (1986): Brief overview of the physical oceanography. In: B. G. HURDLE (ed.) *The Nordic Seas*. Springer Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, Tokyo, pp.103-128.
- KILLIWORTH, P. D. (1979): On "chimney" formations in the ocean. *Journal of Physical Oceanography*, 9, 531-554.

KNAUER, G. A.; MARTIN, J. H. (1973): Seasonal variations of Cadmium, copper, manganese, lead and zinc in water and phytoplankton in Monterey Bay, California. *Limnol. Oceanogr.*, 18, 597-604.

KNAUER, G. A.; MARTIN, J. H. (1983a): The cycle of living and dead particulate organic matter in the pelagic environment in relation to trace metals. In: C. S. WONG; E. A. BOYLE; W. K. BRULAND; E.D. GOLDBERG (eds). *Trace metals in sea water*. Plenum Press, New York 447-465.

KNAUER, G. A.; MARTIN, J. H. (1983b): Trace elements and primary production: problems, effects and solutions. In: C. S. WONG; E. A. BOYLE; W. K. BRULAND; E.D. GOLDBERG (eds). *Trace metals in sea water*. Plenum Press, New York 825-839.

KRAMER, C. J. M. (1982): Mobility of heavy metals at the sediment-water interface: dissolved copper bound by anoxic sediments. *Thalassia Jugosl.*, 18, 175-179.

KRAUSS, W. (1955): Zum System der Meeresströmungen in den höheren Breiten. *Dtsch. Hydrogr. Z.* 8/3, 102-111.

KREMLING, K.; (1983): Trace metal fronts in European shelf waters. *Nature*, 303, 225-227.

KREMLING, K.; (1985): The distribution of cadmium, copper, nickel, manganese and aluminium in surface waters of the open Atlantic and European shelf area. *Deep Sea Res.*, 32/5, 531-555.

KREMLING, K.; POHL, C. (1989): Studies on the spatial and seasonal variability of dissolved Cd, Cu and Ni in North-East Atlantic surface waters. *Mar. Chem.* 27, 43-60.

LAMBERT, C. E.; NICOLAS, E.; VERON, A.; BUAT-MENARD, P.; KLINKHAMMER, G.; LE CORRE, P.; MORIN, P. (1991 a): Anthropogenic lead cycle in the northeastern Atlantic. *Oceanol. Acta*, 14/1, 59-66.

LAMBERT, C. E.; VERON, A.; BUAT-MENARD, P.; HEYRAUD, M.; GROUSSET, F.; SIMPSON, W. (1991 b): The role of large biogenic particles in the transport of atmospheric pollutant Pb down to North Atlantic sediments. *Oceanol. Acta*, 14/1, 67-76.

MACDONALD, C. R.; SPRAGUE, J. B. (1988): Cadmium in marine invertebrates and arctic cod in the canadian arctic ocean. Distribution and ecological implications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 47, 17-30.

MANTOURA, R. F. C.; DICKSON, A.; RILEY, J. P. (1978a): The speciation of trace metals with humic compounds in natural waters. *Thalassia Jugosl.* 14, 127-145.

MANTOURA, R. F. C.; DICKSON, A.; RILEY, J. P. (1978b): The complexation of metals with humic materials in natural waters. *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, 6, 387-408.

- MART, L. (1982): Minimization of accuracy risks in voltammetric ultratrace determination of heavy metals in natural waters. *Talanta*, 29, 1035-1040.
- MART, L. (1983): Seasonal variations of Cd, Pb, Cu and Ni levels in snow from the eastern Arctic Ocean. *Tellus*, 35B, 131-141.
- MART, L.; NÜRNBERG, H.W.; RÜZEL, H. (1984a): Comparative studies on cadmium levels in the North Sea, Norwegian Sea, Barents Sea and eastern Arctic Ocean. *Fresenius Z. Anal. Chem.* 317, 201-209.
- MART, L., NÜRNBERG, H. W.; DYRSSEN, D. (1984b): Trace metal levels in the eastern arctic ocean. *Sci. Total Envir.* 39, 1-14.
- MARTIN, J. H. (1970): The possible transport of trace metals via moulted copepod exoskeletons. *Limnol. Oceanogr.* 15, 756-761.
- MARTIN, J. H.; KNAUER, G. A. (1973): The elemental composition of plankton. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37, 1639-1653.
- MARTIN, J. H.; BROENKOW, W. W. (1975): Cadmium in Plankton: Elevated concentrations off Baja California. *Science*, 190, 884-885.
- MARTIN, J. H.; BRULAND, K. W.; BROENKOW, W. W. (1976): Cadmium transport in the California current. In: H. L. WINDOM, R. A. DUCE (eds.). *Marine pollutant transfer*, Lexington Books 159-184.
- MARTIN, J. H.; GORDON, R. M. (1988): Northeast Pacific iron distributions in relation to phytoplankton productivity. *Deep Sea Res.*, 35, 177-196.
- MARTIN, J. H.; GORDON, R. M. FITZWATER, S. E. (1990): Iron in Antarctic waters. *Nature*, 345, 156-158.
- MAYKUT, G. A. (1985): The ice environment. In: R. A. HORNER (ed.) *Sea ice biota*, CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, 215pp.
- MAZEIKA, P.A. (1967): Thermal domes in the eastern tropical Atlantic Ocean. *Limnol. Oceanogr.*, 12, 3, 537-539.
- MITCHELL, J. G.; OKUBO, A.; FUHRMAN, J. A.; COCHLAN, W. (1989): The contribution of phytoplankton to ocean density gradients. *Deep Sea Res.*, 36/8, 1277-1282.
- MOORE, R. M. (1978): The distribution of dissolved copper in the eastern Atlantic Ocean. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 41, 461-468.
- MOORE, R. M. (1981): Oceanographic distributions of zinc, cadmium, copper and aluminium in waters of the central Arctic. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45, 2475-2482.
- MOORE, R. M. (1983): The relationship between the distribution of dissolved cadmium, iron and aluminium, and hydrography in the central Arctic Ocean. In: C.

S. WONG; E. A. BOYLE; W. K. BRULAND; E.D. GOLDBERG (eds). Trace metals in sea water. Plenum Press, New York 131-142.

MOREL, F. M. M.; MOREL-LAURENS, N. M. L. (1983): Trace metals and plankton in the ocean; Facts and Speculations. In: C. S. WONG; E. A. BOYLE; W. K. BRULAND; E.D. GOLDBERG (eds). Trace metals in sea water. Plenum Press, New York 841-869.

MUROZUMI, M.; CHOW, T. J.; PATTERSON, C. (1969): Chemical concentrations of pollutant lead aerosols, terrestrial dusts and sea salts in Greenland and Antarctic snow strata. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 33, 1247-1294.

NIEBAUER, H.J.; ALEXANDER, V. (1985): Oceanographic frontal structure and biological production at an ice edge. *Cont. Shelf Res.*, 4, 367-388.

NOEL-LAMBOT, F. (1981): Presence in the intestinal lumen of marine fish of corpuscles with a high cadmium-, zinc- and copper binding capacity: A possible mechanism of heavy metal tolerance. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 4, 175-181.

NÜRNBERG, H. W.; MART, L.; RÜTZEL, H.; SIPOS, L. (1983): Investigations on the distribution of heavy metals in the Atlantic and Pacific oceans. *Chem. Geol.*, 40, 97-116.

OHM, K.; persönliche Mitteilung, Alfred-Wegener-Institut, Columbusstraße , 2850 Bremerhaven

OSTERBERG, C. CAREY, A.G., CURL, H. (1963): Acceleration of sinking rates of radionuclides in the ocean. *Nature*, 200, 1276-1277.

PARKER, S. P. (1982): Synopsis and classification of living organisms. In: S.P. PARKER (ed.) MacGraw-Hill Book Company, New York, Vol. 2, pp. 1232.

PARSONS, T.R.; TAKAHASHI, M.; HARGRAVE, B. (1984): Biological oceanographic processes. Pergamon Press, Oxford, 3, 330 pp.

PATTERSON, C. C.; SETTLE, D. (1976): The reduction of order of natural waters by evaluating and controlling the extent and sources of industrial lead contamination introduced during sample collecting and analysis. In: P. LAFLEUR (ed.) Accuracy in Trace Analysis, Sampling, Sample handling, Analysis. National bureau of standards special publication, 422, 321-351.

PAQUETTE, R. G.; BOURKE, R. H.; NEWTON, J. F.; PERDUE, W. F. (1985): The East Greenland polar front in autumn. *J. Geophys. Res.* 90/C3, 4866-4882.

PAULSON, A.J.; CURL, H.C.; COKELET, E.D. (1991): Remobilization of Cu from marine particulate organic matter and from swage. *Mar. Chem.*, 33, 41-60.

PEARCY, W. G.; OSTERBERG, C (1967): Depth, diel, seasonal and geographic variations in zinc - 65 of midwater animals off Oregon. *Int. J. Oceanol. Limnol.*, 1, 103-116.

- PORTER, K. G. (1984): Alternate fate of planktonic detritus: organic deposition and geological record. *Bull. Mar. Sci.*, 35, 587-600.
- QUADFASEL, D.; MEINCKE, J. (1987): On the thermal structure of the Greenland sea gyres. *Deep Sea Res.* 34, 1883-1888.
- RAHN, K. (1976): The chemical composition of the atmospheric aerosols. Technical Report, Graduate school of oceanography, University of Rhode Island, Kingston.
- RAINBOW, P. S. (1988): The significance of trace metal concentrations in decapods. *Symp. zool. Soc. Lond.*, 59, 291-313.
- REVIS, N. J. P.; MERKS, A. G. A.; VALENTA, P.; RÜTZEL, H. (1989): Heavy metal uptake by plankton and other seston particles. *Chemical Speciation and Bioavailability*, Vol. 1/1, 31-37.
- RIDOUT, P. S.; RAINBOW, P. S. ; ROE, H. S. J.; JONES, H. R. (1989): Concentrations of V, Cr, Mn, Fe, Ni, Co, Cu, Zn, As and Cd in mesopelagic crustaceans from the North East Atlantic Ocean. *Mar. Biol.*, 100, 465-471.
- ROMEO, M.; GNASSIA-BARELLI, M. (1985): Metal uptake by different species of phytoplankton in culture. *Hydrobiologia*, 123, 205-209.
- RUETER, J. G. jr.; MOREL, F. M. M. (1981): The interaction between zinc deficiency and copper toxicity as it affects the silicic acid uptake mechanisms in *Thalassiosira pseudonana*. *Limnol. Oceanogr.* 26/1, 67-73.
- SALOMONS, W.; FÖRSTNER, U. (eds.) (1984): *Metals in the hydrocycle*. Springer Verlag, Berlin, 349 pp.
- SCHAULE, B. (1979): *Zur Geochemie des Bleis*. Inaugural Dissertation der Ruprecht - Karl - Universität, Heidelberg, pp. 165.
- SCHAULE, B. K.; PATTERSON, C.C. (1981): Lead cocentrations in the Northeast Pacific: evidence for global anthropogenic perturbations. *Earth Planet. Sci Lett.*, 54, 97-116.
- SCHAULE, B. K.; PATTERSON, C.C. (1983): Perturbations of the natural lead depth profile in the Sargasso sea by industrial lead. In: C. S. WONG; E. A. BOYLE; W. K. BRULAND; E.D. GOLDBERG (eds). *Trace metals in sea water*. Plenum Press, New York p. 487-503.
- SCHLEMMER, G.; MUDAKAVI, J. R.; WELZ, B. (1987): Sonderdruck; Matrixmodifikation: Grundlagen, Mechanismen, Anwendungen. 4. Colloquium Atomspektrometrische Spurenanalytik. B. WELZ (ed.) Bodenseewerk Perkin Elmer & Co GmbH, D-7770 Überlingen, 137-152.
- SCHMIDT, D. (1988): Metalluntersuchungen während der Meteorreise Nr. 6. In: T. MÜLLER, G. SIEDLER, W. ZENK, (eds.) *Berichte aus dem Institut für Meereskunde*, Kiel, 184, pp. 77.

- SCHULZ-BALDES, M. (1991): Baseline study on Cd, Cu and Pb concentrations in Atlantic neuston organisms. *Mar. Biol.* (in press).
- SHEN, G. T.; BOYLE, E. A. (1987): Lead in corals: reconstruction of historical industrial fluxes to the surface ocean. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 82, 289-304.
- SIGG, L. (1987): Surface chemical aspects of the distribution and fate of metal ions in the lakes. In: W. STUMM (ed.) *Aquatic surface chemistry. Chemical processes at the particle-water interface*, J. Wiley & Sons, New York. 319-349.
- SLAUENWHITE, D.E.; WANGERSKY, P.J. (1991): Behaviour of copper and cadmium during a phytoplankton bloom: a mesocosm experiment. *Mar. Chem.* 32, 37-50.
- SMIES, M. (1983): Biological aspects of trace element speciation in the aquatic environment. In: G.G. LEPPARD (ed.). *Trace element speciation in surface waters and its ecological implications*. NATO Conf. Series I, Ecology, Vol. 6, 177-193.
- SMITH, D. C.; MORISON, J. H.; JOHANNESSEN, J. A.; UNTERSTEINER, N. (1984): Topographic generation of an eddy at the edge of the East Greenland Current. *J. Geophys. Res.*, 89/C5, 8205-8208.
- SMITH, W. O. jr. (1987): Phytoplankton dynamics in the marginal ice zones. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 25, 11-38.
- SMITH, S. L. (1988): Copepods in Fram Strait in summer: Distribution, feeding and metabolism. *J. Mar. Res.*, 46, 145-181.
- SPIES, A.; BROCKMANN, U. H.; KATTNER, G. (1988): Nutrient regimes in the marginal ice zone of the Greenland Sea in summer. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 47, 195-204.
- STROHM, H. (ed.) (1987): *Wie unsere Gene bestrahlt, beschädigt und manipuliert werden*. Verlag 2001, 3. Auflage, 206 pp.
- SUBRAMANIAN, V. (1978): The role of chitin and other organics in the transport of metals to the world's oceans. In: MUZZARELLI, R. A. A. PARISER, E. R. (eds.) *Proceedings of the first international conference on chitin and chitosan*, 288-293. MIT SEA Grant Program, MITG/78-7, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 02139.
- SUNDA, W. G.; GUILLARD, R. R. L. (1976): The relationship between cupric ion activity and the toxicity of copper to phytoplankton. *J. Mar. Res.*, 34, 511-519.
- SUNDA, W. G.; ENGEL, D. W.; THUOTTE, R. M. (1978): Effect of chemical speciation on toxicity of cadmium to grass shrimp, *Palaemonete pugio*: Importance of free cadmium ion. *Environ. Sci. Technol.*, 12, 409-413.
- TCHERNIA, P. (ed.) (1980): *Descriptive regional oceanography*. Pergamon marine series, 3, Pergamon Press, Oxford, New York, pp. 253.

- TURNER, J. T.; FERRANTE, J. G. (1979): Zooplankton fecal pellets in aquatic ecosystems. *Bioscience*, 29, 670-677.
- ULRICH, J. (1986): Grundlagen der Meereskunde, Textband zum "Atlas der Ozeanographie", Institut für Meereskunde, Kiel, pp. 190.
- VINJE, T. E. (1977): Sea ice conditions in the European sector of the marginal seas of the Arctic, 1966-1975. In: K. Z. LUNDQUIST (ed.), *Norsk Polarinstitutt Arbok 1975*, Norsk Polarinstitutt Oslo, 163-174.
- VOITURIEZ, B. (1981a): Les sous-courants equatoriaux nord et sud et la formation des domes thermiques tropicaux. *Oceanol. Acta*, 4, 497-506.
- VOITURIEZ, B. (1981b): Equatorial upwelling in the Eastern Atlantic: Problems and paradoxes. In: F. A. RICHARDS (ed.), *Coastal upwelling, coastal and estuarine sciences 1*. American Geophysical Union, Washington, D.C. 95-106.
- WADHAMS, P. (1981): The ice cover in the Greenland and Norwegian Seas. *Rev. Geophys. Space Phys.*, 19/3, 345-393.
- WADHAMS, P.; SQUIRE, V. A. (1983): An ice water vortex at the edge of the East Greenland Current. *J. Geophys. Res.*, 88/C5, 2770-2780.
- WALLACE, G.T.; DUDEK, R.; DULMAGE, R.; MAHONEY, O. (1983): Trace element distributions in the gulf stream to the southeastern atlantic continental shelf. Influence of atmospheric and shelf water inputs. *Can. J. fish. Aquatic. Sci.*, 40 (Suppl. 2), 183-191.
- WANGERSKY, P.J. (1986): Biological control of trace metal residence time and speciation: a review and synthesis. *Mar. Chem.*, 18, 269-297.
- WANGERSKY, P. J.; MORAN, S. B.; PETT, R. J.; SLAUENWHITE, D. E.; ZHOU, X. (1989): Biological control of trace metal residence times, an experimental approach. *Mar. Chem.*, 28, 215-226.
- WEIKERT, H. (1973): Zur Ökologie der *Pontellidae* (Copepoda, Calanoida) im subtropischen Nordostatlantik. "Meteor" Forsch.-Ergebnisse, 16D, 42-59.
- WEIKERT, H. (1975): Distribution and occurrence of *pontellids* (Copepoda, Calanoida) in the central and South Atlantic Ocean. *Ber. dt. wiss. Kommn. Meeresforsch.*, 24, 134-150.
- WEISS, H.; HERRON, M. M.; LANGWAY, C. C. (1978): Natural enrichment of elements in snow. *Nature*, 274, 352-353.
- WHITFIELD, M. (1979): The mean ocean residence time (MORT) concept - A rationalisation. *Mar. Chem.*, 8, 101-123.
- WHITFIELD, M.; WATSON, A. J. (1983): The influence of biomineralisation on the composition of seawater. In: P. WESTBROEK and E.W. DE JONG (eds)

Biomineralisation and biological metal accumulation. D. Reidel Publishing Company, 57-72.

WITZEL, B. (1986): Schwermetallkonzentrationen in Copepoden und Wassermassendifferenzierungen nach Zooplanktongemeinschaften in der Deutschen Bucht. Diplomarbeit, Freie Universität Berlin / Institut für Meeresforschung, Bremerhaven, 119 pp.

WOLFF, E. W.; PEEL, D. A. (1985): The record of global pollution in polar snow and ice. *Nature*, 313, 535-540.

WÜST, G. (1949): Die Kreisläufe der atlantischen Wassermassen, ein neuer Versuch räumlicher Darstellung. *Forschungen und Fortschritte*, Jahrg. 25, 23/24, 285-289.

YAMAMOTO, Y.; HONDA, K.; TATSUKAWA, R. (1987): Heavy metal accumulation in antarctic krill *Euphausia superba*. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.*, 1, 198-204.

YEATS, P. A. (1988): Manganese, nickel, zinc and cadmium distributions at the Fram 3 and Cesar ice camps in the Arctic Ocean. *Oceanol. Acta*, 11/4, 383-388.

YEATS, P.A.; WESTERLUND, S. (1991): Trace metal distributions at an Arctic Ocean ice island. *Mar. Chem.*, 33, 261-277.

YOSHINARI, T.; SUBRAMANIAN, V. (1976): Adsorption of metals by chitin. *Environmental Biogeochemistry* 2, 541-555.

8. DATENANHANG

Tabelle A	:	1989/90	ARK VI/3+4 & ARK VII/2	Stationsnummern, geogr. Längen & Breitenangaben
Tabelle B	:	1989/90	ARK VI/3+4 & ARK VII/2	Stationsnummern, geogr. Längen & Breitenangaben
Tabelle C	:	1989/90	ARK VI/3+4 & ARK VII/2	Stationsnummern, Vertikalstationen
Tabelle D	:	1989/90	ANT VII/5 & ANT VIII/7	Stationsnummern, geogr. Längen & Breitenangaben
Tabelle E	:	1989	ANT VII/5	Stationsnummern, Vertikalstationen & Multinetz
Tabelle F	:	1990	ANT VIII/7	Stationsnummern, Vertikalstationen & Multinetz
Tabelle I	:	1989	ARK VI/3+4	Oberfläche / Wasser
Tabelle II	:	1989	ARK VI/3+4	Tiefenprofile / Wasser
Tabelle III	:	1989	ARK VI/3+4	Oberfläche / Tiere
Tabelle IV	:	1990	ARK VII/2	Oberfläche / Wasser
Tabelle V	:	1990	ARK VII/2	Tiefenprofile / Wasser
Tabelle VI	:	1990	ARK VII/2	Oberfläche / Tiere
Tabelle VII	:	1989	ANT VII/5	Oberfläche / Wasser
Tabelle VIII	:	1989	ANT VII/5	Oberfläche / Tiere
Tabelle IX	:	1990	ANT VIII/7	Oberfläche / Wasser
Tabelle X	:	1990	ANT VIII/7	Tiefenprofile / Wasser
Tabelle XI	:	1990	ANT VIII/7	Tiefenprofile / Tiere

* Vermutete Probenkontaminationen

ARK VI/3-4, 1989					ARK VII/2, 1990				
Stat. Nr.	Breite, dez.		Länge, dez.		Stat. Nr.	Breite, dez.		Länge, dez.	
	Grad	min	Grad	min		Grad	min	Grad	min
15,066	74	45	-14	44	98	75	3	16	0
15,068	74	69	-13	60	99	75	3	-15	39
15,069	74	75	-12	91	100	74	95	-14	70
15,070	74	75	-12	34	102	74	97	-14	10
15,072	74	72	-10	97	103	75	3	-13	45
15,073	74	75	-10	43	104	74	92	-12	80
15,074	74	75	-9	79	105	74	88	-13	20
15,075	74	74	-9	20	106	74	78	-11	46
15,076	74	75	-8	52	107	74	76	-10	80
15,078	74	74	-7	27	108	74	94	-10	15
15,079	74	74	-6	62	109	75	0	-9	51
15,080	74	75	-5	57	110	74	91	-8	85
15,081	74	75	-5	40	111	74	75	-8	21
15,082	74	74	-4	72	112	74	75	-7	56
15,083	74	75	-4	90	113	74	75	-6	90
15,085	74	75	-2	84	114	74	75	-6	25
15,086	74	74	-2	21	115	74	71	-5	52
15,087	74	75	-1	57	116	74	73	-4	94
15,088	74	75	0	93	117	74	75	-4	31
15,089	74	74	0	29	118	74	75	-3	65
15,091	74	75	0	99	119	74	75	-3	0
15,092	74	75	1	60	120	74	75	-2	39
15,093	74	73	2	23	121	74	75	-1	76
15,094	74	75	2	87	122	74	75	-1	13
15,095	74	75	3	49	123	74	75	0	49
15,096	74	75	4	14	124	74	75	0	15
15,098	74	74	5	39	125	74	75	0	77
15,099	74	74	6	4	126	74	75	1	41
15,100	74	75	6	67	127	74	75	2	40
15,101	74	74	7	27	128	74	75	2	65
15,102	74	75	7	92	129	74	75	3	32
15,103	74	75	8	56	130	74	75	3	94
15,105	74	74	9	81	131	74	75	4	57
15,106	74	74	10	47	132	74	75	5	22
15,107	74	75	11	10	134	74	75	5	83
15,108	74	75	11	76	135	74	75	6	47
15,109	74	75	12	37	136	74	75	7	11
15,111	74	75	13	62	137	74	75	7	76
15,112	74	75	14	26	138	74	75	8	38
15,113	74	75	14	89	139	74	75	9	10
15,114	74	76	15	54	140	74	75	9	65
15,115	74	75	16	18	141	74	75	10	29
15,116	74	74	16	77	142	74	75	10	92
15,117	74	75	17	39	143	74	75	11	54
					144	74	75	12	17
					145	74	75	12	83
					146	74	75	13	45
					147	74	75	14	80
					148	74	75	14	72
					149	74	75	15	35
					150	74	75	16	0
					151	74	75	15	97
					152	74	75	16	59

Tabelle A

ARK VI/3-4, 1989					ARK VII/2, 1990				
Stat. Nr.	Breite, dez.		Länge, dez.		Stat. Nr.	Breite, dez.		Länge, dez.	
	Grad	min	Grad	min		Grad	min	Grad	min
15,144	77	67	-6	55	161,0	78	0	12	5
15,143	77	69	-6	1	162,0	78	0	11	7
15,142	77	75	-5	14	162,1	78	0	10	89
15,141	77	85	-4	44	163,0	78	0	10	0
15,140	77	98	-3	69	164,0	78	0	9	22
15,139	78	1	-2	87	165,0	78	0	8	42
15,137	78	1	-1	22	166,0	78	0	7	61
15,136	78	1	0	44	167,0	78	0	6	81
15,135	78	1	0	39	168,0	78	0	6	6
15,134	78	1	1	19	169,0	78	0	5	18
15,133	77	99	1	97	170,0	78	0	4	38
15,145	78	1	1	96	171,0	78	0	3	58
15,146	78	1	2	78	172,0	78	0	2	79
15,148	78	1	4	39	173,0	78	0	1	99
15,149	78	1	5	20	174,0	78	0	1	18
15,150	78	1	6	1	175,0	78	0	0	38
15,151	78	98	6	72	176,0	78	0	0	41
15,152	78	1	7	55	177,0	78	0	-1	21
15,153	78	1	8	78	178,0	78	0	-2	2
15,154	78	1	9	20	179,0	78	0	-2	82
15,155	78	1	10	2	180,0	78	0	-3	62
					181,0	78	0	-4	41
					182,0	78	0	-5	23
					183,0	78	0	-5	99
					184,0	78	0	-6	84
					185,0	78	0	-7	56
					186,0	78	0	-8	43
					187,0	78	0	-9	24
					188,0	78	0	-10	17
					189,0	78	0	-10	83
					190,0	78	0	-10	63

Tabelle B

ARK VI/3-4, 1989								
Station	Datum	Breite Grad	dez. min		Länge Grad	dez. min		Tiefen Rosette, ARK VI/3-4, 1989
1.)15/066	11.6.89	74	45,2	N	14	43,6	W	0, 20, 40, 60, 100, 200
2.)15/072	12.6.89	74	72,4	N	10	97,3	W	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 150, 200
3.)15/078	13.6.89	74	74,2	N	7	26,9	W	0, 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 200, 500, 1000, 3448
4.)15/085	14.6.89	74	75,0	N	2	84,0	W	0, 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 200, 500, 1000, 3675
5.)15/091	15.6.89	74	75,3	N	0	98,8	E	0, 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 200, 1000, 3770
6.)15/099	16.6.89	74	74,0	N	6	3,7	E	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 150, 200
7.)15/111	18.6.89	74	75,0	N	13	62,1	E	0, 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 200, 500, 1000, 2060
8.)15/139	25.6.89	78	0,0	N	2	86,9	W	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 150, 200
9.)15/150	27.6.89	78	0,0	N	6	1,0	E	0, 5, 10, 20, 30, 50, 60, 80, 100, 150, 200
ARK VII/2, 1990								
Station	Datum	Breite Grad	dez. min		Länge Grad	dez. min		Tiefen Rosette, ARK VII/2, 1990
1.)110	17.7.90	74	91,0	N	8	85,0	W	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 150, 200
2.)114	17.7.90	74	75,0	N	6	25,0	W	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 150, 200, 500, 1500, 2000, 2500, 3500
3.)144	21.7.90	74	75,0	N	12	17,0	E	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 150, 200, 622, 712, 794, 947, 1503, 2384
4.)172	27.7.90	78	0,0	N	2	7,9	E	0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 150, 200, 1000, 1500, 2000, 3000

Tabelle C

ANT VII/5, 1989			ANT VIII/7, 1990		
Stat. Nr.	Breite, dez.	Länge, dez.	Stat. Nr.	Breite, dez.	Länge, dez.
1	-31,47	13,28	1	-32,17	13,47
2	-30,22	10,38	2	-29,94	12,29
3	-28,99	9,22	3	-27,31	10,66
4	-26,28	9,19	4	-25,68	9,63
5	-23,32	9,16	5	-23,24	8,15
6	-20,56	9,16	6	-20,79	6,70
7	-18,87	8,24	7	-18,41	5,31
8	-16,61	6,48	8	-15,92	3,79
9	-14,06	4,52	9	-13,48	2,26
10	-11,94	2,92	10	-11,76	1,16
11	-10,92	2,15	11	-9,40	-0,27
12	-8,75	0,55	12	-6,90	-1,94
13	-6,19	-1,42	13	-4,93	-3,84
14	-4,03	-2,99	14	-2,65	-6,50
15	-1,60	-4,81	15	-0,61	-8,03
16	0,35	-6,40	16	0,96	-9,94
18	0,83	-7,36	17	2,59	-12,14
19	2,06	-9,57	18	4,43	-14,46
20	3,45	-12,13	19	5,96	-16,33
21	4,64	-14,32	20	7,72	-17,93
22	5,67	-16,34	21	9,76	-19,43
23	6,47	-17,71	22	12,73	-20,44
24	7,96	-20,46	23	15,16	-20,67
25	9,21	-22,81	24	18,33	-20,67
26	12,15	-28,00	25	20,59	-20,45
27	13,26	-28,02	26	22,93	-19,58
28	15,79	-28,00	27	25,08	-18,76
29	18,01	-29,27	28	28,22	-17,55
30	20,46	-28,95	29	30,28	-16,73
31	23,33	-28,46	30	33,59	-15,37
32	25,31	-28,06	31	35,56	-14,52
33	25,92	-27,71	32	38,05	-13,48
34	27,72	-26,11	33	39,94	-12,67
35	30,09	-24,02	34	43,21	-10,33
36	32,02	-22,24	35	44,74	-8,92
37	34,50	-19,94	36	46,27	-7,48
38	36,41	-18,13	37	47,28	-6,48
39	38,21	-16,36	38	47,50	-6,28
40	39,72	-14,85			
41	41,76	-12,79			
42	43,38	-11,07			
43	45,72	-8,55			

Tabelle D

Station	Datum	Breite dez.		Länge dez.		Tiefen, GO-FLO Schöpfer
		Grad	min	Grad	min	
Angola-Becken	18.3.89	11	54,5 S	2	55,0 E	40,200,500,800,1000,1200
Guinea-Becken	21.3.89	0	21,5 N	6	25,1 W	40,200,400,700,1000,1200
Sierra-Leone B.	22.3.89	5	40,6 N	16	21,5 W	40,200,400,700,1000,1200
Kapverden-B.	26.3.89	12	10,3 N	28	1,3 W	50,200,450,700,1000,1200
Kanaren-Becken	29.3.89	25	20,1 N	28	4,0 W	50,200,450,700,1000,1200
Station	Datum	Breite dez.	min	Länge dez.	min	Tiefen Multinetz
		Grad		Grad		
Angola-Becken	18.3.89	11	54,5 S	2	55,0 E	0-50,50-380,380-775,775-950,950-1200
Guinea-Becken	21.3.89	0	21,5 N	6	25,1 W	0-50,50-300,300-600,600-900,900-1200
Sierra-Leone B.	22.3.89	5	40,6 N	16	21,5 W	0-50,50-300,300-500,500-800,800-1200
Kapverden-B.	26.3.89	12	10,3 N	28	1,3 W	0-80,80-300,300-600,600-850,850-1200
Kanaren-Becken	29.3.89	25	20,1 N	28	4,0 W	0-80,80-300,300-600,600-850,850-1200

Tabelle E

Station	Datum	Breite dez.		Länge dez.		Tiefen Rosette
		Grad	min	Grad	min	
Kap-Becken	3.5.90	27	30,3 S	10	64,0 E	5,20,50,70,100,200,300,500,1000,1500,2000,3000
Angola-Becken	6.5.90	13	46,0 S	2	26,0 E	5,20,50,100,200,300,500,1000,1500,2000,3000,3500
Guinea-Becken	9.5.90	0	59,5 S	8	3,0 W	5,20,50,70,100,200,300,500,1000,1500,2000,3000
Sierra-Leone B.	11.5.90	5	96,8 N	16	28,5 W	5,20,50,100,200,300,500,1000,1500,2000,3000,4800
Kapverden-B.	14.5.90	20	61,0 N	20	44,5 W	5,20,50,70,100,200,300,500,1000,1500,2000,3000
Westl. Gibraltar	17.5.90	35	97,0 N	14	22,5 W	50,100,200,300,500,750,1000,1250,1500,2000,3000,4000
Iberisches-B.	19.5.90	44	75,5 N	8	91,0 W	50,100,200,300,500,750,1000,1250,1500,2000,3000,4600
Station	Datum	Breite dez.		Länge dez.		Tiefen Multinetz
		Grad	min	Grad	min	
Kap-Becken	3.5.90	27	30,3 S	10	64,0 E	0-100,100-200,200-500,500-700,700-1200
Angola-Becken	6.5.90	13	46,0 S	2	26,0 E	0-100,100-200,200-500,500-700,700-1200
Guinea-Becken	9.5.90	0	59,5 S	8	3,0 W	0-100,100-200,200-500,500-700,700-1200
Sierra-Leone B.	11.5.90	5	96,8 N	16	28,5 W	0-100,100-200,200-500,500-700,700-1200
Kapverden-B.	14.5.90	20	61,0 N	20	44,5 W	0-100,100-200,200-500,500-700,700-1200
Westl. Gibraltar	17.5.90	35	97,0 N	14	22,5 W	0-100,100-200,200-500,500-700,700-1200
Iberisches-B.	19.5.90	44	75,5 N	8	91,0 W	0-100,100-200,200-500,500-700,700-1200

Tabelle F

ARK VI/3+4 5.6. - 7.7.1989

Station Nr.	Hydrographie		Nährstoffe in µmol/l			µg/l		Spurenmetalle in nmol/kg (Wasser)					
	S‰	Temp. °C	Phosphat	Nitrat	Silikat	Chl. a	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Co	Fe
15,066	33,035	-1,348	0,79	5,50	8,50	0,07	0,012	0,187	3,45	5,1	1,0	0,10	2,1
15,068	32,973	-1,760	0,82	5,48	9,80	0,06	0,042	0,202	4,45	5,9	1,3	0,09	2,7
15,069	33,489	-1,308	0,67	5,80	7,42	0,15	0,020	0,161	2,60	4,4	1,2	0,08	3,3
15,070	33,307	-0,882	0,68	4,75	6,03	0,33	0,017	0,186	2,80	4,4	2,4	0,08	4,6
15,072	34,225	-0,347	0,29	0,62	2,38	0,38	0,039	0,068	1,25	3,4	1,2	0,06	5,6
15,073	33,734	-0,016	0,31	1,61	3,04	0,25	0,031	0,091	1,35	3,5	0,7	0,06	8,4
15,074	33,897	0,136	0,27	0,96	2,06	2,12	0,061	0,053	1,25	3,6	1,2	0,04	6,3
15,075	33,907	0,212					0,062	0,036	1,10	3,3	0,7	0,04	3,4
15,076	34,758	0,515	0,36	2,55	2,13	2,48	0,100	0,097	1,65	3,6	1,6	0,06	2,4
15,078	34,689	0,652	0,25	0,22	1,16	3,13	0,136	0,060	1,30	3,5	1,3	0,14	1,4
15,079	34,727	0,613	0,27	1,23	1,03	2,61	0,032	0,061	1,24	3,3	0,6	0,05	2,3
15,080	34,787	0,455	0,47	6,08	2,22	1,60	0,048	0,105	1,34	3,7	1,6	0,06	2,1
15,081	34,758	0,485	0,41	4,35	1,71	1,35		0,083	1,45	3,8	1,1	0,07	1,3
15,082	34,774	0,400	0,57	7,38	1,96	0,16	0,059	0,105	1,43	3,8	0,9	0,10	1,4
15,083	34,770	0,507	0,50	7,06	1,95	0,34	0,053	0,118	1,48	3,9	2,2	0,08	3,9
15,085	34,695	0,204	0,48	6,38	0,85	0,39	0,033	0,105	1,50	3,8	1,3	0,08	3,5
15,086	34,686	0,136	0,45	6,09	0,69	0,38	0,061	0,097	1,35	3,9	1,0	0,08	5,5
15,087	34,807	0,430	0,29	7,47	1,14	0,70	0,039	0,130	1,44	3,8	1,7	0,07	*10,1
15,088	34,825	0,261	0,54	7,66	1,07	0,80	0,054	0,135	1,38	3,6	1,5	0,07	4,0
15,089	34,825	0,284	0,57	7,80	1,40	0,52	0,200	0,110	1,64	4,4	1,3	0,09	4,3
15,091	34,802	0,290	0,52	7,18	1,32	1,00	0,083	0,140	1,50	3,9	1,6	0,08	2,1
15,092	34,815	0,337	0,52	7,07	0,83	0,47	0,177	0,103	1,39	4,0	2,1	0,07	3,8
15,093	34,708	0,259	0,49	6,40	0,48	0,47	0,056	0,114	1,44	3,9	1,0	0,07	1,6
15,094	34,595	0,110	0,48	5,88	0,91	0,59	0,086	0,104	4,50*	3,7	1,8	0,08	3,6
15,095	34,674	0,377	0,46	6,24	0,68	0,54	0,320	0,110	1,75	4,0	1,1	0,06	1,9
15,096	34,582	0,269	0,48	6,08	0,72	0,50	0,074	0,110	1,55	4,0	1,1	0,09	*4,9
15,098	34,564	0,409	0,43	6,27	0,93	0,44	0,200	0,090	5,20*	4,1	1,3	0,11	2,5
15,099	34,584	0,748	0,49	6,75	2,12	0,72	0,180	0,107	1,48	4,0	0,9	0,07	1,1
15,100	34,619	0,777	0,49	7,07	2,05	0,45	0,077	0,106	1,43	3,8	1,1	0,08	1,4

Tabelle I

ARK VI/3+4 5.6. - 7.7.1989

Station Nr.	Hydrographie		Nährstoffe in µmol/l				µg/l	Spurenmetalle in nmol/kg						(Wasser)					
	S‰	Temp. °C	Phosphat	Nitrat	Silikat	Chl. a		Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Co	Fe					
15,101	34,588	0,614	0,52	6,79	2,17	0,46	0,110	0,109	1,44	4,0	1,3	0,07	3,8						
15,102	35,108	4,617	0,59	7,78	4,87	0,94	0,055	0,111	1,40	3,8	0,9	0,09	2,0						
15,103	35,047	4,093	0,47	6,53	4,53	1,24	0,260	0,104	1,37	3,8	0,8	0,06	1,7						
15,105	35,099	4,511	0,60	7,28	4,83	1,33	0,150	0,077	1,43	3,8	0,9	0,05	1,2						
15,106	35,124	5,009	0,56	7,50	4,74	1,40	0,260	0,066	1,42	3,9	0,6	0,06	0,9						
15,107	35,126	5,063	0,66	7,89	5,00	0,72	0,310	0,097	1,35	3,7	1,4	0,07	1,6						
15,108	35,138	5,138	0,59	7,80	4,95	1,16	0,100	0,106	1,49	3,7	2,0	0,07	7,6						
15,109	35,118	4,864	0,59	8,05	4,82	1,03	0,180	0,108	1,95	4,3	1,6	0,10	2,5						
15,111	35,096	4,884	0,53	6,55	4,51	1,47	0,160	0,096	1,32	3,8	1,2	0,07	2,5						
15,112	35,085	5,043	0,53	6,46	4,46	1,14	0,400	0,111	1,56	4,1	2,7	0,09	2,2						
15,113	35,104	6,174	0,50	5,66	3,93	0,39	0,270	0,106	4,22	4,3	3,7	0,17	5,0						
15,114	35,053	6,702	0,56	6,80	3,94	0,44	0,200	0,161	7,05*	4,9	4,7	0,32	7,6						
15,115	35,051	6,636	0,50	5,87	3,56	1,00	0,150	0,124	4,75	4,3	3,6	0,20	3,6						
15,116	34,494	4,597	0,19	0,55	1,77	1,27	0,180	0,077	4,27	3,9	3,3	0,18	4,5						
15,117	34,640	4,099	0,25	1,83	2,13	0,54	0,270	0,070	2,10	3,4	2,3	0,08	3,1						
15,144	31,835	-1,251	1,18	3,87	13,29	0,10	0,060	0,255	3,90	5,7	1,4	0,13	11,0						
15,143	31,816	-1,157	1,32	3,78	14,10	0,09	0,045	0,245	4,00	6,0	1,0	0,13	4,2						
15,142	32,371	-1,565	0,88	4,38	11,57	0,21	0,063	0,209	4,25	6,2	★4,0	0,08	10,8						
15,141	32,726	-1,536	0,73	4,38	9,54	0,23	0,046	0,168	3,75	5,3	1,9		8,8						
15,140	32,986	-1,284	0,43	2,65	5,31	0,24	0,074	0,106	2,20	3,9	1,2	0,08	5,2						
15,139	32,846	-0,440	0,26	1,10	3,56	0,30	0,120	0,074	1,75	3,4	1,9	0,08	2,4						
15,137	33,183	0,544	0,19	0,84	3,71	0,25	0,072	0,079	1,64	3,2	0,7	0,05	4,0						
15,136	33,139	0,545	0,21	0,79	3,55	0,26	0,069	0,065	1,54	3,3	1,0	0,07	1,1						
15,135	33,598	1,390	0,23	1,29	3,15	0,36	0,092	0,052	1,40	3,1	1,2	0,05	2,7						
15,134	34,295	3,218	0,24	1,07	3,28	0,99	0,120	0,047	1,38	3,2	1,1	0,04	★10,8						
15,133	33,923	1,640	0,13	0,00	1,72	0,48		0,061	1,57	2,9	★9,1	0,05	★14,3						
15,145	33,626	0,945	0,15	0,00	1,29	0,34	0,130	0,028	1,20	2,7	1,1	0,05	2,6						
15,146	34,192	1,103	0,12	0,02	0,40	0,64	0,106	0,039	1,25	3,1	★3,1	0,05	2,8						
15,148	34,600	3,550	0,35	3,34	2,94	1,18	0,082	0,076	1,30	3,1	0,8	0,10	4,5						

Tabelle I

Station Nr.		Hydrographie		Nährstoffe in µmol/l			µg/l		Spurenmetalle in nmol/kg (Wasser)						
		S‰	Temp. °C	Phosphat	Nitrat	Silikat	Chl. a	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Co	Fe	
15,149	34,727	34,727	3,640	0,44	4,19	3,09	1,14	0,085	0,085	1,40	3,2	★5,6	0,13	★9,4	
15,150	34,664	34,664	3,320	0,28	2,21	2,50	1,14	0,119	0,055	1,35	3,1	0,9	0,10	★7,2	
15,151	34,843	34,843	4,138	0,45	4,31	2,61	0,51	0,093	0,092	1,48	3,4	1,0	0,07	2,2	
15,152	34,712	34,712	4,292	0,36	3,58	2,32	0,48	0,108	0,106	1,48	3,7	1,0	0,09	2,4	
15,153	34,787	34,787	4,680	0,36	3,79	2,64	0,58	0,205	0,139	1,69	3,7	★3,9	0,11	3,9	
15,154	34,998	34,998	6,093	0,31	3,25	3,20	1,78	0,113	0,117	1,64	3,6	2,2	0,14	4,2	
15,155	34,289	34,289	5,815	0,17	1,67	1,45	0,29	0,235	0,105	1,70	3,6	★6,0	0,11	7,9	

Tabelle I

ARK VI/3+4 5.6. - 7.7.1989														
Hydrographie				Nährstoffe in $\mu\text{mol/l}$			$\mu\text{g/l}$	Spurenmetalle in nmol/kg (Wasser)						
St. Nr.	Tiefe (m)	S‰	Temp. °C	Nitrat	Phosphat	Silikat	Chl. a	Pb *	Cd	Co	Cu	Ni	Zn	Fe
15/072	0			0,63	0,30	2,40	0,38	0,248	0,069	0,06	1,97	3,4	2,3	4,1
	5	34,225	-0,347	1,56	0,30	2,30	0,50	0,088	0,082	0,07	1,57	4,0	2,8	6,3
	10	34,253	-0,346	1,89	0,30	2,32	0,41	0,163	0,098	0,05	1,46	3,6	3,4	4,9
	20	34,628	-0,761	5,74	0,48	2,60	0,59	0,111	0,101	0,06	1,65	4,1	2,2	4,3
	30	34,692	-0,981	7,90	0,63	3,16	0,91	0,250	0,132	0,08	1,86	4,4	2,8	5,4
	40	34,750	-0,823	8,10	0,63	3,22	0,87	0,076	0,138	0,07	1,92	4,0	3,6	5,1
	50	34,763	-0,938	9,87	0,73	3,75	0,31	0,130	0,129	0,08	1,92	4,5	2,8	6,6
	60	34,814	-1,049	10,65	0,77	4,07	0,25	0,130	0,132	0,08	1,61	4,2	2,1	4,9
	80	34,854	-0,987	11,46	0,82	4,92	0,15	0,290	0,134	0,06	2,49	3,9	2,8	4,5
	100	34,865	-0,979	12,25	0,89	6,04	0,09	0,250	0,143	0,06	1,94	4,2	4,0	4,6
	150	34,931	-0,381	12,67	1,00	6,54		0,200	0,150	0,06	2,93	4,3	3,3	3,5
	200	34,923	-0,621	12,97	0,92	6,81		0,286	0,146	0,06	2,87	4,1	2,4	9,5*
15/078	0			0,23	0,26	1,15	3,13	0,139	0,058	0,04	1,52	3,4	3,3	2,4
	5	34,689	0,652	0,37	0,28	1,17	3,24	0,222	0,051	0,05	1,65	4,0	3,9	3,6
	10	34,693	0,646	0,64	0,29	1,20	2,83	0,184	0,049	0,04	1,52	3,5	3,1	2,1
	20	34,685	0,592	3,35	0,47	1,66	1,91	0,125	0,069	0,08	1,40	3,5	2,8	2,9
	30	34,757	0,034	5,34	0,50	1,90	0,85	0,034	0,085	0,06	1,72	3,7	2,3	4,0
	50	34,790	-0,467	9,42	0,70	3,23	0,61	0,106	0,102	0,08	1,84	3,9	2,0	3,5
	75	34,888	-0,395	11,23	0,81	4,22	0,24	0,119	0,084	0,08	2,47*	4,2	2,8	4,2
	100	34,915	-0,148	12,33	0,86	5,61	0,16	0,143	0,103	0,06	1,98	3,8	3,6	6,3
	200	34,922	-0,563	13,05	0,90	6,75		0,070	0,107	0,06	2,20	3,7	3,8	11,3
	500	34,912	-0,952	13,60	0,96	7,92		0,069	0,132	0,05	1,89	4,1	2,8	6,3
	1000	34,915	-1,097	14,09	0,97	8,84		0,115	0,109	0,05	1,80	4,0	2,6	8,0
	3460	34,923	-1,059	14,75	1,01	11,56		0,337	0,115	0,04	1,84	3,9	2,8	13,4

Tabelle II

ARK VI/3+4 5.6. - 7.7.1989

St. Nr.	Hydrographie		Nährstoffe in µmol/l			µg/l	Spurenmetalle in nmol/kg							(Wasser)		
	Tiefe (m)	S‰	Nitrat	Phosphat	Silikat		Pb *	Cd	Co	Cu	Ni	Zn	Fe			
15/085	0		6,40	0,48	0,85	0,39	0,190	0,074	0,05	2,94	3,1	7,2*	2,2			
	5	34,695	6,50	0,47	0,84	0,23	0,091	0,089	0,06	2,00	3,3	6,3*	3,4			
	10	34,693	5,54	0,46	0,87		0,033	0,084	0,06	2,49	2,8	5,1*	3,4			
	20	34,691	6,63	0,49	0,82	0,53	0,179	0,077		2,24	4,4	6,1*	3,7			
	30	34,693	7,11	0,47	0,78	1,48	0,185	0,073	0,08	1,89	3,4	3,2	2,9			
	50	34,810	8,17	0,56	1,55	0,55	0,125	0,080		1,95	4,2	1,3	2,5			
	75	34,816	10,45	0,71	3,14	0,16	0,064	0,079	0,11	1,72	3,6	3,9	2,6			
	100	34,846	12,49	0,83	5,90	0,05	0,104	0,081	0,06	1,86	3,2	3,7	5,7			
	200	34,896	13,30	0,89	6,90		0,064	0,106	0,06	1,76	3,6	3,2	6,2			
	500	34,900	14,00	0,93	7,99		0,050	0,092	0,05	1,73	3,3	3,6	4,9			
	1000	34,904	14,28	0,95	8,70		0,061	0,096	0,07	1,86	3,2	2,5	11,2			
	3675	34,924	14,91	1,00	11,15		0,264	0,098	0,08	1,83	3,3	3,8	10,6			
15/091	0	34,802	7,25	0,56	1,32	1,00	0,114	0,070	0,07	1,83	3,1	5,8*	5,0			
	5	34,803	7,33	0,53	1,27	1,06	0,135	0,072	0,07	1,62	3,2	5,8*	1,6			
	10	34,801	7,35	0,49	1,19	1,11	0,160	0,081	0,06	1,48	2,9	5,5*	2,1			
	20	34,802	7,33	0,50	1,18	1,04	0,112	0,063	0,07	2,36	2,7	4,0	3,0			
	30	34,808	7,35	0,51	1,19	0,83	0,132	0,055	0,06	1,82	3,1	2,9	2,5			
	50	34,783	9,95	0,71	3,13	0,31	0,098	0,070	0,05	2,20	3,0	3,4	1,6			
	75	34,800	11,00	0,77	4,07	0,22	0,098	0,067	0,06	2,10	3,5	3,2	2,3			
	100	34,852	11,80	0,83	4,99	0,13	0,086	0,069	0,04	1,87	3,2	2,2	5,1			
	200	34,885	13,12	0,93	6,87		0,054	0,073	0,04	1,98	3,3	4,1	6,8			
	1000	34,908	14,27	1,01	8,73		0,086	0,097	0,05	1,87	3,4	2,3	8,5			
	3770	34,926	14,97	1,05	10,97		0,150	0,103	0,05	1,94	3,6	2,5	13,5*			

Tabelle II

ARK VI/3+4 5.6. - 7.7.1989														
Hydrographie				Nährstoffe in $\mu\text{mol/l}$			$\mu\text{g/l}$	Spuremetalle in nmol/kg (Wasser)						
St. Nr.	Tiefe (m)	S‰	Temp. °C	Nitrat	Phosphat	Silikat	Chl. a	Pb *	Cd	Co	Cu	Ni	Zn	Fe
15/099	0			6,97	0,59	2,13	0,72	0,060	0,094	0,07	1,24	3,6	5,1*	4,7
	5	34,584	0,748	7,06	0,50	2,19	0,66	0,050	0,089	0,08	1,69	3,8	3,1	2,3
	10	34,592	0,759	7,03	0,51	2,13	0,61	0,042	0,095	0,06	1,97	3,6	2,9	2,5
	20	34,584	0,762	7,09	0,51	2,07	0,63	0,078	0,073	0,04	1,41	2,7	2,7	1,8
	30	34,587	0,738	7,14	0,50	1,89	0,74	0,096	0,064	0,06	2,05	3,6	3,2	2,5
	40	34,595	-0,287	7,61	0,50	1,78	0,30	0,029	0,084	0,04	1,54	3,0	2,2	2,2
	50	34,605	-0,288	8,13	0,54	2,27	0,28	0,060	0,069	0,06	1,86	3,5	2,3	4,7
	60	34,636	-0,086	9,06	0,63	3,28	0,23	0,166	0,088	0,07	1,94	3,7	3,6	6,4
	80	34,664	-1,269	10,71	0,75	4,35		0,125	0,074	0,05	1,92	3,3	3,3	4,8
	100	34,732	-1,218	11,59	0,78	4,58		0,058	0,111	0,06	1,21	3,6	3,9	2,8
	150	34,875	-0,132	13,38	0,91	5,88		0,058	0,095	0,04	1,95	3,7	2,5	6,1
	200	34,928	0,349	13,85	0,96	6,33		0,085	0,113	0,07	2,17	4,0	3,6	6,9
15/111	0	35,096	4,884	6,80	0,58	4,48	1,47	0,127	0,077	0,10	1,60	3,8	5,2*	2,8
	5	35,097	4,906	6,90	0,59	4,52	1,52	0,129	0,098	0,10	1,50	4,0	5,3*	1,8
	10	35,097	4,890	6,87	0,59	4,52	1,43	0,049	0,091	0,07	2,25	3,8	4,4	1,1
	20	35,109	4,872	6,87	0,60	4,52	1,23	0,094	0,069	0,08	1,50	3,9	3,1	2,2
	30	35,095	4,754	7,15	0,60	4,55	1,34	0,030	0,099	0,10	1,70	3,9	5,7*	2,5
	50	35,075	4,394	7,62	0,61	4,60	0,79	0,200	0,083	0,07	2,10	3,6	3,6	1,8
	75	35,082	3,914	10,52	0,79	5,32	0,14	0,025	0,105	0,10	1,45	4,0	2,1	5,6
	100	35,072	3,589	10,73	0,84	5,45	0,07	0,088	0,091	0,08	2,30	4,1	2,5	7,8
	200	35,043	2,773	13,41	1,01	7,08		0,058	0,113	0,08	2,10	3,9	3,7	11,5*
	500	35,011	1,605	12,83	0,95	6,01		0,034	0,101	0,07	3,60	4,0	2,7	3,6
	1000	34,972	-0,370	14,69	1,13	8,93		0,188	0,109	0,07	1,80	4,4	3,7	10,3*
	2060	34,928	-0,970	15,10	1,13	11,59		0,230	0,115	0,24	2,10	4,8	4,5	237,0*

Tabelle II

ARK VI/3+4 5.6. - 7.7.1989														
Hydrographie				Nährstoffe in $\mu\text{mol/l}$			$\mu\text{g/l}$	Spurenmetalle in nmol/kg (Wasser)						
St. Nr.	Tiefe (m)	S‰	Temp. °C	Nitrat	Phosphat	Silikat	Chl. a	Pb *	Cd	Co	Cu	Ni	Zn	Fe
15/139	0			1,08	0,27	3,56	0,30	0,060	0,049	0,1	1,9	3,4	3,1	6,8
	5	32,900	-0,440	1,15	0,26	3,56	0,31	0,016	0,057	0,1	2,2	3,3	2,4	4,9
	10	32,906	-0,437	1,07	0,25	3,57	0,32	0,100	0,055	0,1	2,7	3,6	2,3	4,3
	20	33,731	0,686	2,12	0,30	3,09	0,11	0,147	0,058	0,1	1,8	3,7	1,6	5,3
	30	34,214	1,064	3,72	0,43	2,85	0,41	0,035	0,096	0,1	1,6	3,9	2,6	3,1
	40	34,597	1,751	4,02	0,46	2,32	0,39	0,050	0,092	0,1	1,7	3,5	1,7	5,4
	50	34,818	1,443	5,46	0,53	2,81	0,29	0,056	0,093	0,1	1,9	3,9	1,5	4,4
	60	34,855	1,277	7,57	0,65	4,00	0,22	0,070	0,099	0,1	1,7	3,5	1,7	6,1
	80	34,874	1,166	8,23	0,69	3,62	0,10	0,030	0,099	0,0	2,3	3,5	1,8	4,4
	100	34,921	1,125	10,20	0,81	4,77	0,07		0,112	0,1	1,6	3,5	1,8	3,8
	150	34,949	1,123	12,56	0,91	6,14		0,120	0,109	0,1	1,8	4,2	2,4	10,4*
	200	34,950	0,896	12,48	0,92	5,99		0,024	0,122	0,1	2,6	3,9	2,0	6,6
15/150	5	34,689	3,320	2,78	0,29	2,36	1,23	0,014	0,075	0,0	1,0	2,1	0,5	1,2
	10	34,710	3,316	3,02	0,30	2,20	1,32	0,014	0,085	0,0	1,6	2,6	1,0	2,0
	20	34,830	3,312	5,08	0,44	2,43	0,13	0,014	0,130	0,0	1,6	3,1	2,5	8,4
	30	34,995	3,646	9,07	0,69	4,76	0,45	0,156	0,145	0,0	2,1	3,1	1,8	4,1
	50	35,047	3,744	11,64	0,79	5,42	0,06	0,073	0,160	0,1	2,1	3,8	1,5	5,9
	60	35,045	3,475	11,76	0,79	5,40	0,48	0,014	0,130	0,0	1,6	2,0	10,5*	5,7
	80	34,901	3,184	8,70	0,60	4,35	0,02	0,105	0,150	0,0	3,8	3,9	8,1*	12,4*
	100	35,041	2,937	12,12	0,77	5,39		0,118	0,160	0,1	2,7	3,7	1,2	16,0*
	150	35,010	2,460	12,83	0,82	5,54		0,016	0,170	0,0	1,7	3,5	2,1	20,7*
	200	35,013	2,134	12,67	0,82	5,55		0,040	0,160	0,0	1,8	3,4	2,7	16,4*

Tabelle II

ARK VI/3+4 5.6. - 7.7.1989

Station Nr.	Spurenmetalle in µg/g (Calanus hyperboreus)					Spurenmetalle in µg/g (Calanus finmarchicus)						
	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Fe	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Fe
15,066	0,28	1,2	4,9	4,9	108,0	35,5	0,30	0,9	4,0	2,6	123,0	32,8
15,068												
15,069	0,17	0,9	3,1	3,7	94,1	36,7	0,70	1,7	4,1	1,2	157,0	73,1
15,070	0,47	1,7	4,9	1,2	80,0	86,3						
15,072	0,32	3,8	5,9	2,6	64,3	24,8						
15,073	0,12	3,8	4,7	4,5	62,0	25,8						
15,074	0,11	2,4	4,3	5,3	74,4	24,2						
15,075												
15,076	0,76	2,6	5,9	6,2	155,0	42,4						
15,078	0,11	1,8	2,9	4,1	42,2	19,0						
15,079												
15,080	0,22	1,2	2,9	3,2	64,6	32,1						
15,081												
15,082	0,21	1,3	3,7	3,8	90,0	30,9						
15,083	0,06	1,2	3,8	4,3	62,6	29,5						
15,085												
15,086	0,48	0,8	3,1	3,9	86,9	34,0						
15,087												
15,088	0,22	0,9	3,1	3,7	79,0	39,5						
15,089												
15,091	0,07	0,8	2,2	3,9	73,2	49,8						
15,092												
15,093	0,21	1,8	2,8	3,2	74,7	37,1						
15,094												
15,095	0,55	1,8	4,6	3,5	98,3	31,9						
15,096	0,44	1,8	3,9	3,9	94,6	26,8						
15,098												
15,099	0,49	2,4	4,3	4,4	99,8	38,2						
15,100	0,34	1,7	3,0	5,1	93,3	25,5						

Tabelle III

ARK VI/3+4 5.6. - 7.7.1989												
Station Nr.	Spuremetalle in µg/g (<i>Calanus hyperboreus</i>)						Spuremetalle in µg/g (<i>Calanus finmarchicus</i>)					
	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Fe	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Fe
15,101	0,80	2,6	3,5	3,4	112,0	42,9						
15,102	1,10	2,6	4,5	3,6	170,0	41,5	2,50	10,4	6,3	1,9	267,0	132,0
15,103	1,50	5,4	4,0	1,9	106,0	61,4	2,30	15,7	8,2	1,6	251,0	109,0
15,105							1,30	7,7	5,3	1,6	138,0	63,1
15,106							0,78	12,5	7,5	1,6	239,0	46,9
15,107							0,54	8,9	4,4	1,9	138,0	53,9
15,108							0,90	9,1	5,1	2,7	242,0	64,2
15,109							0,72	11,0	8,8	1,7		80,1
15,111												
15,112							0,64	12,0	3,5	1,5	191,0	55,8
15,113												
15,114							3,60	6,9	15,9	1,1	194,0	203,0*
15,115												
15,116												
15,117												
15,144	0,70	2,3	4,1	3,0	111,0	42,7						
15,143	0,88	2,7	6,1	5,2	142,0	81,5						
15,142	0,45	2,0	4,8	8,2	128,0	27,9						
15,141	0,40	1,5	4,7	9,6	105,0	71,0						
15,140	0,86	3,2	3,4	3,5	242,0	58,8						
15,139	0,20	2,6	4,5	2,6	71,9	23,4						
15,137	0,73	2,7	6,2	3,8	111,0	46,8						
15,136	0,30	2,8	2,5	0,4	71,3	33,5						
15,135												
15,134												
15,133												
15,145	0,19	1,8	4,1	2,1	55,8	16,5						
15,146	0,18	2,0	3,8	2,0	58,1	9,5						
15,148							0,52	2,1	3,9	2,7	175,0	30,8

Tabelle III

ARK VI/3+4 5.6. - 7.7.1989												
Spuremetalle in µg/g (Calanus hyperboreus)							Spuremetalle in µg/g (Calanus finmarchicus)					
Station Nr.	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Fe	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Fe
15,149							2,00	3,9	3,1	2,0	266,0	46,8
15,150	0,39	3,9	4,3	2,9	70,0	28,4	0,36	2,9	3,8	2,3	138,0	18,5
15,151	0,45	3,8	4,6	2,1	86,8	40,2						
15,152	0,43	3,2	6,3	3,6	77,4	31,9	0,59	4,7	4,8	2,5	190,0	21,9
15,153	0,45	4,1	5,3	3,6	101,0	49,3	0,69	7,2	5,5	4,1	271,0	45,2
15,154							1,00	2,8	4,8	2,8	212,0	58,8
15,155							0,94	4,9	4,1	4,3	199,0	61,0

Tabelle III

ARK VII/2 10.7. - 15.8.1990													
Station Nr.	Hydrographie		Nährstoffe in $\mu\text{mol/l}$			$\mu\text{g/l}$		Spurenmetalle in nmol/kg (Wasser)					
	S‰	Temp. °C	Phosphat	Nitrat	Silikat	Chl. a	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Co	Fe
98	30,704	-1,060	0,68	0,52	3,61	0,23	0,320	0,080	3,80	9,0	1,8	0,72	4,8
99	30,928	-1,026	0,66	0,48	4,25	0,43	0,490	0,080	4,40	3,6	1,7	0,10	3,2
100	30,298	-1,023	0,65	0,24	5,74	0,85	0,200	0,110	4,00	4,3	4,3	0,10	2,0
102	31,295	-1,270	0,98	4,05	12,85	0,46	0,240	0,170	4,20	5,0	5,2	0,12	4,0
103	31,051	-1,347	1,17	4,53	13,69	0,22	0,270	0,100	4,00	4,5	2,6	0,12	2,7
104	31,346	-1,450	0,98	4,60	12,72	0,70	0,400	0,230	4,00	6,1	4,9	0,10	3,1
105	32,371	-1,355	0,76	4,79	8,39	0,30	0,150	0,160	2,30	3,7	4,9	0,12	3,7
106	31,583	-0,216	0,50	3,34	4,00	0,26	0,130	0,100	1,90	3,4	1,3	0,08	3,1
107	31,276	0,184	0,37	2,34	4,94	0,11	0,085	0,040	2,00	2,9	0,9	0,06	2,3
108	30,989	0,448	0,39	2,30	4,95	0,13		0,050	2,00	3,1	2,9	0,03	1,6
109	30,900	0,289	0,38	2,19	4,83	0,16	0,070	0,040	1,80	3,4	1,9	0,10	2,4
110	30,781	0,255	0,40	2,32	5,23	0,14	0,070	0,030	2,10	4,1	0,9	0,11	2,4
111	31,268	2,520	0,34	2,02	3,81	0,10		0,860*	7,70	3,0	6,1*	0,10	1,2
112	30,815	0,430	0,41	2,38	5,10	0,17	0,165	0,065	2,00	3,7	2,3	0,07	1,3
113	33,305	1,446	0,28	1,88	3,30	0,06	0,110	0,050	2,20	3,9	1,9	0,12	1,7
114	32,321	2,240	0,27	1,89	3,07	0,07	0,190	0,030	1,50	3,1	1,1	0,10	1,8
115	30,630	0,623	0,22	1,27	3,90	0,12	0,070	0,036	1,60	3,6	1,5	0,06	1,5
116	30,559	2,619	0,27	1,97	3,27	0,12		0,230*	2,70	4,3	3,6	0,19	4,3
117	31,773	3,211	0,25	1,26	3,55	0,16		0,480*	5,10*	3,6	6,6*	0,20	7,4*
118	31,502	3,064	0,21	1,08	3,48	0,19	0,070	0,020	2,20	3,0	1,0	0,06	1,1
119	32,287	3,703	0,27	1,27	3,45	0,16	0,120	0,050	1,30	3,2	1,4	0,07	0,9
120	32,939	1,959	0,32	1,89	3,56	0,06		0,640*	7,90*	4,2	7,5*	0,26	14,4*
121	33,906	3,865	0,52	4,43	3,90	0,02	0,080	0,160	1,30	4,2	2,7	0,07	2,3
122	34,314	4,622	0,33	3,10	3,40	0,03	0,020	0,085	1,40	4,5	2,9	0,11	1,6
123	34,435	4,594	0,28	2,76	3,73	0,07	0,100	0,053	1,40	4,3	2,1	0,11	1,6
124	34,477	4,055	0,28	3,03	3,57	0,04	0,030	0,053	1,10	3,5	0,8	0,11	0,9
125	34,549	4,078	0,48	4,88	3,36	0,07	0,030	0,067	1,10	3,0	1,1	0,07	0,9
126	34,411	5,021	0,36	4,42	3,05	0,12	0,056	0,054	1,30	3,6	0,9	0,09	1,3
127	34,743	5,222	0,46	5,82	0,84	0,07	0,030	0,110	1,20	3,4	1,4	0,08	1,7

Tabelle IV

ARK VIII/2 10.7. - 15.8.1990

Station Nr.	Hydrographie		Nährstoffe in µmol/l			µg/l Chl. a	Spurenmetalle in nmol/kg (Wasser)						
	S‰	Temp. °C	Phosphat	Nitrat	Silikat		Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Co	Fe
128	34,706	4,306	0,49	5,62	0,67	0,14	0,030	0,110	1,70	4,3	1,7	0,08	1,0
129	34,702	4,230	0,51	5,38	1,18	0,11	0,080	0,100	1,30	3,5	1,5	0,08	0,9
130	34,668	4,333	0,46	5,60	1,96	0,13		0,087	1,50	3,9	1,8	0,09	4,2
131	34,619	4,047	0,44	5,29	2,02	0,09	0,086	0,079	1,40	3,7	1,9	0,13	1,4
132	34,601	5,195	0,45	5,39	2,19	0,10	0,074	0,063	0,85	3,7	1,0	0,03	4,1
134	35,053	8,478	0,28	2,64	2,50	0,55	0,030	0,082	0,67	3,6	0,6	0,08	1,9
135	35,045	8,347	0,19	3,12	2,76	0,86	0,150	0,087	2,50*	7,7*	2,6	0,09	5,1
136	35,073	8,750	0,23	2,70	2,85	0,66	0,070	0,096	1,40	4,3	2,1	0,11	2,2
137	35,089	8,401	0,22	2,88	2,83	0,70	0,120	0,090	1,03	4,4	1,7	0,09	1,7
138	35,093	8,343	0,22	2,95	2,82	0,70	0,024	0,120	1,80	5,5	1,6	0,13	2,0
139	35,119	8,027	0,15	1,88	2,69	1,04	0,140	0,066	1,06	4,4	1,0	0,13	1,4
140	35,073	8,677	0,08	1,07	2,42	0,85	0,130	0,074	1,30	2,8	0,9	0,08	1,3
141	35,104	6,831	0,26	4,03	3,46	1,26	0,130	0,108	1,50	3,5	5,7	0,14	2,6
142	35,089	8,007	0,18	2,02	2,93	1,30	0,240	0,092	1,30	3,8	7,2	0,12	2,7
143	35,091	7,576	0,20	2,00	2,16	1,13	0,100	0,062	1,50	3,3	4,9	0,09	1,9
144	35,059	9,315	0,24	1,88	2,51	0,86	0,130	0,083	1,30	3,7	0,6	0,13	1,8
145	34,938	9,226	0,19	1,00	2,26	0,68	0,230	0,110	1,30	3,5	0,7	0,10	1,1
146	34,910	9,353	0,26	0,71	2,23	0,58	0,240	0,100	1,10	2,5	2,6	0,09	1,1
147	35,059	9,141	0,21	1,95	2,87	1,06	0,110	0,130	1,20	3,9	0,7	0,15	1,0
148	35,086	8,386	0,11	0,97	2,41	1,10	0,050	0,077	0,96	4,7	1,2	0,11	4,6
149	34,988	9,157	0,18	0,73	2,15	0,62	0,100	0,075	1,00	2,7	2,0	0,10	1,2
150	35,002		0,21	1,53	2,05	0,49	0,040	0,059	1,02	3,5	0,9	0,09	1,5
151	35,049	8,963	0,25	2,40	1,54	0,67		0,083	0,72	2,0	0,7	0,07	1,2
152	34,141	8,400	0,22	0,77	0,93	0,17	0,070	0,075	1,20	3,2	0,6	0,13	2,8
161,0	34,785	5,925	0,180	0,140	0,520	0,77	0,170	0,084	1,80	17,9*	2,2	0,44	5,7
162,0	34,709	6,368	0,160	0,050	0,640	0,18	0,030	0,070	1,50	5,6	0,7	0,24	2,4
162,1	34,975	7,223	0,240	2,310	0,510	0,82	0,070	0,094	1,30	2,9	0,6	0,08	1,0
163,0	34,995	7,263	0,230	2,500	0,340	0,76	0,050	0,079	1,50	1,2	0,6	0,09	0,9
164,0	35,005	7,165	0,410	4,290	2,760	0,46	0,030	0,109	1,60	3,3	0,6	0,06	0,8

Tabelle IV

ARK VIII/2 10.7. - 15.8.1990

Station Nr.	Hydrographie		Nährstoffe in µmol/l				µg/l Chl. a	Spurenmetalle in nmol/kg					(Wasser)				
	S‰	Temp. °C	Phosphat	Nitrat	Silikat	Pb		Cd	Cu	Ni	Zn	Co	Fe				
165,0	35,039	7,140	0,490	5,220	3,470	0,63	0,027	0,130	1,20	2,6	1,3	0,04	0,9				
166,0	34,734	6,848	0,350	3,510	3,260	0,87	0,027	0,087	2,20	3,2	0,8	0,05	1,0				
167,0	34,499	6,213	0,140	0,050	0,270	0,57	0,098	0,048	1,30	2,9	0,5	0,11	1,4				
168,0	33,826	5,847	0,110	0,080	0,210	0,43		0,078	1,30	3,1	2,0	0,10	1,9				
169,0	34,693	6,656	0,210	1,040	0,280	0,64	0,040	0,067	1,50	2,1	1,3	0,19	2,0				
170,0	34,900	6,558	0,730	9,280	3,860	0,41	0,115	0,046	0,87	2,0	0,6	0,02	1,5				
171,0	34,306	6,030	0,300	2,040	1,180	0,54	0,060	0,068	1,20	2,5	0,7	0,07	0,7				
172,0	34,582	5,854	0,400	3,910	2,530	0,34	0,033	0,072	1,20	3,0	0,5	0,08	0,7				
173,0	34,402	5,684	0,410	3,640	2,350	0,24	0,043	0,056	0,90	2,3	1,2	0,04	1,1				
174,0	31,434	3,487	0,220	1,490	0,540	0,53	0,094	0,062	1,40	3,1	3,4	0,11	3,3				
175,0	31,250	4,474	0,200	1,560	0,320	0,85	0,130	0,078	3,00	2,8	1,5	0,06	1,9				
176,0	33,171	3,458	0,130	0,040	0,140	0,68	0,080	0,063	1,50	3,4	1,1	0,07	2,3				
177,0	33,655	4,133				0,78	0,100	0,074	1,80	3,7	1,0	0,07	1,9				
178,0	32,789	3,005	0,230	0,120	0,220	1,07	0,080	0,083	1,70	2,9	0,5	0,09	3,0				
179,0	31,536	0,735	0,240	0,490	0,700	1,67	0,055	0,130	1,90	3,1	2,0	0,08	2,0				
180,0	31,551	0,014	0,390	0,950	1,590	0,84	0,025	0,130	2,10	3,0	0,8	0,02	2,0				
181,0	31,172	0,150	0,260	0,120	1,130	1,37	0,038	0,120	1,97	3,3	1,0	0,03	2,4				
182,0	30,591	-0,417	0,630	0,110	2,060	0,44	0,051	0,130	2,98	3,8	1,0	0,07	2,2				
183,0	30,342	-1,219	0,840	1,740	5,940	0,97	0,028	0,093	3,50	3,6	0,7	0,08	2,0				
184,0	30,055	-0,074	0,550	0,060	2,540	0,13	0,030	0,087	5,00	7,9★	0,3	0,25	2,7				
185,0	30,475	-0,597	0,680	0,100	2,470	1,06	0,036	0,107	3,10	3,7	1,0	0,11	4,7				
186,0	30,136	0,652	0,570	0,060	3,010	0,08	0,026	0,076	3,40	3,9	0,5	0,12	2,5				
187,0	30,164	0,480	0,570	0,070	2,640	0,09	0,024	0,087	3,10	3,3	1,1	0,08	2,3				
188,0	30,171	0,198	0,550	0,070	2,120	0,12		0,085	3,50	3,4	5,0★	0,11	4,2				
189,0	30,171	0,512	0,560	0,070	2,490	0,10		0,083	4,10	6,6★	1,3	0,45	20,1★				
190,0	30,149			0,050	2,150	0,16		0,087	3,90	3,5	1,8	0,16	27,6★				

Tabelle IV

ARK VII/2 10.7.-15.8.1990

St. Nr.	Tiefe (m)	Hydrographie		Nährstoffe in µmol/l			Spurenmetalle in nmol/kg (Wasser)						
		S‰	Temp. °C	Nitrat	Phosphat	Silikat	Chl. a	Cd	Co	Cu	Ni	Zn	Fe
110	0	30,781		2,32	0,40	5,23	0,14	0,030	0,08	2,10	3,7	0,9	1,5
	5	31,250	0,292	2,34	0,39	5,18	0,15	0,055	0,04	2,10	3,6	1,3	2,4
	10	31,807	0,503	4,11	0,49	3,68	0,40	0,059	0,03	1,67	3,4	4,2	1,2
	20	34,183	-0,154	6,78	0,60	3,61	0,33	0,123	1,35*	1,94	14,2*	1,2	7,5
	30	34,656	1,027	9,33	0,73	4,65		0,135	0,12	1,39	3,3	2,2	3,0
	40	34,301	0,995	11,50	0,87	5,35	0,21	0,156	0,09	1,34	2,8	1,7	1,3
	50	34,868	0,972	12,33	0,91	5,72	0,41	0,167	0,04	1,46	3,1	2,5	2,0
	60	34,909	1,211	12,59	0,93	5,79	0,14	0,165	0,02	1,40	3,0	1,5	2,5
	80	34,907	0,860	12,62	0,91	5,92	0,07	0,156	0,04	1,49	3,5	4,5	3,6
	100	34,899	0,700	13,21	0,91	6,26	0,02	0,148	0,02	1,54	3,0	3,9	3,9
	150	34,874	0,003	13,00	0,95	6,06	0,01	0,150	0,02	1,54	3,0	3,7	3,0
	200	34,875	-0,253	13,27	0,94	6,38	0,02	0,134	0,02	1,46	3,1	2,8	2,4

114	0	32,321		1,89	0,27	3,07	0,07	0,030	0,10	1,50	3,1	1,1	1,8
	5	33,712	1,921	2,29	0,29	2,87	0,10	0,052	0,04	2,38	3,6	2,5	1,3
	10	34,245	0,499	5,20	0,50	2,58	0,21	0,100	0,35	2,47	6,3	1,5	2,1
	20	34,529	-0,002	8,13	0,62	3,70	0,34	0,156	0,11	2,10	6,0	1,2	2,2
	30	34,638	-0,324	9,73	0,69	4,85	0,30	0,170	0,06	1,34	3,1	1,8	1,0
	40	34,749	-0,545	11,31	0,81	5,49	0,32	0,170	0,04	1,38	2,7	2,6	1,3
	50	34,826	-0,012	12,49	0,88	6,00	0,28	0,160	0,12	1,44	3,2	1,7	1,5
	60	34,833	-0,036	12,67	0,87	6,17	0,21	0,160	0,06	1,44	2,9	1,4	1,3
	80	34,871	0,161	12,96	0,88	6,19	0,07	0,165	0,06	1,49	3,8	2,7	3,4
	100	34,872	0,100	13,22	0,89	6,40	0,02	0,140	0,04	1,20	2,4	3,3	2,4
	150	34,882	-0,048	13,23	0,88	6,39	0,02	0,140	0,02	1,52	2,9	1,9	3,1
	200	34,869	-0,459	13,04	0,89	6,31	0,05	0,127	0,04	1,38	2,8	1,8	2,5
	500	34,864	-0,976	13,19	0,90	6,28		0,135	0,10	1,47	4,0	1,9	2,6
	1500	34,674	-1,034	14,84	1,02	9,26		0,160	0,06	1,47	3,4	1,8	3,5
	2000	34,900	-1,044	15,14	1,03	9,94		0,140	0,04	1,41	3,0	2,0	5,5
	2500	34,906	-1,027	15,35	1,06	10,74		0,166	0,06	1,44	5,4	1,7	5,8
	3500	34,901	-1,020	15,45	1,04	11,83		0,163	0,04	1,49	3,9	1,6	8,7

Tabelle V

ARK VII/2 10.7.-15.8.1990														
Hydrographie				Nährstoffe in $\mu\text{mol/l}$			$\mu\text{g/l}$	Spuremetalle in nmol/kg (Wasser)						
St. Nr.	Tiefe (m)	S‰	Temp. °C	Nitrat	Phosphat	Silikat	Chl. a	Cd	Co	Cu	Ni	Zn	Fe	
144	0	35,059		1,88	0,24	2,51	0,86	0,083	0,05	1,46	3,4	0,6	1,8	
	5	35,134	9,312	2,32	0,19	2,64	0,97	0,086	0,02	1,03	2,1	1,6	0,6	
	10	35,119	9,143	2,68	0,19	2,98	1,11	0,086	0,03	0,92	2,3	1,1	0,8	
	20	35,113	7,802	5,45	0,33	3,83	1,41	0,112	0,03	0,83	2,2	1,2	0,8	
	30	35,143	6,727	6,94	0,44	4,32	0,99	0,100	0,06	0,63	1,9	1,1	1,6	
	40	35,164	6,229	9,51	0,54	4,60	0,30	0,110	0,13	1,23	3,9	3,3	5,0	
	50	35,179	5,906	12,61	0,71	5,32	0,12	0,140	0,09	1,17	3,5	1,9	2,8	
	60	35,186	5,701	12,89	0,71	5,38	0,06	0,130	1,00*	1,78	12,8*	1,3	9,2*	
	80	35,179	5,334	13,00	0,72	5,42	0,03	0,135	0,05	1,20	3,2	1,6	5,2	
	100	35,169	5,081	13,05	0,74	5,43	0,01	0,123	0,05	1,30	3,4	2,5*	3,6	
	150	35,164	4,374	13,08	0,75	5,56	0,01	0,107	0,06	1,52	2,8	1,5	3,4	
	200	35,146	4,093	13,05	0,75	5,59	0,01	0,132	0,15	1,13	3,9	1,3	3,6	
	622	35,047	1,939	13,67	0,80	6,03		0,129	0,05	1,38	3,4	1,9	3,7	
	712	35,004	1,015	14,22	0,83	6,47		0,142	0,04	1,24	2,9	1,8	4,3	
	794	34,988	0,351	14,42	0,83	6,93		0,138	0,07	1,22	3,2	1,9	3,6	
	947	34,976	-0,294	14,92	0,85	7,91		0,149	0,06	1,44	2,7	1,9	5,5	
	1503	34,984	-0,838	15,66	0,92	10,62		0,147	0,02	1,27	3,1	1,8	3,5	
	2384	34,983	-0,981	15,58	0,93	11,18		0,142	0,07	1,40	3,2	1,9	30,5	

Tabelle V

ARK VII/2 10.7.-15.8.1990													
Hydrographie				Nährstoffe in $\mu\text{mol/l}$			$\mu\text{g/l}$	Spuremetalle in nmol/kg (Wasser)					
St. Nr.	Tiefe (m)	S‰	Temp. °C	Nitrat	Phosphat	Silikat	Chl. a	Cd	Co	Cu	Ni	Zn	Fe
172	0	34,646	5,854	3,91	0,40	2,53	0,34	0,072	0,05	1,20	3,0	0,5	0,4
	5	34,647	5,843	3,90	0,41	2,57	0,38	0,060	0,03	1,00	1,5	2,8	3,3
	10	34,655	5,791	4,17	0,42	2,89	0,38	0,070	0,12	1,45	2,6	1,8	1,3
	20	34,671	5,721	5,92	0,53	3,67	0,53	0,110	0,09	1,12	1,0	0,8	1,7
	30	34,777	2,607	7,74	0,63	4,19	0,52	0,140	0,27	1,39	3,8	1,0	2,7
	40	34,897	1,650	9,15	0,77	4,72	0,48	0,150	0,02	1,00	2,0	0,8	0,6
	50	34,947	1,575	9,73	0,77	4,93	0,37	0,150	0,02	0,97	1,4	1,3	3,9
	60	34,911	1,185	10,46	0,80	5,03	0,18	0,140	0,17	1,76	3,7	1,6	4,2
	80	34,948	0,935	12,24	0,88	5,64	0,06	0,125	0,15	1,27	3,1	1,2	3,3
	100	34,965	1,262	12,75	0,90	5,81	0,01	0,136	0,07	0,97	0,7	1,4	1,9
	150	34,948	0,728	13,34	0,94	6,16	0,01	0,142	0,06	1,33	3,4	2,3	1,6
	200	34,960	0,473	13,93	0,97	6,60	0,01	0,141	0,61*	1,39	9,8*	1,3	4,2
	1000	34,960	-0,850	14,67	1,05	9,37		0,135	0,06	1,57	4,5	1,5	1,9
	1500	34,960	-0,970	15,10	1,05	10,22		0,149	0,15	1,15	3,3	1,4	1,2
	2000	34,960	-1,000	15,12	1,03	10,90		0,128	0,06	1,36	3,2	1,3	2,4
	3000	34,960	-1,030	15,14	1,05	11,49		0,146	0,05	1,39	3,7	1,4	5,4

Tabelle V

ARK VII/2 10.7. - 15.8.1990												
Station Nr.	Spurenmetalle in µg/g (Calanus hyperboreus)						Spurenmetalle in µg/g (Calanus finmarchicus)					
	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Fe	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Fe
98	0,14	8,4	5,2	7,2	33,4	38,4						
99	0,08	7,6	8,3	9,5	36,9	31,0						
100	0,12	7,6	7,3	6,1	46,0	32,7						
102	0,48	7,8	7,5	4,6	88,8	55,8						
103	0,82	3,5	4,4	3,8	126,0	84,8						
104	1,20	10,1	8,1	4,6	120,0	138,0						
105	0,65	1,6	4,3	4,1	77,5	70,5						
106												
107	0,40	3,0	5,1	4,3	85,7	60,7						
108	0,33	2,9	4,9	4,3	89,1	52,2						
109	0,28	2,0	4,7	6,1	74,3	57,0						
110	0,29	1,8	3,6	2,8	79,5	54,4						
111												
112												
113	0,20	2,0	3,6	2,7	57,9	50,7						
114	0,48	1,5	2,7	1,6	55,0	53,2						
115												
116												
117	0,30	1,4	2,1	1,7	40,9	32,5						
118												
119												
120	0,44	1,4	3,1	1,7	82,8	38,6						
121												
122												
123	3,30*	2,2	3,8	1,6	121,0	149,0						
124												
125												
126	0,35	2,1	3,2	2,5	72,0	45,5						
127												

Tabelle VI

ARK VII/2 10.7. - 15.8.1990												
Station Nr.	Spuremetalle in µg/g (<i>Calanus hyperboreus</i>)						Spuremetalle in µg/g (<i>Calanus finmarchicus</i>)					
	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Fe	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Fe
164,0												
165,0												
166,0							0,40	5,7	6,4	1,8	132,0	92,2
167,0												
168,0												
169,0												
170,0												
171,0												
172,0							0,66	16,4*	8,2	2,6	260,0	124,0
173,0	0,33	3,9	5,9	2,2	79,6	58,9	0,18	6,2	7,1	2,6	132,0	70,9
174,0												
175,0												
176,0												
177,0							0,75	7,3	9,9	3,5	181,0	101,0
178,0												
179,0												
180,0	0,90	2,0	8,4	1,9	101,0	131,0						
181,0	0,38	2,2	6,9	3,1	63,4	72,0						
182,0	0,17	2,6	8,1	6,1	63,2	72,8						
183,0	0,24	4,4	6,5	3,7	37,5	79,3						
184,0	1,00	1,8	4,5	1,6	65,2	68,2						
185,0												
186,0	1,20	2,6	5,9	5,0	57,6	86,3						
187,0	1,00	2,5	5,2	3,4	45,4	73,0						
188,0	0,30	2,9	5,3	4,3	40,7	37,0						
189,0	0,20	2,4	4,8	3,2	35,6	45,4						
190,0												

Tabelle VI

ANT VII/5 12.3. - 6.4.1989														
Station Nr.	Hydrographie		Nährstoffe in µmol/l			µg/l	Spurenmetalle in nmol/kg (Wasser)							
	S‰	Temp. °C	Nitrat	Phosphat	Silikat	Chl. a	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Co	Fe	Mn
1	35,667		0,00	0,26	2,55			0,070	1,00	2,56	0,35	0,048	20,6*	1,95
2	35,755		0,03	0,15	2,25		0,072	0,054	0,77	2,56	0,49	0,041	2,0	1,89
3	35,740		0,01	0,15	2,25		0,133	0,050	3,26*	2,99	0,60	0,076	9,0	1,82
4	35,545		0,03	0,32	2,25		0,060	0,130*	0,57	2,39	0,35	0,008	2,0	3,68
5	35,652		0,00	0,19	1,05		0,067	0,104*	0,80	2,78	0,39	0,048	1,5	2,89
6	35,532		0,00	0,16	0,30		0,067	0,078	1,64*	2,96	0,53	0,031	5,2	1,49
7	35,646		0,00	0,22	0,41		0,072	0,042	0,77	2,92	0,39	0,048	2,8	2,22
8	36,164		0,02	0,21	0,71		0,060	0,061	0,72	2,49	1,00*	0,031	2,8	2,11
9	36,674	25,47	0,01	0,19	0,65	0,85	0,072	0,107*	0,69	2,28	0,47	0,008	2,1	6,47
10	36,689	25,51	0,03	0,15	1,25	0,35	0,470*	0,102*	3,18*	3,17	1,49*	0,019	5,2	2,75
11	36,591	26,67	0,04	0,12	1,37	0,25	0,460*	0,160*	0,97	2,53	2,00*	0,008	14,1*	3,08
12	36,169	27,86	0,04	0,11	1,00	0,35	0,072	0,066	0,80	2,78	0,54	0,036	3,0	2,75
13	35,091	28,39	0,02	0,10	3,10	1,05	0,084	0,060	1,17	2,53	1,00*	0,031	5,1	3,42
14	35,092	28,70	0,04	0,07	0,67	0,55	0,294*	0,109*	0,85	2,53	0,64	0,008	11,5*	2,68
15	35,043	28,87	0,03	0,04	0,22	0,55	0,081	0,138*	0,94	2,72	0,55	0,008	18,9*	2,62
16	35,094	28,90	0,02	0,04	0,97	0,45	0,052	0,062	1,02	2,72	0,41	0,008	14,0*	3,46
18	34,831	29,06	0,02	0,03	1,29	0,40	0,078	0,030	0,88	2,79	0,24	0,008	4,1	3,32
19	34,652	29,16	0,04	0,03	1,30	0,25	0,068	0,014	0,94	2,65	0,86	0,132*	23,3*	4,26
20	34,715	29,39	0,01	0,03	0,92	0,10	0,127	0,013	1,05	2,49	0,66	0,008	9,4	3,88
21	35,131	29,00	0,03	0,02	1,26	0,15	0,140	0,015	1,11	2,68	0,20	0,008	8,2	2,79
22	35,781	28,32	0,02	0,04	1,34	0,05	0,163	0,020	1,17	3,07	0,77	0,008	17,7*	2,81
23	35,751	27,95	0,01	0,05	1,35	0,05	0,091	0,015	1,22	2,80	1,01	0,008	16,6*	2,68
24	35,432	28,08	0,01	0,06	0,85	0,10	0,059	0,019	0,88	2,80	0,29	0,008	6,3	3,77
25	35,929	27,30	0,01	0,06	0,92	0,10	0,163	0,010	1,08	3,10	0,56	0,008	4,5	2,51
26	35,846	23,50	0,02	0,13	1,00	0,35	0,023	0,013	1,14	3,45	0,36	0,008	4,5	2,73
27	35,866	23,15	0,02	0,12	1,35	0,25	0,078	0,007	0,97	2,57	0,25	0,008	4,0	2,31
28	36,557	22,03	0,02	0,09	0,66	0,23	0,052	0,013	0,77	2,60	0,07	0,008	7,5	2,4
29	36,598	21,76	0,03	0,17	0,80	0,48	0,160	0,007	1,31	3,57		0,008	9,7	2,28
30	37,137	21,62	0,03	0,14	0,70	0,40	0,608	0,015	0,85	3,39	0,64	0,090	2,7	2,13

Tabelle VII

ANT VII/5 12.3. - 6.4.1989														
Station Nr.	Hydrographie		Nährstoffe in $\mu\text{mol/l}$			$\mu\text{g/l}$	Spurenmetalle in nmol/kg (Wasser)							
	S‰	Temp. °C	Nitrat	Phosphat	Silikat	Chl. a	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Co	Fe	Mn
31	37,288	20,95	0,04	0,13	0,78	0,53	0,218	0,012	0,93	2,70	0,66	0,112	2,7	1,53
32	37,208	20,24	0,04	0,10	0,86	0,55	0,314	0,004	0,94	2,57	0,28	0,034	2,7	1,27
33	37,208	20,27	0,06	0,07	0,45	0,95	0,203	0,004	0,93	2,21	0,27	0,076	2,0	1,44
34	36,909	19,30	0,03	0,07	0,75	0,85	0,289	0,004	1,05	2,64	0,29	0,076	2,6	
35	36,715	18,58	0,04	0,09		1,50	0,213	0,008	1,23	2,76	0,61	0,100	6,0	0,9
36	36,710	17,93	0,03	0,09	0,76	1,65	0,230	0,012	5,57*	4,11	0,91	0,115	17,2*	1,21
37	36,526	17,69	0,04	0,10	0,79	1,60	0,162	0,012	1,56	3,49	0,40	0,127	2,8	0,81
38	36,321	16,53	0,03	0,10	1,05	1,80	0,218	0,026	1,21	3,36	1,24	0,112	0,6	0,62
39	36,227	15,56	0,25	0,12	1,00	3,05	0,025	0,014	0,98	2,57	0,42	0,166	10,4*	1,14
40	35,956	14,55	0,05	0,14	0,95	4,95	0,164	0,021	1,19	3,00	0,90	0,115	4,2	0,77
41	35,809	13,50	0,94	0,21	1,00	4,15	0,199	0,026	1,39	3,75	1,00	0,153	11,3*	0,81
42	35,762	12,92	3,52	0,19	0,95	7,15	0,182	0,038	1,24	3,32	0,70	0,178	7,5	0,67
43	35,705	12,20	3,78	0,35	1,42		0,175	0,054	1,21	2,96	1,64	0,178	11,9*	1,15

Tabelle VII

ANT VII/5 12.3. - 6.4.1989						
Station Nr.	Spurenmetalle in µg/g			Pontellidae		
	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Fe
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
6	0,65	9,43	3,60	2,2	87,6	149,0
7	0,58	7,80	4,80	3,4	61,2	120,0
8	0,56	10,20	4,90	2,0	189,0	492,0
9	0,49	16,30	3,90	1,9	79,2	105,0
10	2,20	14,40	24,70*	5,4*	94,5	203,0
11	1,80	15,30	19,30	1,6	66,9	132,0
12	8,01*	81,38*	10,63	3,1	136,5	306,0
13	0,91	15,70	3,80	1,3	46,8	126,0
14	0,34	10,50	4,00	0,9	51,5	89,1
15	0,92	8,34	5,08	1,6	127,0	687,0*
16	0,50	6,57	3,44	1,3	88,9	139,0
18	1,05	11,81	4,58	0,9	417,0*	186,0
19	1,69	5,98	4,47	1,4	126,0	689,0
20	89,40*	10,80	4,80	1,2	177,0	191,0
21	0,33	7,90	4,40	1,6	112,0	198,0
22	1,91	19,58	3,80	1,6	74,5	319,0
23	0,22	9,60	3,80	0,9	61,2	107,0
24	0,33	11,02	4,98	1,2	84,9	157,0
25	0,53	10,70	2,50	1,6	75,6	164,0
26	2,26	35,74	3,49	4,2	171,0	242,0
27	0,44	12,34	3,47	0,9	36,4	265,0
28	2,30	18,76	3,68	2,2	52,9	339,0
29	-	-	-	-	-	-
30	8,58	70,95*	17,63*	5,5*	201,0	177,0
31	3,60	34,91*	10,22	4,8	270,0	324,0
32	-	-	-	-	-	-
33	1,27	15,80	7,30	2,7	248,0	305,0
34	0,71	10,06	6,89	2,4	133,0	159,0
35	0,29	8,80	8,10	2,7	113,0	188,0
36	0,47	11,20	6,30	3,3	110,0	148,0
37	0,58	11,50	7,70	3,1	125,0	110,0
38	2,34	23,15	17,79	3,5	443,0*	222,0
39	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-
41	-	-	-	-	-	-
42	-	-	-	-	-	-
43	-	-	-	-	-	-

Tabelle VIII

ANT VIII/7 29.4. -22.5.1990

Station Nr	Hydrographie			Nährstoffe in µmol/l				µg/l Chl. a	Spurenmetalle in nmol/kg (Wasser)					
	S‰	Temp. °C	Nitrat	Phosphat	Silikat	Cd	Cu		Ni	Zn	Co	Fe		
1	35,423	20,7	2,09	0,22	2,36	0,281	0,045	2,50	2,7	8,85	0,067	10,3		
2	35,627	20,7	1,20	0,15	2,13	0,078	0,012	1,19	3,6	7,72	0,134	4,3		
3	35,341	20,7	0,26	0,19	1,94	0,125	0,017	0,88	2,6	2,95	0,019	2,1		
4	35,561	21,4	0,26	0,16	1,88	0,089	0,011	0,88	2,6	3,15	0,032	3,0		
5	35,520	21,5	0,31	0,23	1,41	0,258	0,011	0,70	2,7	0,85	0,022	1,2		
6	35,722	22,5	0,22	0,31	0,58	0,117	0,015	0,73	2,7	1,05	0,033	3,2		
7	35,976	22,6	0,23	0,28	0,54	0,219	0,012	0,55	2,3	0,60	0,025	4,5		
8	36,176	23,2	0,22	0,28	0,61	0,172	0,045	0,72	2,5	0,67	0,079	4,4		
9	36,717	24,2	0,03	0,14	0,73	0,067	0,012	0,86	2,4	0,85	0,024	1,6		
10	36,535	25,0	0,14	0,15	1,08	0,078	0,020	0,86	2,8	0,80	0,063	1,4		
11	36,593	25,5	0,14	0,16	1,07	0,063	0,019	0,68	2,5	1,60	0,021	2,2		
12	35,241	27,3	0,16	0,11	1,72	0,141	0,013	0,91	2,4	1,15	0,040	1,5		
13	35,297	27,7	0,10	0,11	0,88	0,164	0,014	0,65	2,2	0,40	0,024	1,0		
14	35,393	27,7	0,29	0,09	0,96	0,133	0,013	0,65	2,0	0,60	0,103	1,4		
15	35,683	27,7	0,20	0,13	1,18	0,105	0,012	0,74	2,6	0,70	0,025	2,0		
16	35,627	28,6	0,12	0,11	1,30	0,172	0,011	0,67	2,5	0,40	0,029	2,7		
17	34,972	29,3	0,34	0,03	0,87	0,078	0,010	0,65	2,1	0,70	0,030	3,5		
18	34,415	29,1	0,16	0,05	0,93	0,094	0,009	0,65	2,1	0,29	0,029	4,0		
19	35,849	28,6	0,12	0,04	1,27	0,141	0,011	0,67	2,4	0,72	0,029	4,8		
20	35,893	28,0	0,13	0,04	1,24	0,188	0,075	0,66	2,1	0,52	0,029	7,1 *		
21	35,808	26,9	0,14	0,17	0,55	0,156	0,010	0,70	2,4	1,52	0,030	3,0		
22	36,041	25,2	0,09	0,12	0,96	0,203	0,026	0,79	2,6	1,28	0,095	2,7		
23	36,050	22,4	0,63	0,24	0,47	0,516	0,043	1,43	3,8	0,51	0,080	1,5		
24	36,121	21,7	0,11	0,15	0,47	0,219	0,024	0,74	2,5	0,36	0,063	2,3		
25	36,616	21,4	0,17	0,10	0,63	0,141	0,009	0,89	2,6	0,57	0,040	2,0		
26	36,678	21,4	0,13	0,07	0,34	0,219	0,009	1,00	2,6	0,47	0,045	5,5		
27	36,679	20,8	0,12	0,06	0,39	0,094	0,006	0,85	2,3	1,23	0,020	2,1		
28	36,834	19,7	0,14	0,04	0,46	0,078	0,014	1,18	2,7	0,44	0,053	2,1		

Tabelle IX

ANT VIII/7 29.4. - 22.5.1990												
Hydrographie												
Station Nr	S‰	Temp. °C	Nährstoffe in µmol/l			µg/l	Spurenmetalle in nmol/kg (Wasser)					
			Nitrat	Phosphat	Silikat		Chl. a	Cd	Cu	Ni	Zn	Co
29	36,715	20,0	0,12	0,04	0,51	0,078	0,008	0,99	2,6	0,44	0,032	1,6
30	36,525	19,7	0,14	0,05	0,24	0,078	0,010	1,00	2,4	0,42	0,025	3,9
31	36,223	17,9	0,11	0,07	0,35	0,098	0,021	1,07	2,3	1,17	0,040	0,9
32	36,210	17,5	0,08	0,15	0,47	0,109	0,031	1,20	2,4	1,26	0,052	1,3
33	36,184	17,3	0,12	0,04	0,40	0,188	0,042	1,43	2,6	1,34	0,072	1,6
34	35,748	16,0	0,12	0,07	0,79	0,195	0,053	1,17	2,5	1,02	0,059	1,6
35	35,794	16,3	0,09	0,12	1,00	0,414	0,044	1,07	2,6	0,74	0,055	1,6
36	35,748	16,3	0,05	0,05	0,65	0,177	0,064	1,19	2,7	1,32	0,079	1,9
37	35,699	14,7	0,04	0,05	0,29	1,969	0,056	1,12	2,7	0,87	0,082	1,6
38	35,644	14,0	0,04	0,05	0,85	1,625	0,058	1,35	2,6	1,26	0,059	3,3

Tabelle IX

ANT VIII/7 29.4. - 22.5.1990															
St. Nr.	Hydrographie			μmol/l	Nährstoffe in μmol/l				Spuremetalle in nmol/kg (Wasser)						
	Tiefe(m)	S‰	Temp. °C	O ₂	Dichte	Nitrat	Phosphat	Silikat	Pb	Cd	Co	Cu	Ni	Zn	Fe
Kap-B. 27°30,3 S 10°64,0E	5	35,333	20,505	235,2					0,076	0,150	0,070	2,90	5,5	3,6	12,6*
	20	35,332	20,043	235,0	24,931	0,10	0,22	2,00	0,260	0,010	0,044	0,82	2,6	3,9	1,7
	50	35,291	16,498	235,8	25,976	0,30	0,29	2,10	0,200	0,016	0,040	1,03	2,9	2,9	13,3
	70	35,400	15,462	230,9	26,193	3,30	0,43	2,70	0,650*	0,015	0,080	1,50	2,8	3,8	26,8
	100	35,361	14,789	211,3	26,302	7,60	0,64	4,00	0,107	0,030	0,044	0,80	2,7	1,7	15,0
	200	35,090	12,377	217,3	26,578	11,20	0,85	5,00	0,073	0,065	0,040	1,73	3,2	1,4	4,6
	300	34,858	10,093	205,4	26,762	17,30	1,25	7,70	0,120	0,133	0,040	1,33	3,9	2,2	4,4
	500	34,443	5,947	197,0	27,109	29,50	2,11	18,30	0,096	0,250	0,048	1,60	5,4	2,9	9,4
	1000	34,487	3,527	178,2	27,470	35,20	2,57	41,90	0,120	0,275	0,029	1,40	5,4	2,7	5,3
	1500	34,768	3,288	209,0	27,715	29,00	2,26	38,10	0,120	0,250	0,036	2,20	6,4	3,0	17,2
	2000	34,861	3,105	233,2	27,805	25,50	1,78	34,00	0,110	0,210	0,044	2,30	5,4	3,4	9,5
	3000	34,849	2,474	241,4	27,857	25,20	1,76	46,00	0,150*	0,187	0,044	3,00	5,5	2,8	11,3

ANT VIII/7 29.4. - 22.5.1990															
St. Nr.	Hydrographie			μmol/l	Nährstoffe in μmol/l				Spuremetalle in nmol/kg (Wasser)						
	Tiefe(m)	S‰	Temp. °C	O ₂	Dichte	Nitrat	Phosphat	Silikat	Pb	Cd	Co	Cu	Ni	Zn	Fe
Angola-B. 13°46,0 S 2°26,0 E	5	36,720	24,120	219,7					0,099	0,012	0,130	1,20	2,6	4,1	23,4*
	20	36,720	24,110	217,0	25,110	0,20	0,18	1,00	0,044	0,010	0,060	1,20	1,9	2,7	3,7
	50	36,200	16,530	206,3	26,186	0,10	0,17	0,90	0,015	0,012	0,017	0,70	1,8	1,7	16,8*
	100	35,287	13,030	95,6	26,624	24,10	1,62	7,50	0,016	0,050	0,034	1,02	3,1	1,0	3,2
	200	35,054	10,930	65,7	26,821	28,80	2,44	15,40	0,017	0,200	0,065	1,00	3,5	3,3	9,5
	300	34,915	9,570	53,6	26,941	30,80	2,89	21,60	0,064	0,210	0,048	1,40	4,1	1,4	3,2
	500	34,657	7,090	55,8	27,125	32,80	1,93	27,80	0,034	0,240	0,048	1,10	4,4	1,7	12,8*
	1000	34,559	4,030	155,0	27,466	36,80	1,95	27,90	0,088	0,260	0,034	1,70	5,8	3,7	4,8
	1500	34,867	3,730	209,9	27,740	41,80	1,67	29,50	0,024	0,210	0,025	1,10	4,4	2,9	17,7*
	2000	34,911	3,290	234,0	27,818	27,20	1,76	43,30	0,060	0,190	0,022	2,20	4,5	2,3	3,9
	3000	34,887	2,550	237,6	27,874	27,20	1,75	47,60	0,034	0,150	0,025	2,00	4,3	3,5	6,8
	3500	34,880	2,390	238,0	27,885	24,60	1,54	53,80	0,079	0,140	0,001	2,90	4,6	3,7	2,0

Tabelle X

ANT VIII/7 29.4. - 22.5.1990															
St. Nr.	Hydrographie			μmol/l		Nährstoffe in μmol/l			Spurenmetalle in nmol/kg (Wasser)						
	Tiefe(m)	S‰	Temp. °C	O ₂	Dichte	Nitrat	Phosphat	Silikat	Pb	Cd	Co	Cu	Ni	Zn	Fe
Guinea-B. 0°59,5 S 8°3,0 W	5	35,764	19,450	207,7					0,135	0,011	0,042	0,74	1,9	4,4*	5,9*
	20	35,481	17,690	197,4	26,127	6,80	1,23	4,00	0,084	0,170	0,030	1,50	3,0	4,7*	1,7
	50	35,839	15,250	162,6	26,381	11,30	0,92	4,30	0,047	0,023		0,35	1,2	0,6	2,1
	70	35,656	15,040	164,8	26,397	13,50	1,06	5,20	0,057	0,086	0,039	0,82	2,7	3,1	5,5
	100	35,538	14,550	144,7	26,450	17,10	1,23	6,30	0,066	0,094	0,081	0,77	3,2	2,1	6,7
	200	35,313	12,090	93,8	26,694	25,20	1,72	9,40	0,065	0,170	0,017	0,92	3,8	2,8	14,9*
	300	34,854	9,030	88,9	26,989	33,40	2,26	15,30	0,150	0,219	0,068	0,95	4,2	6,0	9,0
	500	34,566	6,180	136,7	27,180	34,40	2,45	21,20	0,100	0,243	0,034	1,23	4,0	14,0*	4,4
	1000	34,612	4,410	164,8	27,501	34,00	2,49	30,00	0,053	0,275	0,039	1,76	5,3	6,4	8,8
	1500	34,946	4,170	236,3	27,758	22,70	1,70	18,20	0,047	0,194		1,17	4,5	3,4	15,1*
2000	34,955	3,520	257,7	27,831	21,30	1,47	19,50	0,076	0,168	0,056	1,51	4,3	4,2	9,9	
3000	34,896	2,640	248,8	27,874	23,40	1,63	37,00	0,100	0,182	0,034	1,87	4,3	2,8	18,4	

ANT VIII/7 29.4. - 22.5.1990															
St. Nr.	Hydrographie			μmol/l		Nährstoffe in μmol/l			Spurenmetalle in nmol/kg (Wasser)						
	Tiefe(m)	S‰	Temp. °C	O ₂	Dichte	Nitrat	Phosphat	Silikat	Pb	Cd	Co	Cu	Ni	Zn	Fe*
Sierra-L. Becken 5°96,8 N 16°28,5W	5	36,009	25,180	212,6					0,038	0,022	0,063	0,80	1,6	5,1*	5,1
	20	36,011	19,980	214,4	26,127	0,20	0,04	1,40	0,057	0,044	0,087	0,84	1,6	3,8	13,4*
	50	35,804	15,960	129,5	26,381	6,10	0,60	3,80	0,065	0,044	0,110	0,64	2,1	1,2	19,6*
	100	35,538	14,600	74,6	26,450	25,00	1,68	7,50	0,127	0,097	0,110	0,83	2,7	1,9	4,0
	200	35,367	12,900	75,9	26,694	26,80	1,82	9,20	0,196	0,130	0,134	0,99	4,2	1,6	11,2*
	300	35,169	9,970	73,7	26,989	31,40	2,09	12,20	0,096	0,200	0,110	0,92	4,0	1,3	6,7
	500	34,740	7,360	96,0	27,200	36,70	2,54	19,60	0,140	0,270	0,102	0,95	4,6	2,5	7,8
	1000	34,672	4,830	138,9	27,501	35,70	2,62	28,70	0,070	0,290	0,071	1,30	5,4	5,4	4,4
	1500	34,919	4,060	216,2	27,758	26,00	1,81	21,90	0,060	0,210	0,095	1,06	4,7	2,9	19,5
	2000	34,938	3,400	245,2	27,831	22,70	1,61	23,70	0,038	0,190	0,071	1,40	5,1	3,8	13,8
3000	34,908	2,680	249,2	27,875	22,90	1,63	34,90	0,036	0,180	0,080	1,70	5,4	2,9	11,8	
4800	34,856	2,240	251,4		24,10	1,74	48,40	0,065	0,190	0,063	2,20	4,7	4,0	26,8	

Tabelle X

ANT VIII/7 29.4. - 22.5.1990															
St. Nr.	Hydrographie			µmol/l		Nährstoffe in µmol/l			Spuremetalle in nmol/kg (Wasser)						
	Tiefe(m)	S‰	Temp. °C	O ₂	Dichte	Nitrat	Phosphat	Silikat	Pb	Cd	Co	Cu	Ni	Zn	Fe*
Kapverden	5	36,630	20,420	234,0					0,074	0,020	0,087	0,77	1,8	4,6	2,2
Becken	20	36,579	19,720	232,2	26,014	0,20	0,30	0,80	0,053	0,049	0,095	1,18	1,7	5,3	2,4
20°61,0 N	50	36,514	18,150	198,7	26,378	4,60	0,46	2,00	0,135	0,069	0,071	1,23	2,1	2,1	5,7
20°44,5 W	70	36,490	17,240	176,8	26,483	9,10	0,62	2,90	0,046	0,034	0,102	1,10	2,6	3,3	8,6
	100	36,242	16,490	131,7	26,539	15,20	0,97	4,70	0,144	0,068	0,143	0,99	3,3	2,5	16,7
	200	35,777	13,840	82,2	26,756	24,30	1,55	8,10	0,029	0,162	0,158	1,18	3,3	1,8	9,8
	300	35,563	12,720	61,2	26,907	28,90	1,85	10,30	0,211	0,207	0,143	1,18	1,9	2,0	11,7
	500	35,316	10,020	65,7	26,146	33,20	2,16	14,20	0,034	0,319	0,126	1,28	3,0	3,3	9,6
	1000	34,965	6,370	123,3	27,510	32,80	2,33	22,90	0,039	0,304	0,126	1,18	5,4	4,2	37,3
	1500	35,023	4,600	197,8	27,767	26,90	1,84	23,30	0,057	0,249	0,095	1,54	5,8	3,7	17,7
	2000	34,995	3,660	232,7	27,848	23,20	1,65	26,10	0,081	0,199	0,119	1,56	5,4	2,5	11,7
	3000	34,922	2,760	246,1	27,885	23,00	1,64	35,30	0,108*	0,214	0,095	1,80	4,0	3,0	16,5

ANT VIII/7 29.4. - 22.5.1990															
St. Nr.	Hydrographie			µmol/l		Nährstoffe in µmol/l			Spuremetalle in nmol/kg (Wasser)						
	Tiefe(m)	S‰	Temp. °C	O ₂	Dichte	Nitrat	Phosphat	Silikat	Pb	Cd	Co	Cu	Ni	Zn	Fe*
Westl.	50	36,193	15,260	256,8	26,804	0,10	0,06	0,50	0,060	0,020	0,034	1,07	2,5	2,2	1,4
Gibraltar	100	36,108	14,710	247,9	26,845	1,80	0,12	0,90	0,100	0,014	0,008	0,92	2,3	2,6	2,1
35°97,0 N	200	35,792	12,800	216,6	26,988	10,10	0,56	3,40	0,120	0,075	0,025	0,94	2,9	1,5	6,4
14°22,5 W	300	35,646	11,960	218,4	27,079	12,40	0,73	4,40	0,240	0,110	0,034	1,00	3,5	2,3	7,5
	500	35,594	11,380	206,3	27,272	15,50	0,92	6,10	0,144	0,140	0,051	1,10	4,7	1,8	6,9
	750	35,964	10,960	188,0	27,549	16,50	1,00	8,40	0,136	0,148	0,126	1,40	3,7	2,9	30,3
	1000	36,018	10,530	191,1	27,718	17,50	1,07	10,10	0,119	0,150	0,025	1,10	4,1	2,5	6,6
	1250	35,992	9,140	200,1	27,849	17,40	1,06	11,00	0,076	0,153	0,008	1,20	4,0	3,1	4,9
	1500	35,567	6,710	225,1	27,879	18,40	1,17	12,70	0,076	0,152	0,008	1,10	4,1	2,4	8,5
	2000	35,111	4,000	255,9	27,881	19,90	1,32	18,40	0,120	0,194	0,025	1,40	6,5	2,3	19,5
	3000	34,925	2,670	254,1	27,891	22,30	1,54	34,60	0,068	0,242	0,025	2,20	6,1	3,3	13,7
	4000	34,888	2,440	248,8	27,892	23,80	1,65	42,90	0,300*	0,238	0,034	2,80	5,7	4,0	4,3

Tabelle X

ANT VIII/7 29.4. - 22.5.1990		Hydrographie		µmol/l		Nährstoffe in µmol/l			Spurenmetalle in nmol/kg (Wasser)						
St. Nr.	Tiefe(m)	S‰	Temp. °C	O ₂	Dichte	Nitrat	Phosphat	Silikat	Pb	Cd	Co	Cu	Ni	Zn	Fe
Iberisches Becken	50	35,784	15,260	272,4	27,006	0,30	0,08	1,20	0,350	0,056	0,073	2,50	2,6	13,6	9,1
	100	35,728	14,710	262,2	27,022	4,50	0,31	1,50	0,360	0,063	0,044	1,26	2,9	1,9	2,2
44°75,5 N	200	35,659	12,800	256,3	27,081	7,00	0,42	2,30	0,360	0,072	0,029	1,10	1,8	1,9	2,9
8°91,0 W	300	35,593	11,960	251,9	27,126	9,20	0,54	3,10	0,170	0,083	0,036	1,30	2,3	2,4	4,1
	500	35,506	11,380	230,9	27,221	13,60	0,84	5,20	0,165	0,120	0,022	1,20	3,1	3,2	9,6
	750	35,656	10,960	200,1	27,422	16,90	1,05	8,30	0,092	0,138	0,087	1,00	3,6	2,8	13,5
	1000	35,935	10,530	192,0	27,616	17,00	1,04	9,10	0,230	0,138	0,017	1,37	3,3	3,6	6,5
	1250	35,683	9,140	206,3	27,735	18,30	1,16	11,00	0,165	0,150	0,022	1,37	4,2	4,0	7,9
	1500	35,193	6,710	242,5	27,773	19,30	1,25	12,40	0,100	0,175	0,010	1,30	3,3	3,6	2,7
	2000	35,001	4,010	263,9	27,832	19,70	1,32	17,70	0,200	0,190	0,036	1,70	4,6	3,8	10,3
	3000	34,929	2,670	258,1	27,886	23,00	1,53	32,70	0,040	0,200	0,010	1,90	5,4	3,1	7,2
	4600	34,886	2,440	251,0	27,890	23,80	1,64	42,30	0,170	0,220	0,044	3,10	8,8	5,1	17,5

Tabelle X

ANT VIII/7 29.4. - 22.5.1990							
Spurenmetalle in µg/g Copepoda							
St. Nr.	Tiefe(m)	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Fe
Angola-B. 13°46,0 S 2°26,0 E	0 - 100	0,70	9,6	6,0	5,9	33,2	207,0
	100 - 200	0,23	5,4	4,5	2,7	58,3	244,0
	200 - 500	2,40	4,7	12,6	25,1	255,0	690,0
	500 - 700	0,60	6,9	4,9	9,2	152,0	126,0
	700 - 1200	0,55	3,0	10,3	11,1	225,0	187,0

ANT VIII/7 29.4. - 22.5.1990							
Spurenmetalle in µg/g Copepoda							
St. Nr.	Tiefe(m)	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Fe
Guinea-B. 0°59,5 S 8°3,0 W	0 - 100	1,30	5,1	5,6	3,7	75,4	232,0
	100 - 200	0,20	3,7		3,3	151,0	46,0
	200 - 500	0,23	3,0	5,6	6,3	265,0	88,0
	500 - 700	0,25	2,9	6,9	13,3	213,0	93,0
	700 - 1200	0,20	1,5	5,9	2,4	128,0	94,4

ANT VIII/7 29.4. - 22.5.1990							
Spurenmetalle in µg/g Copepoda							
St. Nr.	Tiefe(m)	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Fe
Sierra-L. Becken 5°96,8 N 16°28,5 W	0 - 100						
	100 - 200	1,90	17,2	3,6	1,3	340,0	113,0
	200 - 500	0,44	4,4	20,9	2,5	129,0	109,0
	500 - 700	0,30	2,8	2,9	14,0	193,0	281,0
	700 - 1200	0,50	2,8	6,9	7,9	169,0	103,0

ANT VIII/7 29.4. - 22.5.1990							
Spurenmetalle in µg/g Copepoda							
St. Nr.	Tiefe(m)	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Fe
Kapverden Becken 20°61,0 N 20°44,5 W	0 - 100						
	100 - 200						
	200 - 500	0,14	1,9	2,3		38,0	62,5
	500 - 700	0,03	1,4	1,4	0,2	16,4	19,3
	700 - 1200	0,08	1,0	1,0	0,5	36,1	18,6

ANT VIII/7 29.4. - 22.5.1990							
Spurenmetalle in µg/g Copepoda							
St. Nr.	Tiefe(m)	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Fe
Westl. Gibraltar 35°97,0 N 14°22,5 W	0 - 100						
	100 - 200	0,07	3,1	27,6	2,3	145,0	166,0
	200 - 500	0,75	1,5	9,4	7,0	165,0	96,4
	500 - 700	0,40	1,8	8,4	3,7	123,0	66,5
	700 - 1200	0,20	1,4	23,6	17,5	243,0	323,0
	1200 - 1500	1,90	1,9	24,1	5,7	166,0	350,0

ANT VIII/7 29.4. - 22.5.1990							
Spurenmetalle in µg/g Copepoda							
St. Nr.	Tiefe(m)	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	Fe
Iberisches Becken 44°75,5 N 8°91,0 W	0 - 100						
	100 - 200						
	200 - 500	0,80	1,6	8,2	3,8	168,0	142,0
	500 - 700	1,40	1,7	8,0	3,0	160,0	148,0
	700 - 1200	0,50	0,5	12,0	5,5	223,0	116,0

Tabelle XI