

BERICHTE

aus dem

SONDERFORSCHUNGSBEREICH 313

VERÄNDERUNGEN DER UMWELT - DER NÖRDLICHE NORDATLANTIK



Nr. 43

Verfolgung pelagischer Prozesse mit Hilfe von biochemischen Komponenten am Beispiel der Alkenone (C_{37:2}, C_{37:3})

CLAUDIA THOMSEN

Z 507

43
1993



CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL • 1993

X-4228

Nr. 43

Verfolgung pelagischer Prozesse mit Hilfe von biochemischen
Komponenten am Beispiel der Alkenone (C_{37:2}, C_{37:3})

Claudia Thomsen

3.3.1. Allgemeine Beschreibung der Sedimentation	33
3.3.2. Alkenone	37
3.3.2.1. Wassersäule.....	37
3.3.2.2. Sinkstoffalle.....	38
3.3.2.3. Sinkstoffallen-Pellets (BI2)	40
3.3.2.4. Sediment	42
3.4. Abbau-Versuch.....	42
3.4.1. Allgemeine Beschreibung der Sedimentation	42
3.4.2. Alkenone	44
3.5. Wassersäulen-Daten.....	45
3.6. Statistische Betrachtungen	47
3.6.1. Alkenon-Fluß	47
3.7. Kulturversuche	49
4. Diskussion	51
4.1. Methodisches.....	51
4.2. Abbildung pelagischer Prozesse im Material der Sinkstoffallen.....	53
4.2.1. Norwegen Becken (NB6)	55
4.2.2. Ostgrönländische See (OG4).....	56
4.2.3. Barents See - Hang (BI2)	58
4.3. Veränderung der Verhältnisse von C _{37:2} zu C _{37:3} im Material aus den Sink- stoffallen.....	60
4.4. Modifikation des Alkenonsignales in der Wassersäule bis zum Sediment.....	63
4.5. Beeinflussung des Alkenonsignals durch die Aktivität herbivorer Organismen.....	66
4.6. Modifikation des Alkenon-Signales im Abbauversuch.....	69
4.7. Bildung des Alkenonsignales in Kulturversuchen	70
4.8. Alkenon-Untersättigungsindex (U ^K ₃₇) für Temperaturbetrachtungen.....	71
4.9. Biomarkereigenschaften der Alkenone C _{37:2} zu C _{37:3} für die Betrachtung pelagischer Prozesse	73
5. Zusammenfassung	75
6. Literatur	77
7. Tabellenanhang	87
Danksagung	

In recent years studies of the vertical flux of organic matter from the upper layers of the ocean have prompted the search for key organic compounds (biomarkers) as tracers of production, flux and burial of organic carbon in the sediment. Attention has been focused on the long-chain (C_{37:2}, C_{37:3}) unsaturated methyl and ethyl ketones. The recognized biological source for these alkenones, which are widely found in marine sediments, are prymnesiophyte algae such as the coccolithophorid species *Emiliana huxleyi*. Assuming that the tracer signal originally formed remains unaltered until its signature in the sediment, the alkenones have found an application as sedimentary paleotemperature indicators. The aim of this investigation was to trace the alkenones from their formation in the euphotic zone to the sediment surface using moored sediment traps in the Norwegian-Greenland Sea.

The results have been represented as the total alkenone flux (sum of C_{37:2} and C_{37:3}) and as the C_{37:2} to C_{37:3} ratio.

A new method for the detection of very low alkenone concentrations was developed. It was possible to determine alkenone concentrations in water samples of small volume (with a minimum of 50 000 cells l⁻¹) as well as in small amounts of substrate from the sediment traps (ng g⁻¹).

At three different sites in the Norwegian-Greenland Sea it was observed that the total alkenone flux follows the same seasonal trend as the bulk parameters DW, POC, CaCO₃ and SiO₂. The C_{37:2} to C_{37:3} ratio was found to vary in traps at different depths as well as on a seasonal scale.

Norwegian Sea (NB6 - 69°41,2'N/00°27,8'E): The total alkenone flux ranged from 12 to 140 ng m⁻² d⁻¹ with maximum values from mid-October till mid-November. The C_{37:2} to C_{37:3} ratio during this phase of maximum sedimentation fluctuated around 1. During summer this ratio was significantly higher whereas during the rest of the year the value was below 1, this trend was evident from traps at all depths.

East Greenland Sea (OG4 - 72°23,0'N/07°42,7'W): The total alkenone flux ranged from 6 to 103 ng m⁻² d⁻¹ with a maximum at the end of July. The C_{37:2} to C_{37:3} ratio was subject to considerable fluctuations: in July only C_{37:3} was found in the alkenone flux, however during the rest of the year the C_{37:2} to C_{37:3} ratio increased to values of up to 10.

Barents Sea continental slope (BI2-75°11,8'N/12°29,2'E): In the two bottom-near traps the total alkenone flux ranged from 9 ng m⁻² d⁻¹ to maximum values of 2 µg m⁻² d⁻¹ in July. Apart from two events the values for C_{37:2} to C_{37:3} ratio at 1840 m were below 0.6. In contrast to that the signal of C_{37:2} to C_{37:3} calculated for 1950 m averaged around 4.

In all three areas investigated the influence of resuspension and lateral transport on the alkenone flux and the bulk parameters was apparent in the deepest sediment traps, in which the C_{37:2} to C_{37:3} ratio increased to values higher than 1. This was most pronounced in the Norwegian Sea, where the total alkenone flux varied considerably due to additional input and variations by up to a factor of 7.

Different signals in the alkenone flux as well as the alteration of the alkenone composition in the two deepest mooring depths at the Barents Sea site possibly indicates a flux of 'rebound' particles at 1840 m. This material was probably derived from the shelf, from where it had been transported within a short period of time across the shelf break to an area of high accumulation at 1000-1700 m depth. From there it might have reached the 20 nm distant sediment traps within an Intermediate Nepheloid Layer.

The flux in the 1950 m trap, however, was dominated by resuspended matter from the Bottom Nepheloid Layer.

Grazers, i.e. their faecal pellets have been assumed as one of the main transport pathways of prymnesiophyte algae to deeper waters. Determination of alkenone concentrations in faecal pellets of appendicularia, ostracods and euphausiids from the Barents Sea continental slope revealed a contribution of pellets to the total alkenone sedimentation of up to 22 %. The C_{37:2} to C_{37:3} ratio in the pellets was almost exclusively lower than 1, showing that a major proportion of total C_{37:3} alkenone flux occurs by this pathway.

In the suspended particle pool within the water column a vertical increase of the C_{37:2} to C_{37:3} ratio in the euphotic zone took place. Below the euphotic zone this ratio remained relatively constant down to 500 m. An accumulation of C_{37:3} in the suspended pool occurred in the mesopelagic zone.

The contribution of alkenones to the total organic carbon biomass of *Emiliana huxleyi* was determined as ~3 %. These measurements were based on samples from the water column. The existing theory of a constant C_{37:2} to C_{37:3} ratio from its formation to its subsequent imprint in the sediment could not be confirmed for the Norwegian-Greenland Seas. When applying the equation for the U^k₃₇ index and temperature transformation (SST), correspondence between the calculated temperature and the in situ temperature could only be confirmed for a single water column sample at 2 m depth at the Barents Sea site.

The following theses on transport of alkenones through the water column have been emphasised:

The least modification of the surface signal on its way to the bottom-near traps occurs during phases of rapid sedimentation.

During phases of low settling velocities the material is depleted of the alkenone C_{37:3}. A possible explanation can be found in the change to the suspended particle pool, leading to a relative accumulation of C_{37:2} in the sinking particles.

Grazers prefer food enriched with C_{37:3}, which later settles to the seafloor as faecal pellets.

The additional input of C_{37:2} in samples in the bottom-near sediment traps occurs due to resuspension and lateral advection.

Further investigation is required to explain the observation that the C_{37:2} to C_{37:3} ratio in the sediment remains fairly constant. This applies especially to the Bottom Nepheloid Layer.

1. Einleitung

1.1. Zielsetzung

Die Produktion partikulärer organischer Substanz in der euphotischen Zone, das Absinken dieser Substanzen und deren Deposition im Sediment spielen im globalen Kohlenstoffkreislauf eine bedeutende Rolle (Berger et al. 1989, Berger & Wefer 1990, Broecker & Denton 1989, Graf 1992).

Die saisonale Sedimentation wird von abiotischen Umweltfaktoren und insbesondere durch biologische Prozesse gesteuert (v. Bodungen 1989, Peinert et al. 1989).

In den letzten Jahren wurde nach aussagekräftigen Informationsträgern gesucht, die Hinweise auf diese Prozesse der Bildung und Modifikation der primärproduzierten organischen Substanz und des vertikalen Exportes bis zum Abbild im Sediment geben (Banse 1990, de Baar et al. 1983, Wakeham & Canuel 1988). Diese konnten im wesentlichen nur spezielle, vergleichsweise abbauresistente organische Verbindungen sein. Biomarker sind organische Substanzen, die genügend Strukturmerkmale bewahrt haben, um auch in modifizierter Form Rückschlüsse auf ihre biogene Ursprungsverbindung zuzulassen (Sohn, 1986).

Als Biomarker eignen sich insbesondere natürliche Isotope (Voß 1991a), Pigmente (Peeken, Diss. in Vorb.) und Lipide. Die im folgenden näher beschriebenen Lipide stellen zwar nicht den größten Teil der organischen Materie (5 - 20 %), spielen jedoch bei Energiespeicherung und Mobilisation, Reproduktion, Stoffwechselprozessen, Strukturierung von Biomembranen und als Bestandteil der Zelloberfläche eine wichtige Rolle. Diese heterogenen, neutralen und polaren Lipidverbindungsklassen haben bei verschiedenen Fragestellungen in den letzten Jahren mannigfaltige Anwendung gefunden.

Sie ermöglichen die Unterscheidung von marinen und terrigenen Signalen (Baroux et al. 1987, Currie & Johns 1989, Hostettler et al. 1989, Lee & Peart 1991). Informationen über das Nahrungsnetzgefüge können durch typische autotrophe und Grazer spezifische Marker erhalten werden (Volkman et al. 1989, Kattner & Krause 1989). Anhand von solchen Untersuchungen kann z.B. eine Sukzession von Phytoplanktongruppen wie Diatomeen und Dinoflagellaten durch die Analyse verschiedener typischer Fettsäuren und Sterolen nachgewiesen werden (Bayona et al. 1989, Boon & de Lange 1979, Nichols et al. 1988, Mayzaud et al. 1989). Auch charakteristische Umwandlungen durch Mikroorganismen ermöglichen Abschätzungen zu deren Aktivität und Biomasse (Currie & Johns 1988), sowie deren Einfluß auf die Degradation der organischen Materie (Gossens et al. 1989).

Der Anteil labiler Komponenten wird als Maß für den "Frischegrad" dieser organischen Substanz verwendet (Gagosian et al. 1982, Gomez-Belinchon et al. 1988).

Die Verschiebung des Spektrums der Verbindungen in der Wassersäule kann Hinweise auf stattgefundenen Prozesse geben (Ittekkott et al. 1991, Reemtsma et al. 1990, Venkatesan & Kaplan 1987, Wakeham & Beier 1991, Wakeham & Lee 1989). Das suspendierte Material zeigt auch in größeren Tiefen einen erstaunlich hohen Anteil labiler Komponenten und läßt auf eine rasche Zufuhr frischen Materials in den langsam sinkenden Pool schließen (Wakeham & Canuell 1988).

Die vorliegende Arbeit entstand im Teilprojekt "Pelagische Prozesse und vertikaler Partikelfluß (A1)" des Sonderforschungsbereiches 313 "Veränderungen der Umwelt : Der nördliche Nordatlantik" in enger Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt "Stoffumsätze im Benthos (A4)".

Im Rahmen dieser Arbeit soll die organische Substanz anhand der für Prymnesiophyceen typischen langkettigen Ketone (Alkenone) C_{37:2} und C_{37:3} von der Bildung in der Wassersäule bis zur Sedimentoberfläche verfolgt werden. Die bestehende Theorie besagt, daß diese Alkenone in Abhängigkeit von der umgebenden Wassertemperatur in einem bestimmten Verhältnis gebildet werden und sich bis zum Abbild im Sediment nicht verändern. Durch die Bestimmung der Alkenone in der Wassersäule, in Sinkstoffallen- und Fecal Pelletmaterial und Sedimenten soll diese Biomarkereigenschaft auf Saisonalität und eine mögliche Abhängigkeit vom Nahrungsnetz hin überprüft werden.

Das Europäische Nordmeer bietet wegen der extremen Gegensätze zwischen dem von warmen atlantischen Wassermassen beeinflussten Norwegenstrom im Osten und dem kalten Ostgrönlandstrom im Westen die Möglichkeit, auf relativ engem Raum völlig unterschiedliche Regionen zu erfassen.

1.2. Grundlagen

In der neueren Literatur werden die wesentlichen Eigenschaften der Alkenonverbindungen in marinen Einzellern wie folgt dargestellt:

Die hier beschriebenen Alkenone sind Methylketone mit Kettenlängen von 37 Kohlenstoffatomen und einer unterschiedlichen Anzahl von Doppelbindungen, d.h. einem unterschiedlichen Grad an Untersättigung (siehe Abb. 2.4.-2).

Physiologisch haben die Alkenone vermutlich die Aufgabe, bei sinkenden Temperaturen der daraus resultierenden zunehmenden Viskosität der Zellmembranen entgegenzuwirken (Prahl & Wakeham 1987). Durch eine erhöhte Untersättigung wird die Membranfluidität (fluid-mosaic-model) auch bei niedrigen Temperaturen erhalten. Vergleichbares ist für Fettsäuren in der Zellmembran beschrieben (Stryer 1990). Auch zeigen Untersuchungen an Phytoplanktonkulturen einen doppelt so hohen Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren bei 10 °C im Vergleich zu 20 °C (Parsons et al. 1984).

Alkenone werden in direkter Abhängigkeit von der umgebenden Wassertemperatur in einem bestimmten Untersättigungsverhältnis von der Zelle gebildet (Brassell et al. 1986a, Marlowe et al. 1984). Anhand von Kulturexperimenten wurde von Prahl & Wakeham (1987) eine Korrelation der anteiligen Gehalte von C_{37:2}, C_{37:3} und C_{37:4} bei verschiedenen Temperaturen bestimmt. Es wurden Hälterungen mit *Emiliana huxleyi* bei Temperaturen von 8 °C, 10 °C, 15 °C, 20 °C und 25 °C durchgeführt und die Alkenonzusammensetzung bestimmt (Prahl et al. 1988). In der vorliegenden Arbeit werden die anteiligen Gehalte von C_{37:2}, C_{37:3} als Verhältnis größer und kleiner 1 ausgedrückt. Auf das Alkenon C_{37:4} wird nicht näher eingegangen (siehe Kap. 4.1).

Diese in der Literatur beschriebenen Eigenschaften der Alkenone, nämlich in einem relativ konstanten Verhältnis von der Bildung bis zu ihrer Abbildung im Sediment erhalten zu bleiben macht es möglich, sie als Werkzeug für paläoozeanographische Rückdatierungen zu nutzen. Alkenone werden als Komponenten vieler mariner Sedimente beschrieben (Brassell et al. 1986b, de Leeuw et al. 1980, Prahl et al. 1989a). Der Vergleich der Alkenonzusammensetzung mit ¹⁸O-Datierungen zeigt gute Korrelationen, und so hat sich diese Methode zur Rekonstruktion von Paläotemperaturen der euphotischen Zone in der Geologie in den letzten Jahren bewährt (Eglington et al. 1992, Lyle et al. 1992, Sikes et al. 1991, ten Haven & Kroon 1991). Als Grundlage dient die Temperaturkalibrierung von Prahl & Wakeham (1987). Der ermittelte Faktor wird als U^k₃₇ bezeichnet und über eine entsprechende Transferformel die direkte Bildungstemperatur berechnet (Marlowe et al. 1990). Die Alkenone eröffnen auch die Möglichkeit für Datierungen unterhalb der Lysocline. Poynter & Eglington (1991) haben für diese Voraussetzungen Modellansätze für das Biomarkerkonzept entwickelt.

Alkenone sind nicht nur in *E.huxleyi*, sondern auch in weiteren Gattungen der Prymnesiophyceae gefunden worden (Marlowe et al. 1984, Marlowe et al. 1990). Die Alkenone sollen 8% der Biomasse von Prymnesiophyceae Kulturen ausmachen (Prahl et al. 1988). Auch zeigen weder der U^{K37} -Faktor von Sinkstofffallenmaterial in verschiedenen Meeresgebieten noch die Werte der suspendierten Partikel in der Wassersäule Veränderungen der Verhältnisse der Alkenone (Prahl & Wakeham 1987). Alkenon-Gehalte können in Sedimenten bis zurück ins Eozän (45 MA) über die phylogenetischen Vorstufen der heutigen Prymnesiophyceae-Populationen bestimmt werden (Marlowe et al. 1990).

Von Prahl et al. (1988) und ten Haven et al. (1987) wird die Möglichkeit angesprochen, daß höher ungesättigte Verbindungen sensitiver auf Degradationprozesse reagieren. Diese Aussagen werden nicht weiter vertieft, wären jedoch gerade in höheren Breiten, wo der Anteil der höher ungesättigten Verbindungen in den Zellen steigen müßte, von großer Wichtigkeit.

Es soll hier noch ein kurzer Einblick in die Hauptproduzenten der Alkenonverbindungen der Prymnesiophyceae gegeben werden: Prymnesiophyceae können einen wesentlichen Bestandteil des Phytoplanktons der Ozeane stellen (Reinhardt 1972). Die meisten Arten sind einzellige Flagellaten und leben mit wenigen Ausnahmen autotroph. Die Prymnesiophyceae bilden in ihrem Lebenszyklus Polysaccharid-Schuppen. Sie werden in den Zisternen des Golgi-Apparates gebildet und an der Zelloberfläche abgelagert. Sie unterscheiden sich bei den einzelnen Arten durch ihre Feinstruktur. Bei der wichtigen Klasse der Coccolithophoriden wird am Rand der Schuppen Kalk abgelagert (van den Hoek 1978). Diese einzelnen Coccolithen ergeben das kalkige Außenskelett (Coccosphäre) und bilden einen Hauptbestandteil der kalkigen Feinfraktion mariner Sedimente (Baumann 1990). Das Vorkommen der Coccolithophoridengemeinschaften variiert stark in Artenzahl und Individuendichte in Abhängigkeit von klimatischen Verhältnissen (Braarud et al. 1958, McIntyre & Be´ 1967, Okada & McIntyre 1979, Baumann 1990). In der atlantischen Domäne des Europäischen Nordmeeres kann eine Diversität von bis zu 16 Arten, in der arktischen Domäne von maximal 6 Arten mit *Emiliana huxleyi* als dominatem Vertreter und in der polaren Domäne eine stark eingeschränkte Gemeinschaft von drei Arten mit *Coccolithus pelagicus* als Hauptvertreter beobachtet werden (Samtleben & Schröder 1990).

Auch die schleimbildende Prymnesiophyceae *Phaeocystis pouchetii* ist in großen Zelldichten in der atlantischen und polaren Domäne im Europäischen Nordmeer beobachtet worden (Wassmann et al. 1990, Smith et al. 1991). Sie bildet keine Kalkplättchen und ist von daher schwer über die Wassersäule zu verfolgen.

2. Material und Methoden

2.1. Das Untersuchungsgebiet

Das zwischen Grönland und Skandinavien gelegene Europäische Nordmeer erstreckt sich von ca. 60° bis 80° nördlicher Breite, wird im Südwesten durch den Grönland-Schottland-Rücken vom Nordost-Atlantik getrennt, und im Norden stellt die Framstraße die Grenze zum ganzjährig eisbedeckten Arktischen Ozean mit dem Eurasischen und dem Kanadischen Tiefseebecken dar. Im Nordosten wird das Europäische Nordmeer durch den Spitzbergen-Archipel und die westliche Barents See begrenzt.

Der Barents See-Schelf ist durch eine Reihe NE-SW-verlaufender Schwellen und Depressionen gekennzeichnet. Über den Bäreninsel-Trog können sich Bodenwassermassen vom Schelf mit dem Tiefenwasser der Norwegischen See vermischen (Quadfasel et al. 1988). Die weiteren größeren Tröge, der Storfjord-Trog und der Kveitehola-Trog sind durch flache Siele begrenzt. Am westlichen Barents See Kontinentalhang beträgt die Hangneigung zwischen der Schelfkante in 400 m und 1800 m Tiefe 2,4°, unterhalb von 1800 m flacht der Hang allmählich ab, bis er bei etwa 2200 m zum Tiefseebecken ausläuft (Blaume 1992). Die sedimentechographische Vermessung mit 3,5 kHz-Sedimentecholot und Hydrosweep-Sonarsystem zeigte, daß maximale Mächtigkeiten der obersten, gut geschichteten Ablagerungen in nahezu hangnormal orientierten Sedimentkissen am mittleren Kontinentalhang zwischen 900 m und 2000 m Wassertiefe auftreten (Blaume 1992). Die Mächtigkeit dieser postglazialen Schicht beträgt bis zu 8 m bei etwa 1400 m Wassertiefe, bei einer Ausdehnung von ca. 500 km².

Im Europäischen Nordmeer lassen sich drei ozeanische Domänen durch ihre Hauptwassermassen unterscheiden: Die "atlantische Domäne" wird durch die arktische Front von der "arktischen Domäne" getrennt und diese wiederum durch die polare Front von der "polaren Domäne" (Swift & Aagaard 1981). Durch die wichtigsten Strömungen lassen sich auch ozeanische Regionen festlegen: Norwegische See, Grönländische See, Barents See und Isländische See.

Ein- und Ausfluß des Europäischen Nordmeers sind in ihrer Größenordnung ausgeglichen. Der Einstrom besteht aus Atlantikwasser, das durch den Faeröer-Shetland Kanal und die Dänemarkstraße fließt, der Ausstrom erfolgt durch die Dänemarkstraße und über die Island-Schottland Schwelle (Aagard et al. 1985). Das Strömungsmuster wird im wesentlichen durch die Bodentopographie und durch die Küstenlinien Norwegens und Grönlands bestimmt.

Warme und salzreiche Nordatlantische Oberflächenwassermassen fließen auf der Ostseite als Norwegen Strom nach Norden. Dieser teilt sich an der Nordspitze Norwegens. Der eine Arm fließt in die Barents See, der andere bewegt sich als West-Spitzbergen Strom nordwärts. Durch den ständigen Wärmeverlust und die Vermischung mit dem arktischen Oberflächenwasser wird die Dichte des Atlantikwassers erhöht, sinkt ab und fließt als Atlantisches Zwischenwasser in 150-800 m Tiefe unter dem südlich fließenden, kalten, salzarmen Ostgrönlandstrom zurück (Quadfasel et al. 1987). Bedingt durch die Bodentopographie und das Vermischen der Wassermassen des Norwegenstromes und des Ostgrönlandstromes entstehen nördlich und südlich der Jan Mayen Bruchzone zwei zyklonale Wirbel. In der Grönland See bildet sich der Wirbel des Jan Mayen Polarstromes (Carmack & Aagaard 1973) und im zweiten Wirbelsystem in der Isländischen See der Ost-Islandstrom (Swift & Aagaard 1981). Die Grönland See und Island See werden als Quelle für die Tiefenwasserbildung durch Vertikalkonvektion angenommen. In Form von kleinskaligen Konvektionszellen (Killworth 1979, Swift & Koltermann 1988; Meincke 1990; Schott et al. 1990) sinken Wassermassen ab und fließen sporadisch als Zwischenwasser über den Island-Schottland Rücken und die Dänemarkstraße in den Nordatlantik (Swift et al 1983; Whitehead 1989). Zusammen mit dem Tiefenwasser der Labrador See bilden sie das sauerstoffreiche Tiefenwasser des Nordatlantiks (Abb. 2.1.-1).

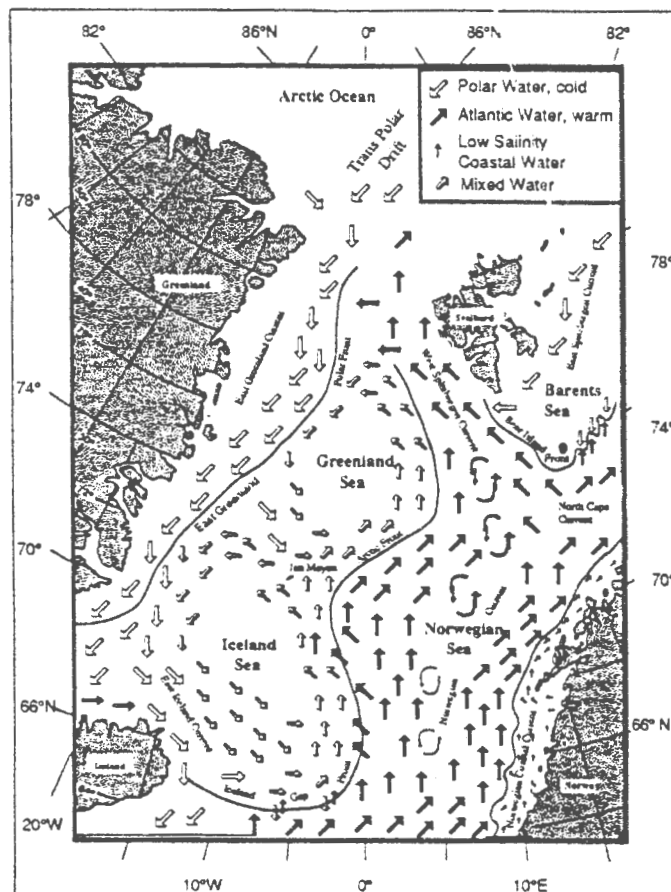


Abbildung 2.1.-1: Oberflächen-Stromsysteme im Europäischen Nordmeer (nach Blaume 1992).

Event

2.2. Hydrographie an den Sinkstoffallen-Positionen

Norwegische See (NB6 - 69°41,2'N/00°27,8'O):

In der Norwegischen See befand sich die Verankerung NB6 (06.08.91-07.07.92) im Lofotenbecken (Abb.2.2.-1). Die Verankerung war bei einer Wassertiefe von 3290 m mit drei Fallen in 500 m, 1000 m und 3000 m bestückt.

Die Wassermassen sind von 0 bis 500 m durch Atlantikwasser, von 500 - 1000 m durch Zwischenwasser und darunter von Norwegischem Tiefenwasser geprägt. Der Salzgehalt liegt an der Oberfläche bei >35,0 ‰ und die Temperatur im Bereich von 8-10 °C (Blaume 1992). Das Tiefenwasser zeigt Salzgehalte um 34,8 ‰ und Temperaturen kleiner -0,4 °C.

Grönländische See (OG4 - 72°23,0'N/07°42,7'W):

In der Grönländischen See befand sich die Verankerung OG4 (07.09.90-31.07.91) im Gebiet des Jan Mayen Stroms (Abb. 2.2.-1). Bei einer Wassertiefe von 2630 m war die Einsatztiefe der Fallen 500 m, 1000 m und 2310 m.

Von 0 bis 150 m dominiert polares, dann von 150 bis 400 m arktisches Zwischenwasser und unterhalb davon das Grönländische Tiefenwasser. Der Salzgehalt an der Oberfläche wird durch Schmelzwasser und Vermischung an den Fronten beeinflusst. Dies führt zu beträchtlichen Schwankungen von 30-34,4 ‰. Die Temperatur liegt unter 0 °C, nur im Sommer erreicht sie 3-5 °C. Der Salzgehalt des arktischen Zwischenwassers liegt bei geringen Schwankungen immer unter 34,9 ‰ und die Temperatur bewegt sich im Bereich von 0-3 °C. Das Grönländische Tiefenwasser ist durch einen Salzgehalt von 34,9 ‰ und eine Temperatur unterhalb von 0°C gekennzeichnet. Das Gebiet ist durch saisonale Eisbedeckung, welche auch interannuellen Schwankungen unterliegt, geprägt (Eiskarten DHI).

Zusätzlich wird im folgendem die Kurzzeitverankerung OG3a (23.08.90-01.09.90) in der Grönländischen See berücksichtigt. Diese Verankerung befand sich auf der Position 72°39,18'N/07°35,50'W mit Fallen in Tiefen von 125 m, 550 m, 1050 m und 2000 m. Es wird von den gleichen oben beschriebenen hydrographischen Bedingungen ausgegangen.

Barents See - Hang (BI2-75°11,8'N/12°29,2'O):

Die Verankerung BI2 (16.03.91-23.07.92) an der Bäreninsel (siehe Abb. 2.2.1.) befand sich im Norwegen Strom vor dem Schelf der Barents See am Kontinentalhang. Bei einer Wassertiefe von 2050 m waren die Einsatztiefen der drei Sinkstoffallen 610 m, 1840 m und 1950 m.

Durch das komplexe Frontensystem in diesem Gebiet können die atlantischen Wassermassen bereits von polarem Wasser der Grönland und Barents See, wie auch durch Schmelzwasser aus der Barents See geprägt sein. Der Salzgehalt liegt an der

Oberfläche im Bereich von 35,0-34,9 ‰, bei starkem Schmelzwasser Einfluß bei 33 ‰. Die Temperatur umfaßt eine Spanne von 3-8 °C (Blaume 1992). In der Tiefe liegt der Salzgehalt bei 34,8 ‰ und Temperatur unter 0,4 °C.

2.3. Probenmaterial

2.3.1. In-situ Untersuchungen

Die untersuchten in-situ Proben stammen aus dem nördlichen Atlantik von insgesamt vier Expeditionen (Abb. 2.2.-1).

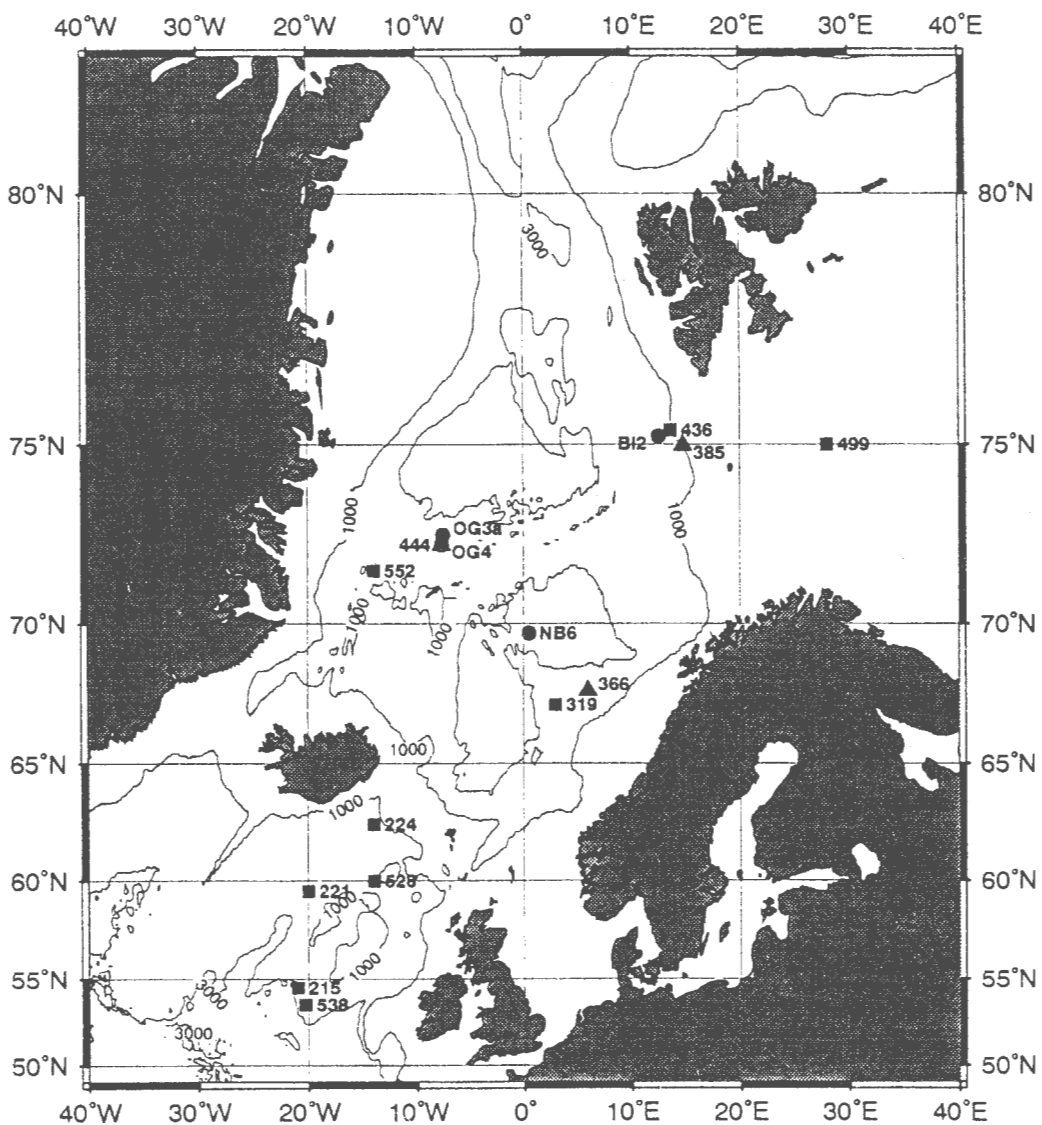


Abbildung 2.2.-1: Karte des Untersuchungsgebietes in Nördlichen Nordatlantik. Die Sinkstoffallen-Positionen sind durch Kreise, die Stationen der Wassersäulenuntersuchungen durch Quadrate und die der Sedimente durch Dreiecke markiert.

1. Meteorreise M7 / 01.06.-28.09.88:	St. 552 (CTD mit Kranzwasserschöpfer)
2. Poseidon 173/2 / 14.08.-10.09.90:	OG3a (Kurzzeitverankerung)
4. Meteorreise M17 / 15.07.-29.08.91:	OG4 (Jahresverankerung)
	BI2 (Halbjahresverankerung)
	St. 436 (CTD mit Kranzwasserschöpfer)
	St. 444 (400 l-Schöpfer)
	St. 499 (CTD mit Kranzwasserschöpfer)
	St. 528 (CTD mit Kranzwasserschöpfer)
	St. 538 (CTD mit Kranzwasserschöpfer)
5. Meteorreise M21/3-5 / 09.05.-23.07.1992:	NB6 (Jahresverankerung)
	St. 211 (in-situ Pumpen)
	St. 215 (CTD mit Kranzwasserschöpfer)
	St. 221 (in-situ Pumpen)
	St. 224 (CTD mit Kranzwasserschöpfer)
	St. 323 (CTD mit Kranzwasserschöpfer)

Auf allen Stationen wurden die Proben aus dem CTD-Kranzwasserschöpfer auf Cellulosenitrat -Filter (Porendurchmesser 0,45 μm , \varnothing 50 mm) filtriert, bei 30 °C getrocknet und bis zur Weiterverarbeitung bei -20 °C gelagert. Die Proben aus den 400 l Edelstahlschöpfern (Hydrobios Kiel) wurden mit Stickstoff (2-4 bar) in einem geschlossenen System auf einen GF/F-Filter (Poren 0,7 μm , \varnothing 140 mm) filtriert und danach bei -20 °C gelagert. Die Proben aus den in-situ Pumpen wurden auch auf GF/F-Filter (Poren 0,7 μm , \varnothing 140 mm) filtriert und bei -20 °C gelagert. Die Multicorerproben wurden sofort in 1 cm dicke Sedimentscheiben zerlegt und ebenfalls bei -20 °C gelagert.

Bei den Kurzzeit- und Jahresverankerungen (Kieler Fallentyp, Zeitzschel et al. 1978) waren die Fallengefäße mit 0,2 μm Tiefenwasser-Filtrat aus 500 m gefüllt, wobei die Ostgrönland Verankerungen OG3a und OG4 (Kurzzeit-1990 und Jahresverankerung 1990-1991) leicht aufgesalzen wurden. Dieses Verfahren der Aufsalzung wurde beim Probenmaterial späterer Verankerungen aufgegeben. Die Proben wurden in-situ mit 1 ml HgCl_2 auf 100 ml filtriertes Tiefenwasser fixiert. Vor dem Aufteilen der Proben für die verschiedenen Analysen mit dem Rotations-Splitter, wurden alle Zooplankton-"Swimmer" ausgelesen (v. Bodungen et al. 1991a). Die gesplitteten Proben wurden nachfixiert und bei 4 °C dunkel gelagert. Für die Partikelparameter Trockengewicht (TG), partikulärer organischer Kohlenstoff (POC), partikulärer organischer Stickstoff, Kalziumkarbonat (CaCO_3) und Silikat (SiO_2) wurden die Proben anschließend auf GF/F-Filter (Poren 0,8 μm , 25 mm) filtriert und wie bei Bodungen et al. (1991a) beschrieben aufgearbeitet. Für die Biomarker Analysen wurden die Splits für 20 Min bei 4000 U/Min zentrifugiert, der

Überstand dekantiert und die partikuläre Phase in verschlossenen Glasampullen bei -20 °C gelagert.

2.3.2. Kulturversuche

Emiliana huxleyi

Es wurden Hälterungen von *E. huxleyi* (Strain B21, Plymouth Marine Laboratory) bei verschiedenen Temperaturen durchgeführt.

Die Kulturen wurden als Batch bei 1 °C, 6 °C und 25 °C in mit f/2 angereichertem in-situ Tiefenwasser (geringe Partikelkonzentration) aus der Grönländischen See gehältert. Die Beleuchtung erfolgte im 12 H/D-Rhythmus. Bis zur Messung wurden die Kulturen auf GF/F-Filtern bei -20 °C gelagert.

Es wurde nur darauf geachtet, eine hohe Zelldichte in den Kulturen zu erreichen, nicht darauf in welchem physiologischen Zustand die Coccolithophoriden waren. Die ersten Ansätze dienten der Methodenentwicklung. In Abständen von zwei Monaten wurden Messungen durchgeführt. Bei einem Teil der Zellen konnten morphologische Veränderungen mit der Rasterelektronenmikroskopie dokumentiert werden.

Prymnesiophyceen

Verschiedene Gattungen der an der Biologischen Anstalt Helgoland auf Sylt (M.Elbrächter) bei 25 °C als Batch-Kultur gehälterten Prymnesiophyceen (siehe Tabelle 3.7.1) wurden auf GF/F-Filter (Poren 0,8 µm, 25 mm) filtriert und bei -20 °C gelagert.

2.3.3. Abbaueversuch

Nach dem Bergen der Kurzzeitverankerung (OG3a) wurde das Probenmaterial wie beschrieben (siehe 2.3.1.) für die Bestimmung der Grundparameter vorbereitet. Der für das Abbaueperiment vorgesehene Split aus jeder Tiefe (100 m, 500 m, 1000 m und 2000 m), wurde nochmals für die einzelnen Parameter (TG, CaCO₃, Silikat, Pigmente und Biomarker) in 5 Aliquots gesplittet. Diese wurden bei 4 °C gelagert und zu Anfang monatlich, dann im Zweimonatsrhythmus aufgearbeitet. Die folgenden Zeiträume wurden gewählt: 6.09., dann 8.10, 9.11, 10.12, 13.02 und 11.04.

2.4. Aufarbeitung der Proben

Für die Lipid-Analysen, insbesondere für die Alkenon-Analysen, wurde auf die Erfahrungen in der analytischen Spuren-Chemie bezüglich der anthropogenen Schadstoffe z.B. den PCB und Pestiziden, zurückgegriffen und folgende Schwerpunkte gelegt:

- Hohe Qualität aller Lösungsmittel und Chemikalien
- Schonende Extraktion der Proben
- Möglichst quantitative Abtrennung der Matrix von der Alkenon-Fraktion
- GC-Analyse speziell für hochsiedende mit Flammenionisationsdetektoren (FID)
- Multidimensionale Gaschromatographie zur Abtrennung störender Substanzen
- Absicherung der qualitativen Daten mit GC-MS

2.4.1. Qualität aller Lösungsmittel und Chemikalien

Der erste Schritt für die weiter unten beschriebene Probenaufbereitung ist die Verwendung von in Detergens-Lösung (Mucasol, Merz + Co, Frankfurt) gereinigten Glasgeräten, die mehrfach in Leitungswasser vor- und mit entionisiertem Wasser nachgespült und über Nacht bei 250 °C im Trockenschrank getrocknet wurden.

Die kommerziellen Lösungsmittel zur Rückstandsanalyse erreichen nicht die gewünschte Qualität und müssen zusätzlich alle im Labor in einer mit N₂ gespülten Füllkörperkolonne von 150 cm Länge destilliert werden. Bei der Blindwertkontrolle darf nach einer Konzentrierung dieser Lösungsmittel um den Faktor 1000 kein Signal im Gaschromatogramm größer als 0,5 ng nachweisbar sein. Alle destillierten Lösungsmittel wurden bei -20 °C gelagert.

Das verwendete Kieselgel bzw. Aluminiumoxid wurde 24 Stunden in speziellen Extraktoren mit einem Hexan/Dichlormethan-Gemisch gereinigt. Nach einer Trocknung am Rotationsverdampfer wurden sie nach stufenweisem Erhitzen auf 120 °C in 2 Stunden unter Vacuum (10 Torr) aktiviert.

Das Natriumsulfat wurde für 12 Stunden bei 350 °C ausgeglüht.

2.4.2. Schonende Extraktion der Proben

Die im folgendem beschriebenen Aufarbeitungs- und Extraktionsschritte sind in der Abbildung 2.4.-1 als Flußdiagramm zusammengefaßt.

1. Schritt:

Nach umfangreichen Vorstudien stellte sich heraus, daß für eine quantitative Extraktion der zum Teil sehr stabilen organischen Materie ein Verreiben mit Natriumsulfat unerläßlich war.

Dies trifft insbesondere für die Aufarbeitung von Wasserproben und Fallenmaterial für die Alkenon-Bestimmung zu. Das Natriumsulfat entzieht der Probe das restliche Wasser und vergrößert die Oberfläche des Probenmaterials um ein Vielfaches. Dadurch gelangt das organische Lösungsmittel in die Poren der Probenmatrix und ermöglicht eine optimale Extraktion.

2. Schritt:

Zur Gewinnung des Urextraktes wurden zwei verschiedene Ansätze getestet. Zum einen die Verwendung eines Ultraschallbades, in dem die Probe unter kinetischer Energie von dem im Rückfluß laufenden Lösungsmittel extrahiert wurde. Zum anderen wurden die Probe und das Lösungsmittel im Rückfluß gekocht, und so unter Siedetemperatur extrahiert. Beide Apparaturen wurden während der Extraktion ständig mit einem leichten Stickstoffstrom gespült, um so ein Eindringen von Sauerstoff und eine mögliche oxidative Veränderung der Substanzen zu verhindern. Mehrere Testaufbereitungen zeigten, daß die Ultraschallbehandlung für die Extraktion der Lipide am besten geeignet war.

3.Schritt:

Es wurden Testreihen für die beste Lösungsmittel-Kombination durchgeführt. Auf die Verwendung von dem in der Literatur öfter beschriebenen Lösungsmittelsystem Methanol/Chloroform oder Toluol/Methanol konnte aufgrund der vorherigen Behandlung mit Natriumsulfat zugunsten der Lösungsmittel Dichlormethan (CH_2Cl_2) und Acetonitril (ACN) verzichtet werden. Es wurden Extraktionsschritte entweder nur mit Dichlormethan oder nur mit Acetonitril durchgeführt. Auch das Ergebnis mit jeweiligen Nachextraktionsschritten mit oder ohne das andere Lösungsmittel, auch in getauschter Reihenfolge, wurde überprüft. Es zeigte sich, daß mit Dichlormethan die besten Ergebnisse erzielt wurden. Bedingt durch den niedrigen Siedepunkt (32 °C) ist eine besonders schonende Extraktion möglich. Durch die Bildung eines Azeotrops des Dichlormethans mit Wasser können außerdem noch diese Rückstände in der Probe entfernt werden. Zusätzlich mußte die Dauer der Ultraschallbehandlung und die Temperatur optimiert werden. Die beste quantitative und qualitative Extraktion ergab eine zweimalige Ultraschallbehandlung von je 15 Minuten unter Verwendung jeweils neuen Dichlormethans.

4.Schritt:

Die organischen Extrakte wurden im Rotationsverdampfer im Vakuum bei 0 ° C auf ca. 1 ml eingengt. Für die weitere Aufarbeitung mußte die Probe nun auf das Lösungsmittel Hexan überführt werden. Dies geschah, in dem ca. 20 ml Hexan zur Probe (1 ml) gegeben und im Rotationsverdampfer auf 200-500 µl eingedampft wurden. Bis zur weiteren Aufarbeitung wurden die Proben in Glasampullen eingeschmolzen und bei 4 °C gelagert.

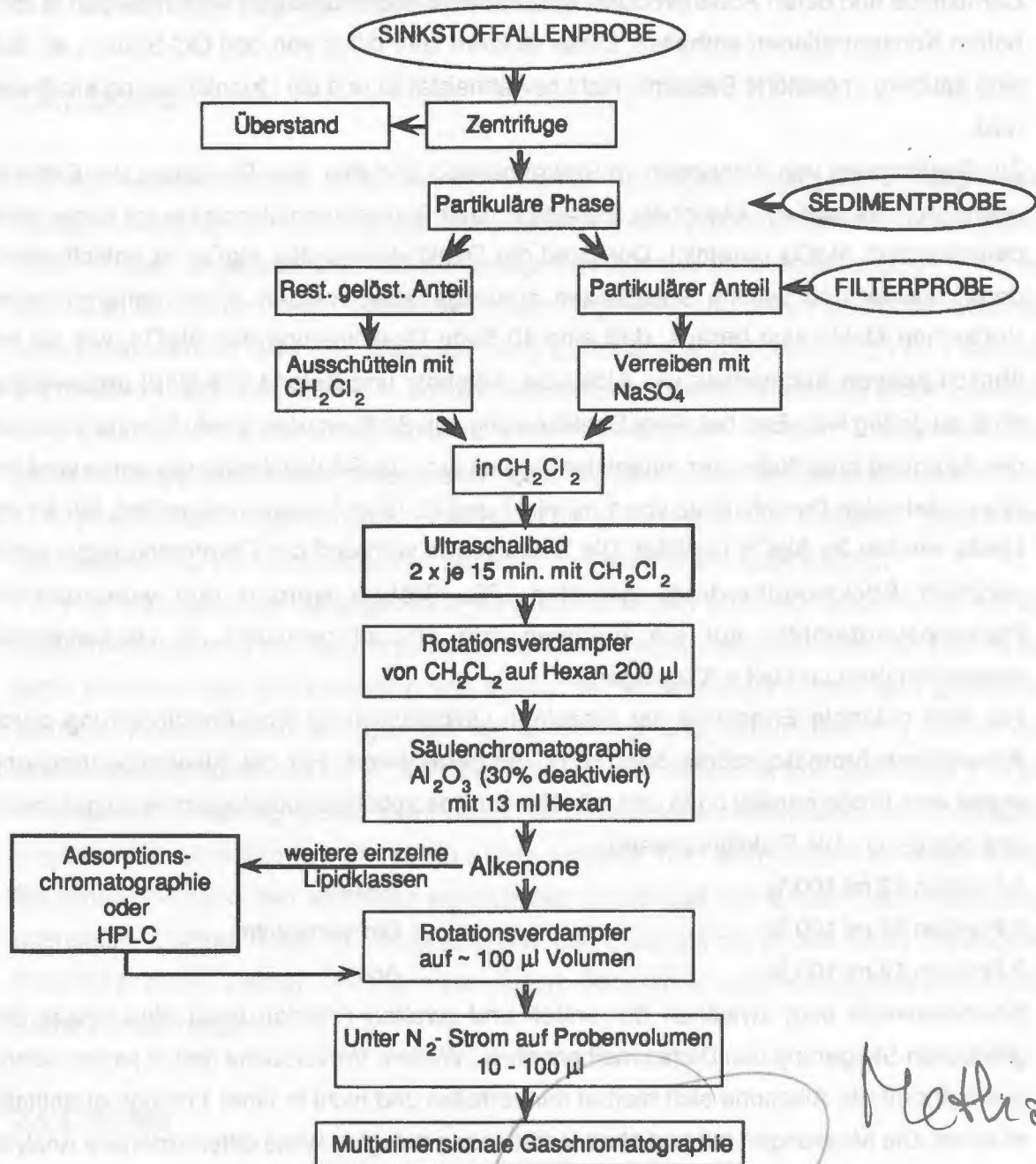


Abbildung 2.4.-1: Flußdiagramm zur Probenaufbereitung

2.4.3. Quantitative Trennung von Matrix und Alkenonen für die gaschromatographische Analyse

Da die Gehalte von Alkenonen besonders in den Wassersäulenproben sehr niedrig sind (im ng Bereich, s.u.), müssen die Extrakte vor der gaschromatographischen Bestimmung sehr stark aufkonzentriert werden. In komplexen Gemischen wie z.B. Partikelextrakten sind völlig unkalkulierbare Substanzklassen wie allgemeine "Lipide" (Phospholipide, Glyceride),

Carotinoide und deren Abbauprodukte sowie andere hochmolekulare Verbindungen in sehr hohen Konzentrationen enthalten. Diese eluieren sehr diffus von den GC-Säulen, so daß eine saubere ungestörte Basislinie nicht gewährleistet ist und die Quantifizierung erschwert wird..

Zur Bestimmung von Alkenonen im Spurenbereich ist daher eine Reinigung der Extrakte unerlässlich. Es wird ein Aliquot der Extrakte in einer Säulenchromatographie mit basischem, deaktiviertem Al_2O_3 gereinigt. Der Grad der Deaktivierung des Al_2O_3 ist entscheidend dafür, wieviel und welche Substanzen zurückgehalten werden. Nach umfangreichen Versuchen stellte sich heraus, daß eine 10 %ige Deaktivierung des Al_2O_3 , wie sie bei ähnlich polaren Substanzen wie Aldehyde, Alkohole und Ketone (C6-C12) angewendet wird, zu gering war. Erst bei einer Deaktivierung von 30 % werden in-situ Konzentrationen der Alkenone quantitativ vom Aluminiumoxid eluiert. Die Säulenchromatographie wird mit einer maximalen Durchflußrate von 1 ml min^{-1} und 12-15 ml Hexan durchgeführt. Für 50 mg Lipide wurden 2g Al_2O_3 benötigt. Die Säule wurde während der Chromatographie unter leichtem Stickstoffüberdruck gehalten. Die Proben wurden nun wiederum im Rotationsverdampfer auf ein Volumen von 100 μl reduziert, in Glasampullen eingeschmolzen und bei 4 °C gelagert.

Für eine optimale Erfassung der einzelnen Lipidklassen ist eine Fraktionierung durch Adsorptionschromatographie oder HPLC erstrebenswert. Für die Alkenonbestimmung wurde eine Probe parallel ohne und mit Hilfe der Adsorptionschromatographie aufgearbeitet und gemessen. Die Fraktionen waren:

1.Fraktion 12 ml 100 %	Hexan
2.Fraktion 12 ml 100 %	Dichlormethan
3.Fraktion 12 ml 100 %	Aceton

Normalerweise liegt zwischen der ersten und zweiten Fraktion noch eine Phase der graduellen Steigerung des Dichlormethananteils. Weitere Vorversuche hatten jedoch schon gezeigt, daß die Alkenone sich hierbei nur verteilen und nicht in einer Fraktion quantitativ eluieren. Die Messungen mit und ohne Vortrennung belegten keine differenziertere Analytik in dem Retentionsbereich der Alkenone auf dem Multidimensionalen Gaschromatographen (siehe unten), und somit wurde dieser Schritt für die reine Alkenonbestimmung weggelassen.

Diese speziell auf Alkenone untersuchten Proben können im nachhinein für weitere Substanzklassen fraktioniert und neu gemessen werden. Ein sehr spezifisches HPLC-Eluentensystem und mögliche Derivatisierungsmethoden, insbesondere für Fettsäuren, sind bei Körtzinger et al. (1993) beschrieben.

Eine Voraussetzung für alle durchgeführten Analytikschritte waren Einzel- und Gesamtprozedurblanks.

2.5. Gaschromatographische Trennung

2.5.1. GC-FID

Für die Analysen wurde eine Dünnschicht-Kapillar-GLC (Gas-Flüssig-Chromatographie) Gaschromatographie mit fused-silica-Kapillarsäulen und unpolaren sowie polaren stationären Phasen eingesetzt. Die Detektion erfolgt mit Flammenionisationsdetektoren (FID), wo das Eluat der Säule in eine Wasserstoff-Flamme geleitet und deren Ionisation zwischen zwei Elektroden mit Hilfe einer Saugspannung gemessen wird (Schomburg 1977; Karasek & Clement 1988). Der FID ist in seinem Anwendungsbereich universal, jedoch werden CH_2 -Gruppen mit guter Empfindlichkeit (untere Grenze $0,1 \text{ ng sec}^{-1}$) angezeigt. Das benutzte Trägergas ist reiner Wasserstoff, dieser hat in höheren Temperaturbereichen bessere physikalische Eigenschaften (Viskosität) als z.B. Helium oder Stickstoff. Dies ist bei der Bestimmung von hochsiedenden Substanzen wie Alkenone sehr wichtig.

Für eine erste gaschromatographische Voruntersuchungen wurde für jeden Probenotyp ein Gaschromatogramm mit "split"-Injektor im "splitless"-Betrieb aufgezeichnet. So konnte der erste Eindruck über Konzentration und Muster der vorhandenen Substanzen gewonnen werden. Anschließend erfolgte die Identifizierung und Quantifizierung auf einem Gaschromatographen mit PTV- "on-column"- Injektor (Sichromat 2-8, Siemens). Für die Alkenon-Identifizierung wurde das Prinzip der multidimensionalen Gaschromatographie angewendet (Duinker et al. 1988). Hier besteht die Möglichkeit in einer Zwei-Säulenkombination den wichtigen Bereich des Eluats aus der ersten Säule herauszuschneiden (Cutting). Über eine Kupplung wird das Eluat auf die zweite Säule mit anderer Polarität in einem zweiten Ofenraum transferiert. Dadurch ist eine weitere Auftrennung der Komponenten möglich.

2.5.2. GC/MS

Als spezieller Detektor in der Gaschromatographie wurde für die zusätzliche Gewinnung von Strukturinformationen und zur Absicherung der qualitativen Daten das Massenspektrometer Finnigan MAT Trap Detector 800 eingesetzt. Hier besteht die Möglichkeit, das Eluat aus dem Gaschromatographen über eine geheizte fused-silica-Transferkapillare in eine Ionenquelle zu leiten. Die Probenmoleküle werden nun durch einen Elektronenpuls (EI) in einem Vakuum ionisiert und es entstehen charakteristische Bruchstücke. Eine zusätzliche Information bietet hierzu die chemische Ionisation (CI), wo ein Reaktionsgas (z.B. Methan) in die Ionenquelle geleitet wird. So entstehen stabile Molekülpeaks mit Gewichtsinformationen (Karasek & Clement 1988).

2.5.3. Geräteparameter

Die Temperatursteuerung spielt bei der Gaschromatographie für eine optimale Trennung der Lipid-Substanzklassen eine wichtige Rolle. Durch die Multidimensionale Gaschromatographie besteht nun die Möglichkeit, zwei verschiedene Temperaturbereiche vorzugeben. Insbesondere für die Alkenon-Bestimmung ist es unbedingt zwingend, die erste Säule bis auf 320°C aufheizen zu können. Nach mehreren Untersuchungen wurde für die Analyse der Alkenone folgende Temperatur- und Säulenkombination gewählt:

1. Säule (RTX 1-30m): Starttemperatur bei 150°C für 1 min; dann mit 20 °C min⁻¹ auf 300 °C heizen; von dort weiter mit 4°C min⁻¹ auf 340°C; für 9 min auf dem Plateau halten.
2. Säule (RTX 23/30, 30m): Starttemperatur bei 150°C für 1 min; dann mit 6°C min⁻¹ auf 270°C heizen; 6 min auf dem Plateau halten.

Die Einstellung der "Cut-Zeit" wurde ständig durch Messungen des Standards überprüft. Es kann hier keine feste Angabe gemacht werden, da sich dieser durch die hohe Belastung der Säule mit organischem Material über die Zeit veränderte.

2.5.4. Standard

Für die Entwicklung der Aufarbeitungsmethode und für die quantitativen und qualitativen Analysen wurde ein Standard von der Arbeitsgruppe Prof. Dr. G.Eglinton (Bristol, England) in einer Konzentration von 1 ng µl⁻¹ benutzt (Abb. 2.4.-2). Die Nachweisgrenze wurde mit 100 pg µl⁻¹ festgestellt. Tendenzen können darunter sicherlich noch erkannt werden, jedoch wurde alles unterhalb dieser Nachweisgrenze in dieser Arbeit nicht als Wert genutzt .

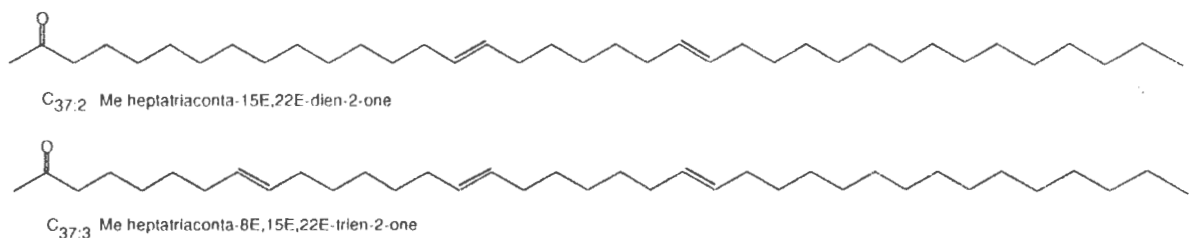


Abb.2.4.-2. Strukturformeln der beschriebenen Alkenone C_{37:2} und C_{37:3}.

3. Ergebnisse

Im folgenden werden die Ergebnisse aus den Untersuchungsgebieten im nördlichen Nordatlantik nacheinander dargelegt. Hydrographie und genaue Beschreibung der Verankerungen finden sich im Kapitel 2.2. Es wird jeweils auf die biologischen Fluß-Parameter der Jahresverankerung eingegangen, in erster Linie Trockengewicht (TG), organischer Kohlenstoff (POC), Kalziumkarbonat (CaCO_3) und Silikat (SiO_2). Kernpunkte der hier vorgestellten Ergebnisse werden zum einen die Darstellung des Gesamtalkenon-Flusses (Summe aus $\text{C}_{37:2}$ und $\text{C}_{37:3}$) und zum anderen die Veränderung des Verhältnisses der Alkenone $\text{C}_{37:2}$ und $\text{C}_{37:3}$ zueinander sein. Diese werden jeweils anhand der Daten aus der Wassersäule, den Sinkstoffallen und des Sedimentes vorgestellt. Die Angaben der Konzentrationen werden für die Wassersäule ng l^{-1} , für die Sinkstoffallen und Fecal Pellets $\text{ng m}^{-2} \text{d}^{-1}$ und für die Sedimente ng g^{-1} Naßgewicht sein. In den Graphiken werden die Angaben "d." (detected) für "Werte kleiner $100 \text{ pg } \mu\text{l}^{-1}$ " (d.h. nicht einwandfrei zu identifizieren); "n.d." (not detected) für "keine Alkenone nachweisbar" und "m" (missing) für "keine gemessene Probe".

3.0. Alkenonbestimmung

Die Nachweisgrenzen der Bestimmung von Spurenstoffen mit Hilfe der gaschromatographischen Analytik sind von drei Faktoren direkt abhängig:

1. der Empfindlichkeit des verwendeten Detektors,
2. dem Endvolumen der Probenaufarbeitung und
3. der Menge des eingesetzten Probenmaterials.

In dieser Arbeit wird zum Nachweis der Alkenone ein FID als Detektor in der MDGC verwendet. Hiermit sind noch $0,1 \text{ ng}$ Alkenon gut identifizierbar (Injektionsvolumen $2 \mu\text{l}$). Die Proben werden bis auf $20\text{-}100 \mu\text{l}$ eingeeengt und somit die Inhaltstoffe stark konzentriert. Indirekt ist hierbei die Qualität der benutzten Lösungsmittel entscheidend (siehe Kap. 2.4.1.). Die Alkenongehalte im unterschiedlichen Probenmaterial und die daraus resultierenden minimal benötigten Probenmengen der Alkenonbestimmung sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 3.0.-1: Darstellung der Nachweisgrenzen für die Alkenonanalysen.

Material	Corg-Gehalt	Konzentrationsbereich	Detektionslimit
Sinkstoffe	>10 %	10-100 ng g ⁻¹	10 mg
Wasserproben	>10 %	10-100 ng g ⁻¹	50 000 Zellen l ⁻¹
Fecal Pellet	1 %	ε-100 ng g ⁻¹	10 mg
Sediment	<1%	1-10 ng g ⁻¹	1g

Im folgenden wird die Trennung im "Cut"-Bereich der Multidimensionalen Gaschromatographie bei unterschiedlichem Probenmaterial dargestellt (Abb. 3.0.-1).

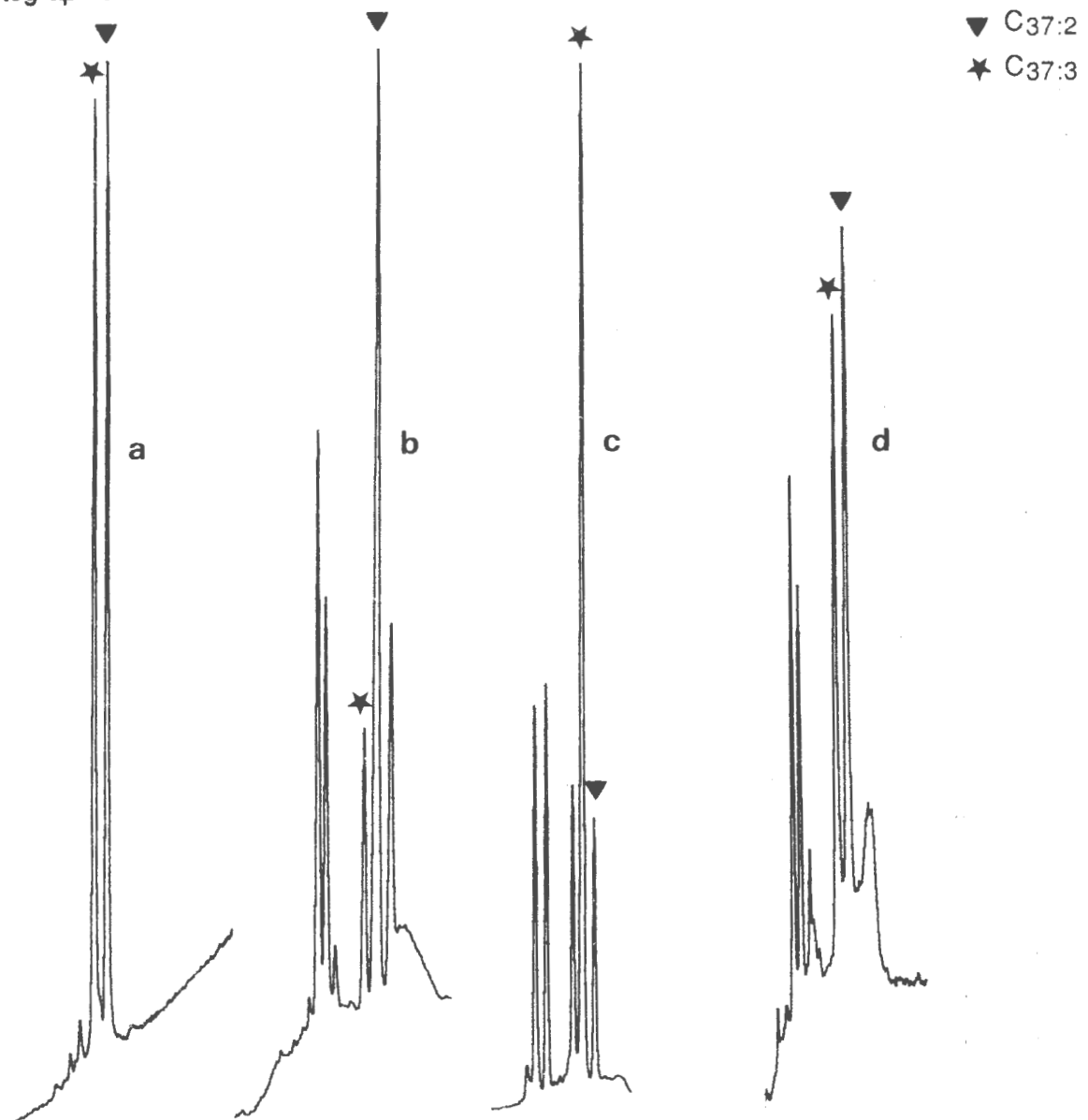


Abbildung 3.0.-1: Darstellung des "Cut"-Bereiche für die Trennung mit der Multidimensionalen Gaschromatographie am Beispiel der Proben: a) Alkenon-Standard, b) Wassersäule, c) Sinkstoffalle und d) Sediment am Barents See-Hang.

3.1. Norwegen Becken (NB6)

3.1.1. Allgemeine Beschreibung der Sedimentation

Von der Verankerung im Lofoten-Becken werden die Daten für den Zeitraum vom 06.08.91 - 07.07.92 vorgestellt. Für dieses Arbeitsgebiet mit dem naheliegendem Vøring-Plateau gibt es seit 1986 Aufzeichnungen über den Partikelfluß aus dem Pelagial.

Der vertikale Partikelfluß in 500 m, 1000 m, und 3000 m wird in den Abb.3.1.-1 & 2 dargestellt. In 500 m Tiefe zeigt sich im Trockengewicht und POC ein Sedimentationsmaximum von Mitte August bis Mitte Dezember, unterbrochen durch eine 14-tägige Phase Anfang September. Die maximalen Flußdaten liegen in diesem Intervall für TG bei $115,6 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ und für POC bei $6,3 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Der Partikelfluß des CaCO_3 ist durch kurze Pulse im August mit $50,6 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ und im September mit $80,4 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ gekennzeichnet. Zusätzlich kommt es bei 500 m Ende Februar - Anfang März zu einem Anstieg der CaCO_3 Sedimentation auf $39,5 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Auch bei den Silikat- Werten ist die beschriebene Saisonalität wiedererkennbar. In den Phasen maximaler Sedimentation liegen die Gehalte in 500 m Tiefe Anfang Oktober bei $13,0 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Die Saisonalität zeichnet sich für TG, POC, CaCO_3 und SiO_2 auch in der Falle in 1000 m ab. Hier läßt sich jedoch für POC, CaCO_3 und SiO_2 eine Zunahme und für das TG eine Abnahme erkennen. Der Anstieg im letzten Fangintervall in 500 m im Juli könnte darauf hinweisen, daß diese erhöhte Sommersedimentation bereits im Juli beginnt und somit möglicherweise die Zunahme in 1000 m auf die Sedimentation partikulärer Substanz im nicht beprobten Monat Juli zurückgeführt werden kann. Unterstützt wird dies noch durch die Jahresgänge der davorliegenden Jahre. Hier zeigen sich Sedimentationsmaxima im Juli/August.

Für alle Parameter ist eine Zunahme des Sinkstoffallenmaterials zwischen 500 m und 3000 m zu verzeichnen. Dies wird auf Lateraltransport und Resuspensionsereignisse zurückgeführt. Die Signale der Saisonalität sind für die Hauptsedimentationsphase noch in 3000 m zu erkennen, wobei der zusätzliche Eintrag gerade im Frühjahr maximale Werte erreicht. Das CaCO_3 verzeichnet eine Zunahme um den Faktor vier und das SiO_2 um den Faktor sieben in der Falle kurz über Grund. Im März gibt es in der 3000 m Falle einen pulsartigen Silikatanstieg auf $77,3 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Die C/N-Verhältnisse liegen für die Falle in 500 m im Frühjahr (März-Mai) bei 18 und zur Hauptsedimentation (August-Dezember) bei 10. Für 1000 m und 3000 m ergibt sich im Frühjahr ein Wert von 8 bzw. 11. Zur Hauptsedimentation betragen die Werte in beiden Fallentiefen 11.

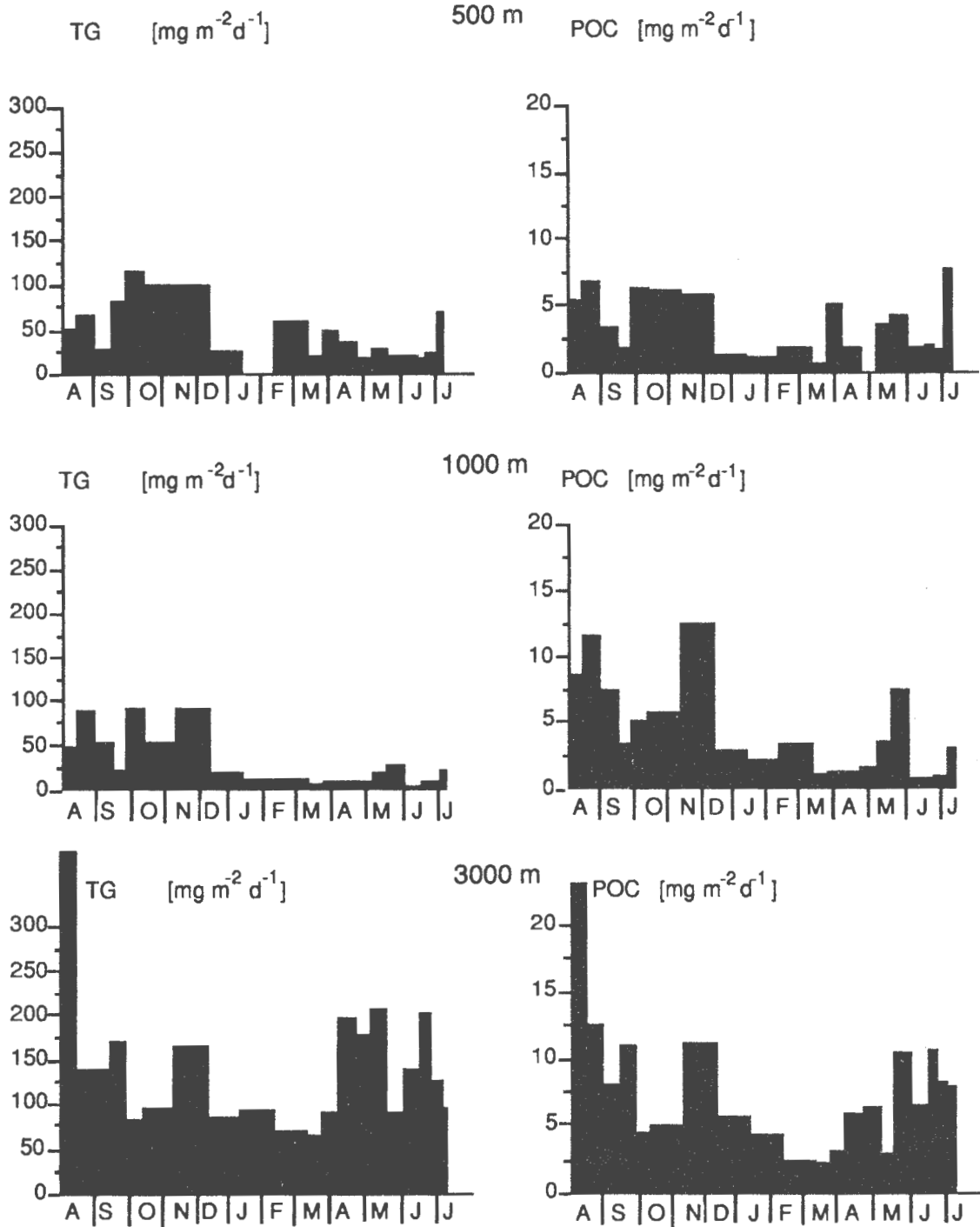


Abbildung 3.1.-1: Der vertikale Partikelfluß [$\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$] für Trockengewicht (TG) und partikulären organischen Kohlenstoff (POC) in der Norwegischen See in 500 m, 1000 m und 3000 m während der Verankerungszeit vom 06.08.91 - 07.07.92 (NB6).

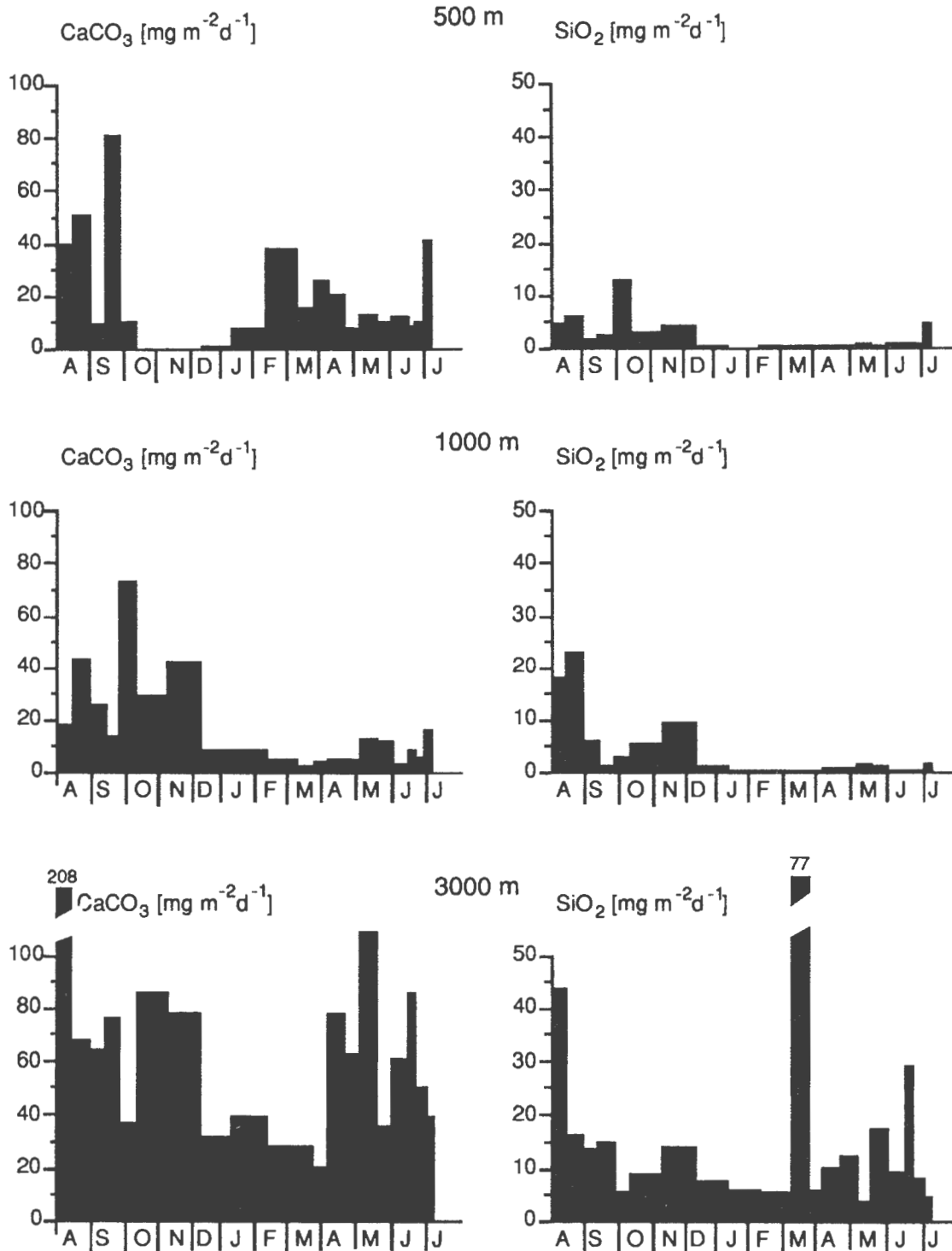


Abbildung. 3.1.-2: Der vertikale Partikelfluß [mg m⁻² d⁻¹] für Kalziumkarbonat (CaCO₃) und biogenes Silikat (SiO₂) in der Norwegischen See in 500 m, 1000 m, und 3000 m während der Verankerungszeit vom 06.08.91 - 07.07.92 (NB6).

Tabelle 3.1.-1: Gesamtsedimentation (g m^{-2}) für die Verankerungsphase 06.08.91-07.07.92 im Norwegen Becken (NB6).

	TG	POC	CaCO ₃	SiO ₂
500 m	16,4	1,1	5,8	0,7
1000 m	11,2	1,6	6,0	1,3
3000 m	44,1	2,4	20,9	4,7

Das Muster der Sedimentation entspricht der gefundenen Saisonalität der Jahre davor. Insbesondere zeichnet sich auch von 1988-1989 eine starke Zunahme der Sedimentation in der bodennahen Falle ab.

Ein direkter Vergleich der Jahressedimentation ist durch die Verankerungslücke von 1989-1991 nicht möglich.

Tabelle 3.1.-2: Jahressedimentation ($\text{g m}^{-2} \text{a}^{-1}$) in den Jahren 1988-1989 im Norwegen Becken (NB4).

	TG	POC	CaCO ₃	SiO ₂
500 m	26,1	3,3	11,3	1,0
1000 m	26,2	3,0	11,2	1,2
3000 m	60,3	3,9	14,5	1,3

3.1.2. Alkenone

3.1.2.1. Wassersäule

An den Stationen 319 ($67^{\circ}13,5'N/02^{\circ}55,5'O$; Datum 05.07.1992) südwestlich von der Verankerungsposition und 323 ($69^{\circ}41,3'N/00^{\circ}27,8'O$; Datum 07.07.92) an der Verankerungsposition im Norwegenbecken wurden Wasserproben für Alkenonanalysen in 0 m und 100 m bzw. 10 m und 50 m gemessen. Die beiden Stationen sind in der Abbildung 3.1.-3 dargestellt. Nur in 10 m Tiefe (Station 319) reichte das Probenvolumen von 2 l für eine Bestimmung der C_{37:2}- und C_{37:3}-Gehalte aus. Die Konzentration der beiden Alkenone liegt in 10 m bei $0,8 \text{ ng l}^{-1}$. Das Verhältnis von C_{37:2} zu C_{37:3} beträgt 1,3.

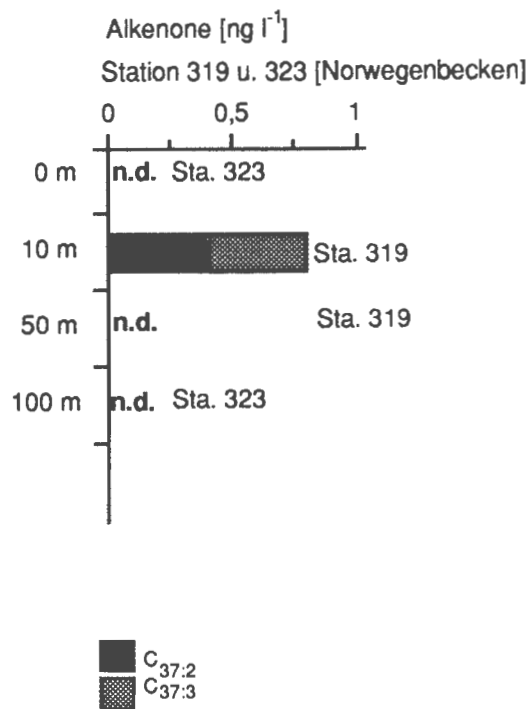


Abbildung 3.1.-3: Gesamtalkenon-Gehalt [ng l⁻¹] der Verbindungen C_{37:2} und C_{37:3} der filtrierten Wasserproben aus verschiedenen Tiefen auf der Station 319 und 323 vom 05.07 und 07.07.1992.

3.1.2.2. Sinkstoffalle (NB6)

A. Gesamtkonzentrationen

Aus der Verankerung im Norwegen Becken wurde nicht der gesamte Jahresgang des Gesamtalkenon-Flusses aufgearbeitet, sondern nur ausgewählte Zeiträume in allen drei Verankerungstiefen. Zum Zeitpunkt der Alkenon-Analysen standen nur erste Ergebnisse der Übersichtsmikroskopie des Verankerungsmaterialies zur Verfügung. Diese Beobachtungen wurden als Grundlage für die Probenauswahl genutzt. Es zeigte sich, daß auf diesem Wege Proben aus den beschriebenen Hauptsedimentationsphasen ausgewählt werden konnten (Abb. 3.1.-4).

Die Sedimentation der Gesamtalkenone im August liegt in 500 m bei 11,8 ng m⁻² d⁻¹. In 1000 m ist ein Anstieg auf 42,6 ng m⁻² d⁻¹ und in 3000 m auf 88,2 ng m⁻² d⁻¹ zu verzeichnen.

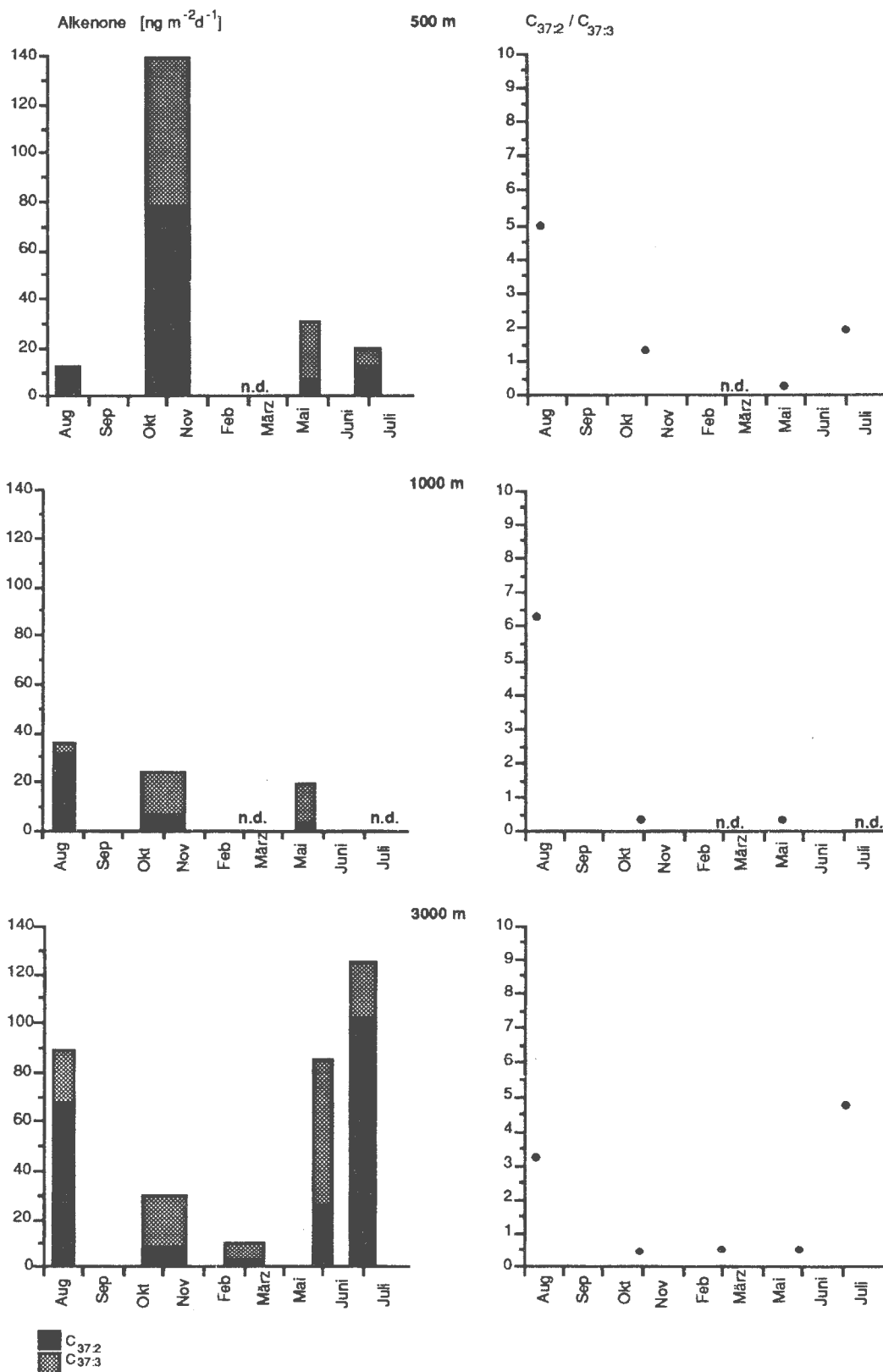


Abbildung 3.1.-4: Gesamtalkenon-Fluß [ng m⁻² d⁻¹ C_{37:2} und C_{37:3}] und Darstellung der Verhältnisse von C_{37:2} zu C_{37:3} an ausgewählten Fangintervallen der Verankerung in der Norwegischen See in 500 m, 1000 m, und 3000 m im Zeitraum vom 06.08.91 - 07.07.92 (NB6).

Für den Partikelfluß im Zeitraum von Oktober bis Dezember wurde die Probe von Mitte Oktober - Mitte November auf Alkenone analysiert. Der Fluß beträgt in 500 m $139,5 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, in 1000 m $27,6 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ und in 3000 m $29,1 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Dies ist der einzige Zeitraum, in dem ein Abnahme über die Wassersäule bis in die tiefste Falle verzeichnet wurde. In 3000 m beträgt der Fluß noch 21 % der Sedimentation in 500 m.

Die Gesamtalkenon-Gehalte ebenso wie die Grundparameter, sind vor allem in der Phase von Mai-Juli, sehr stark von einem zusätzlichen Eintrag in die Fallen in 3000 m geprägt. Der Gesamtalkenon-Fluß Mitte Mai zeigt eine Abnahme von $31 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ in 500 m auf $21,5 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ in 1000 m. Ende Mai ist der Fluß wiederum auf $85,2 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ in 3000 m gestiegen.

Die Sedimentation der Gesamtalkenone Ende Juni - Anfang Juli zeigt eine starke Zunahme um den Faktor 7 in der Falle 290 m über Grund. Das Signal aus 500 m in dieser Zeit von $18,7 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ läßt sich in 1000 m nicht mehr nachweisen. Ein Fluß in den Wintermonaten Februar-März kann nur in 3000 m mit $9,7 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ bestimmt werden.

B. Verhältnisse von C_{37:2} zu C_{37:3}

Die Zusammensetzung der Alkenone schwankt in der Verankerungszeit sowohl saisonal als auch über die Tiefe.

In der Hauptsedimentationsphase Mitte Oktober-Mitte November liegt das Verhältnis in 500 m von C_{37:2} zu C_{37:3} nahe bei 1. Mit der Tiefe bis 1000 m sinkt es auf Verhältnisse < 1 , um dann bis in 3000 m Tiefe relativ konstant zu bleiben.

In den Sommermonaten liegt das Verhältnis von C_{37:2} zu C_{37:3} weit über 1. Insbesondere in der tiefen Falle steigt das Verhältnis bei hoher Resuspension und Lateraltransport.

Insgesamt gesehen zeigen die Verhältnisse von C_{37:2} zu C_{37:3} mit Ausnahme des Monats Juli einen ähnlichen Kurvenverlauf in allen drei Verankerungstiefen.

3.1.2.3. Sediment

An Station 366 (67°44,2'N/05°55,3'O; Datum 20.07.1991) südöstlich der Verankerungsposition wurde eine Multicorer-Probe aus 0-1 cm Sedimenttiefe analysiert.

Es ergibt sich eine Gesamtalkenonkonzentration von $3,2 \text{ ng g}^{-1}$ Naßgewicht. Das Verhältnis lag bei 1,1 mit einem $C_{37:2}$ -Gehalt von $1,7 \text{ ng g}^{-1}$ und $C_{37:3}$ von $1,5 \text{ ng g}^{-1}$ (Abb. 3.1.-5).

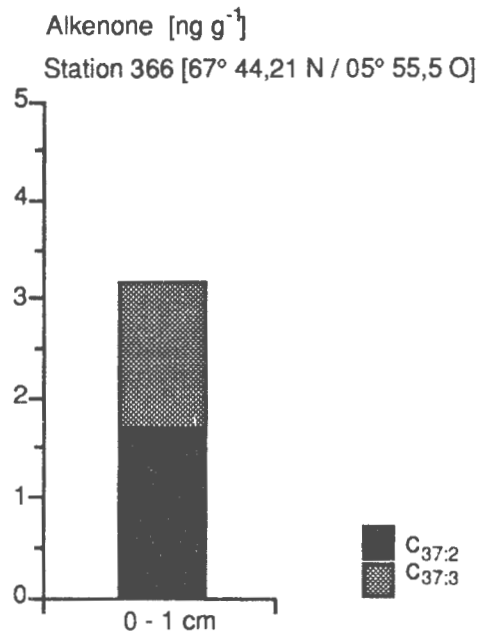


Abbildung 3.1.-5: Gesamtalkenon-Gehalt [ng g^{-1} Naßgewicht] im Oberflächensediment [0-1 cm] der Station 366 südöstlich der Verankerungsposition NB6 vom 20.07.1991.

3.2. Ostgrönländische See (OG4)

3.2.1. Allgemeine Beschreibung der Sedimentation

Die Serie der Jahresverankerungen im Jan Mayen Strom wurde vom 07.09.90-31.07.91 an einer etwas nordöstlicheren Position als in den Jahren davor weitergeführt.

Die Partikelsedimentation wird für die Verankerungsperiode(OG4) in Abb.3.2.-1 & 2 dargestellt.

Alle Grundparameter zeigen in 500 m im September, April-Mai und im Juni-Juli Phasen erhöhter Sedimentation. Zusätzlich zeigt sich für das POC und tendenziell für das CaCO_3 im Spätwinter noch ein Anstieg im Fluß in allen Fallentiefen.

Für das Trockengewicht liegen die maximalen Werte in 500 m bei $76,7 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ und für POC bei $10,5 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

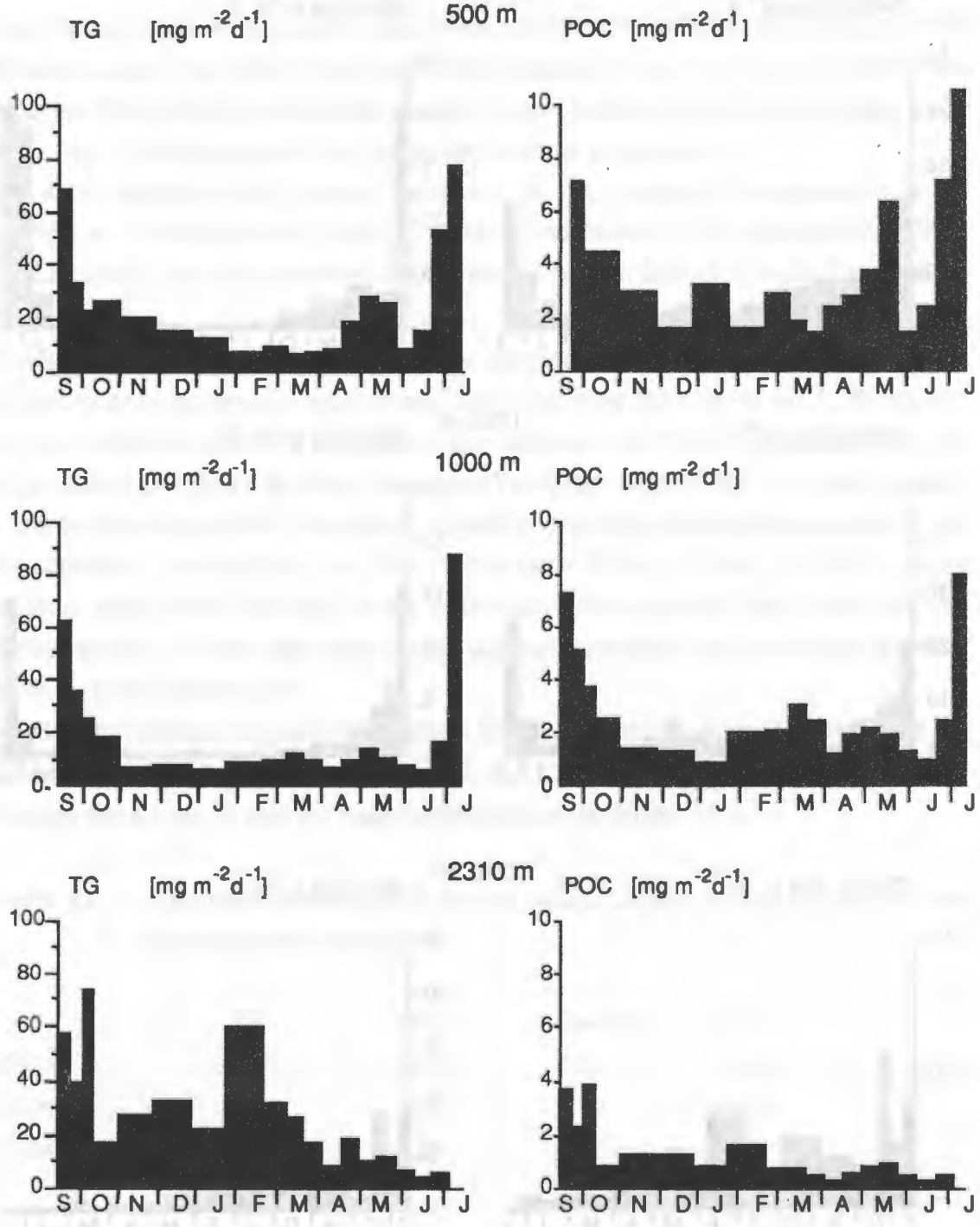


Abbildung 3.2.-1: Der vertikale Partikelfluß [$\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$] für Trockengewicht (TG) und partikulären organischen Kohlenstoff (POC) in der Ostgrönländischen See in 500 m, 1000 m und 2310 m in der Verankerungszeit vom 07.09.90 - 31.07.91 (OG4).

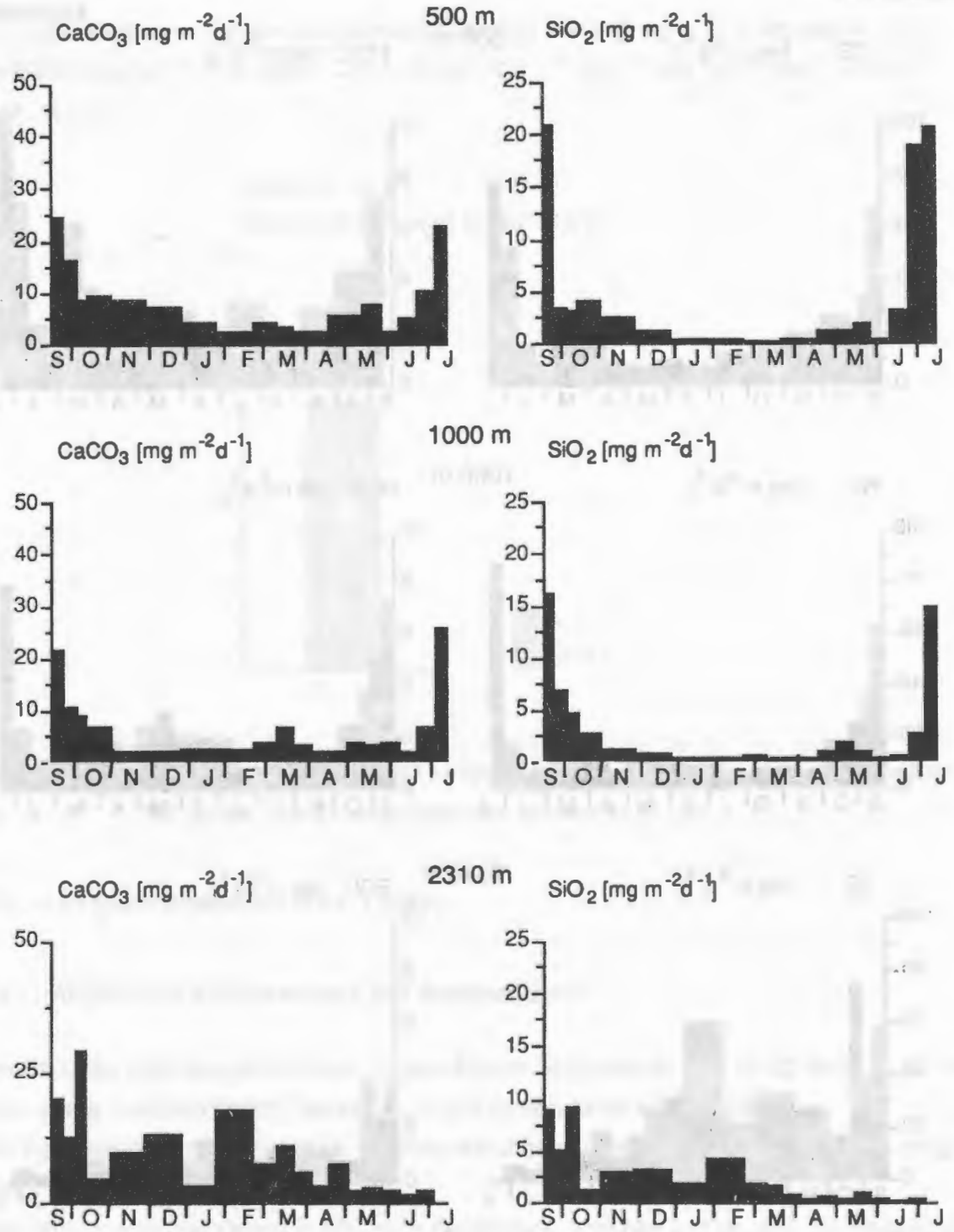


Abbildung 3.2.-2: Der vertikale Partikelfluß [$\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$] für Kalziumkarbonat (CaCO_3) und biogenes Silikat (SiO_2) in der Ostgrönländischen See in 500 m, 1000 m und 2310 m in der Verankerungszeit vom 07.09.90 - 31.07.91 (OG4).

Das TG und das POC zeigen über den gesamten Verankerungszeitraum eine Abnahme um 26 % bzw. 29 % in der Sedimentation bis in 1000 m. Der Gehalt des POC am TG beträgt in den beiden oberen Fallen jeweils 15 %. In der tiefsten Falle steigt das TG wieder an, der POC Anteil liegt dort nur noch bei 5 %.

Der Kalziumkarbonatfluß verläuft parallel zum TG. Insgesamt bedeutete dies für CaCO₃ eine Abnahme um 26 % bis 1000 m und nach 2310 m eine Zunahme des Flusses um 20 %. Der Anteil vom CaCO₃ am TG beträgt über die ganze Wassersäule 33%.

Silikat zeigt von allen Parametern die ausgeprägteste Saisonalität. Maximalkonzentrationen finden sich in der Phase Juni-September (20,8 mg m⁻² d⁻¹). Diese sind um ein fünffaches höher als in den restlichen Monaten. Der Verlust von Silikat über die Wassersäule beträgt 47 %, wobei der größte Teil in den ersten 1000 m verloren geht. In der tiefsten Falle in 2310 m wird ein zusätzlicher Eintrag durch Lateraltransport und Resuspension beobachtet. Dies trifft insbesondere für das TG und CaCO₃ zu. Stark erhöhte zusätzliche Einträge in die bodennahe Falle werden besonders in den Wintermonaten Februar-März verzeichnet, was auf maximale Resuspensionsereignisse in dieser Zeit schließen läßt.

Die C/N-Verhältnisse liegen für die Falle in 500 m im Frühjahr (April-Mai) bei 9 und zur Hauptsedimentation (Juni-Oktober) bei 10. Der C/N-Wert für 1000 m und 2310 m im Frühjahr bei 8 bzw. 10 und zur Hauptsedimentation bei 9 bzw. 11.

Tabelle 3.2.-1: Gesamtsedimentation (g m⁻²) für die Verankerungsphase 07.09.90-31.07.91 in der Ostgrönländischen See (OG4):

	TG	POC	CaCO ₃	SiO ₂
500m	6,81	1,07	2,30	1,10
1000m	5,04	0,76	1,70	0,74
2310m	8,53	0,36	2,77	0,76

Ein Vergleich der interpolierten Flußdaten für alle Sinkstoffallen-Proben in 500 m Tiefe in drei aufeinander folgenden Jahren zeigt, daß für das hier beschriebene Verankerungsjahr 1990-1991 eine wesentlich geringere Gesamtsedimentation für alle Parameter zu verzeichnen ist (Tab. 3.2.-2).

Tabelle 3.2.-2: Jahressedimentationen ($\text{g m}^{-2} \text{y}^{-1}$) für drei Jahre in der Grönländischen See in 500 m:

	TG	POC	CaCO ₃	SiO ₂
1988-1989	22,79	3,81	8,56	5,12
1989-1990	21,26	3,69	8,67	3,88
1990-1991	12,30	1,45	3,20	2,19

3.2.2. Alkenone

3.2.2.1. Wassersäule

Auf der Station 552 (71°38,2'N/14°00,1'W; Datum 11.08.88) südöstlich von der Fallenposition, wurden die Gesamtgehalte der Alkenone (Abb. 3.2.-3) in der Wassersäule in 0 m, 20 m und 200 m bestimmt.

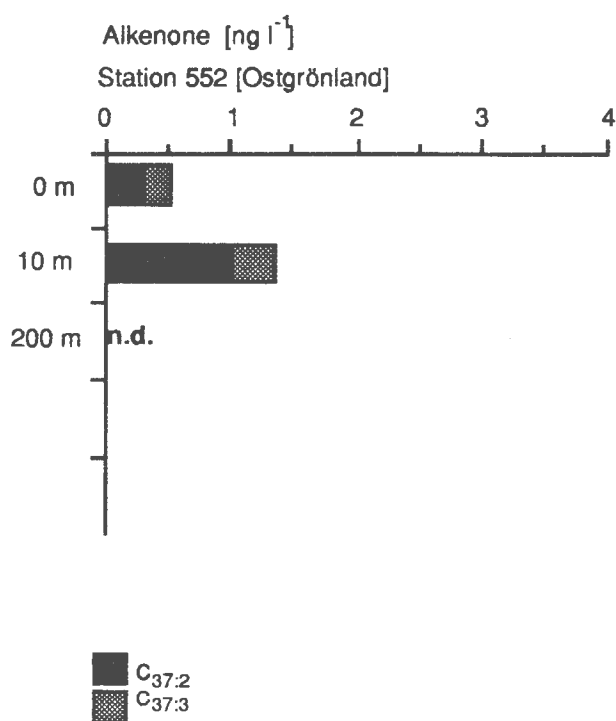


Abbildung 3.2.-3: Gesamtalkenon-Gehalt [ng l^{-1}] der Verbindungen C_{37:2} und C_{37:3} der filtrierten Wasserproben aus verschiedenen Tiefen auf der Station 552 vom 11.08.1988.

In der Oberflächenprobe ergibt sich eine Konzentration von $0,5 \text{ ng l}^{-1}$ und in 20 m von $1,4 \text{ ng l}^{-1}$. In der Tiefe 200 m reichte die Probenmenge nicht für eine Analyse aus. Die Verhältnisse von C_{37:2} zu C_{37:3} betragen in 0 m 1,3 und in 20 m Tiefe 3,2.

3.2.2.2. Sinkstoffalle (OG4)

A. Gesamtkonzentrationen

Für die Verankerung in der Grönländischen See wurde nicht der gesamte Jahresgang des Gesamtalkenon-Flusses gemessen, sondern nur ausgewählte Proben aus allen drei Verankerungstiefen. Hierfür wurde der saisonale Verlauf der Parameter TG, POC und CaCO₃ als Grundlage genutzt. Es wurden jeweils Proben aus der Hauptsedimentationsphase Juli und September, aus den Phasen geringer Sedimentation im März und Mai-Juni sowie aus den Wintermonaten Januar-Februar gewählt. Durch die Beprobung der Sedimentationsphasen in ihrem Maximum und an den Flanken, ergeben sich unterschiedliche Probenintervalle für die tiefste Falle.

Im September liegt die Sedimentation der Gesamtalkenone in 500 m bei $5,9 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Im Oktober konnte kein Fluß nachgewiesen werden. In dieser Phase erreicht die Sedimentation in 1000 m und 2310 m die höchsten Werte. Unter Berücksichtigung des Gesamtalkenon-Flusses von $250 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ der Kurzeitverankerung OG3a, an die sich die Jahresverankerung OG4 zeitlich anschließt, könnte das Signal in 100 m und 2310 m aus dem Monat August stammen.

Die Winterproben in der 2310 m Falle im Dezember und Februar bestätigen, wie bereits durch das TG und CaCO₃ angedeutet, daß in dieser Phase mit erhöhter Resuspension gerechnet werden muß. Der Gesamtalkenon-Fluß liegt bei $9,1 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ bzw. $3,6 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Die Sedimentation im März ($18,4 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) in 500 m konnte nicht bis in 1000 m verfolgt werden.

Im Mai ist in 500 m kein Alkenonfluß zu verzeichnen. Ein Signal konnte jedoch Ende Mai von $11,0 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ in 1000 m und von $16,5 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ in 2310 m nachgewiesen werden.

In der Phase Juli sedimentiert die größte Menge der Gesamtalkenone. In 500 m steigt der Fluß Anfang Juli von $9,3 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ auf den maximalen Wert von $102,9 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Auch in diesem Fangintervall kann der Fluß nicht unterhalb von 500 m bis in tiefere Wasserschichten verfolgt werden. Die Frage muß offen bleiben, ob die Phase Ende Juli der Anfang erhöhter Sedimentation über die Sommermonate darstellt.

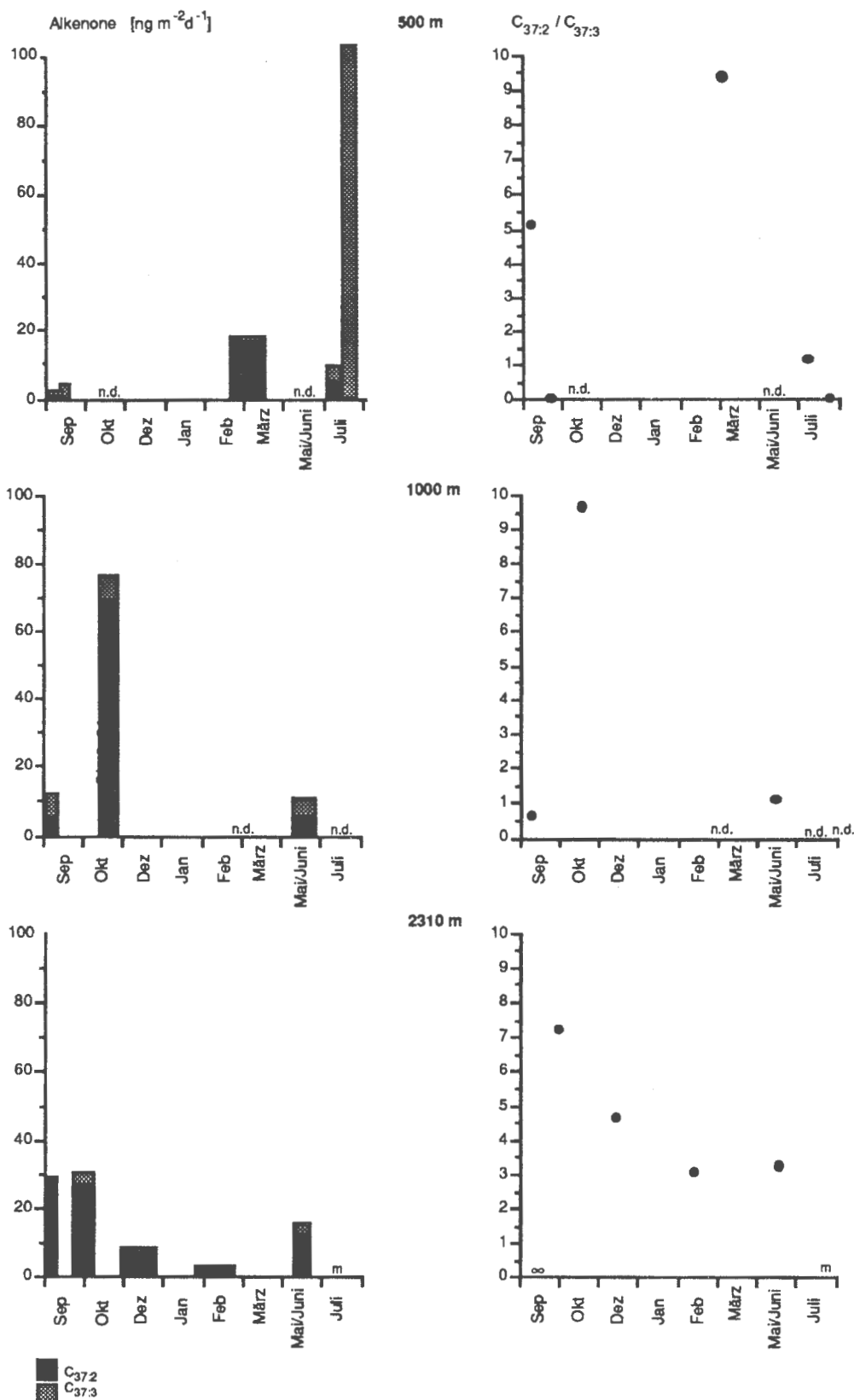


Abbildung 3.2.-4: Gesamtalkenon-Fluß [ng m⁻² d⁻¹ C_{37:2} und C_{37:3}] und Darstellung der Verhältnisse von C_{37:2} zu C_{37:3} an ausgewählten Fangintervallen der Verankerung in der Ostgrönländischen See in 500 m, 1000 m, und 2310 m im Zeitraum vom 07.09.90 - 31.07.91 (OG4).

B. Verhältnis von C37:2 zu C37:3

Die Zusammensetzung der Alkenone variierte während des Untersuchungszeitraumes sowohl innerhalb einer Tiefe als auch über die Wassersäule.

In der Hauptsedimentationsphase im Juli besteht der Gesamtalkenon-Fluß in 500 m zu 100% aus C37:3. Im März liegt wiederum C37:2 in der höheren Konzentration vor.

In den unteren Fallen ändert sich das Bild völlig. In 1000 m Tiefe bleibt zu allen Jahreszeiten C37:3 relativ konstant ($6,4 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Lediglich die Konzentration von C37:2 veränderte sich in Phasen höchster Sedimentation von $5,4$ auf $69,0 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ bis zu einem C37:2/C37:3 -Verhältnis von 10. Der Wert für das Verhältnis von C37:2 zu C37:3 liegt im September in 1000 m bei 0,8 und im Vergleich hierzu in der OG3a in 500 m im August bei 0,5.

In 2310 m macht C37:2 den Hauptbestandteil des Gesamtalkenon-Flusses im Jahre 1990 in der Norwegen-Becken Falle aus. Die Verhältnisse von C37:2 zu C37:3 bleiben weit über 1. Im September ist kein Signal von C37:3 in der bodennahen Falle zu verzeichnen.

3.2.2.3. Sediment

Eine Bestimmung der Gesamtalkenon-Gehalte im Sediment wurde an der Station 444 ($72^{\circ} 23,0' \text{ N} / 07^{\circ} 42,7' \text{ W}$, Datum 31.07.91) an der Fallenposition durchgeführt. In dem Bereich 0-1 cm konnte kein Alkenone-Signal festgestellt werden.

3.3. Barents See - Hang (B12)

3.3.1. Allgemeine Beschreibung der Sedimentation

Die Sedimentationsvorgänge am Barents See-Kontinentalhang wurden durch die zeitlich hoch aufgelöste wöchentliche Aufnahme des Partikelflusses vom 16.03.91 - 23.07.91 untersucht.

Der Partikelfluß in den wöchentlichen Fangintervallen ist in Abb. 3.3.-1 & 2 dargestellt. Die TG- und POC-Gehalte zeigen in der 610 m Falle von März bis Mitte Mai einen geringen Fluß von durchschnittlich $30,5 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ für TG und $4,1 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ für POC. Ab Anfang Mai erfolgt in allen drei Fallentiefen ein Einsetzen erhöhter Sedimentation. Für POC tritt ein deutliches Sedimentationsmaximum Mitte Juni mit einem Wert von $91,8 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ auf. Im Juli klingt diese Phase maximaler Sedimentation wieder ab. Diese

Saisonalität bildet sich in allen drei Fallentiefen ab, wobei in 1950 m noch zusätzliche Schwankungen zu verzeichnen sind.

Es zeigt sich eine deutliche Zunahme des TG in den beiden unteren Fallen. Der Anteil des POC am TG liegt in 610 m im Durchschnitt bei 13%, in 1840 m bei 6% und in 1950 m nur noch bei 4%.

Die SiO₂-Gehalte zeigen eine starke Saisonalität. Eine erhöhte SiO₂ Sedimentation setzt Anfang Juni ein. Die Maxima stimmen mit dem Zeitraum höchsten POC-Flusses überein. Eine Zunahme mit der Tiefe findet ebenfalls für das Silikat statt, wobei eine deutliche Saisonalität noch bis in die Tiefe zu erkennen ist.

Mitte Mai setzt in den oberen Fallen eine Phase erhöhter CaCO₃ Sedimentation ein. Die Hauptsedimentation für CaCO₃ findet erst Ende Juni statt. In der tiefsten Falle in 1950 m gibt es Anfang Mai und Ende Juni zwei Sedimentationsmaxima. In der oberen Falle beträgt der Anteil des CaCO₃ am TG 66 % und in den beiden bodennahen Fallen lediglich 22 %. Die C/N-Verhältnisse liegen für die Falle in 610 m in den drei beschriebenen Sedimentationsphasen im Frühjahr (März-Anfang Mai) bei 9 und zur Hauptsedimentation (Anfang Mai-Anfang Juli) und in der letzten Phase (Juli) bei 8. Für 1840 m und 1950 m ergeben sich im Frühjahr C/N-Werte von 9 bzw. 11, zur Hauptsedimentation von 10 bzw. 8 und in der letzten Phase von 8 bzw. 9.

Tabelle 3.3.-1: Gesamtsedimentation (g m⁻²) für die Verankerungsphase 16.03.91-23.07.91 am Barents-See - Hang (BI2):

	TG	POC	CaCO ₃	SiO ₂
610m	12,04	1,68	7,79	0,68
1840m	22,77	1,43	5,77	1,56
1950m	42,96	1,76	8,96	2,24

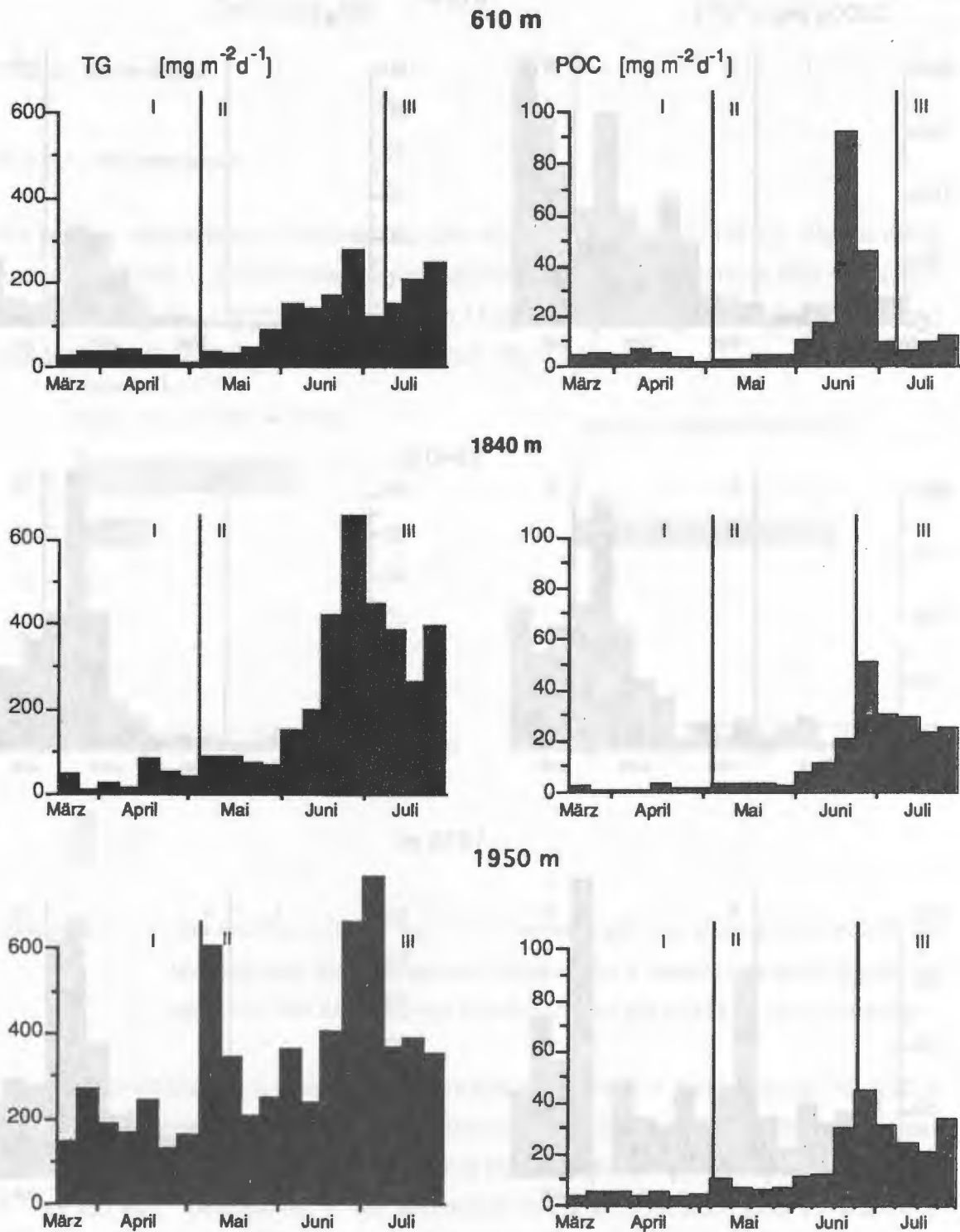


Abbildung 3.3.-1: Der vertikale Partikelfluß [$\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$] für Trockengewicht (TG) und partikulären organischen Kohlenstoff (POC) am Barents See-Hang in 610 m, 1840 m und 1950 m in der Verankerungszeit vom 16.03.91-23.07.91 (B12).

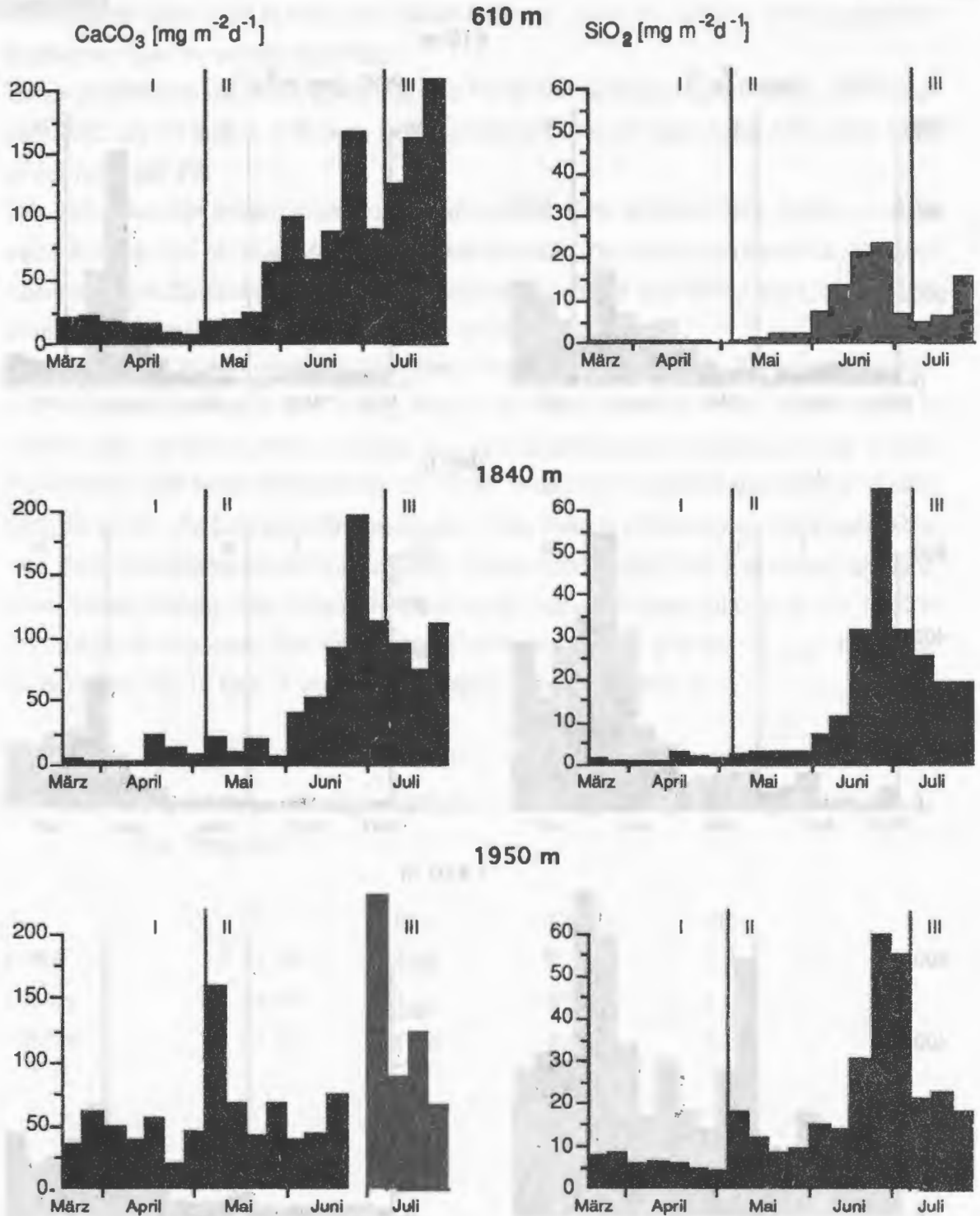


Abbildung 3.3.-2: Der vertikale Partikelfluß [mg m⁻² d⁻¹] für Kalziumkarbonat (CaCO₃) und biogenes Silikat (SiO₂) am Barents See-Hang in 610 m, 1840 m und 1950 m in der Verankerungszeit vom 16.03.91-23.07.91 (B12).

3.3.2. Alkane

3.3.2.1. Wassersäule

Es wurden verschiedene Stationen auf die Alkenon-Konzentration in der Wassersäule untersucht (Abb. 3.3.-3): südöstlich der Fallenposition auf dem Barents See-Schelf auf Station 499 (75°00,1'N/08°26,7'W; Datum 11.08.91) und etwas nordöstlicher am Hang auf Station 436 (75°20,8'N/13°37,5'O; Datum 28.07.91).

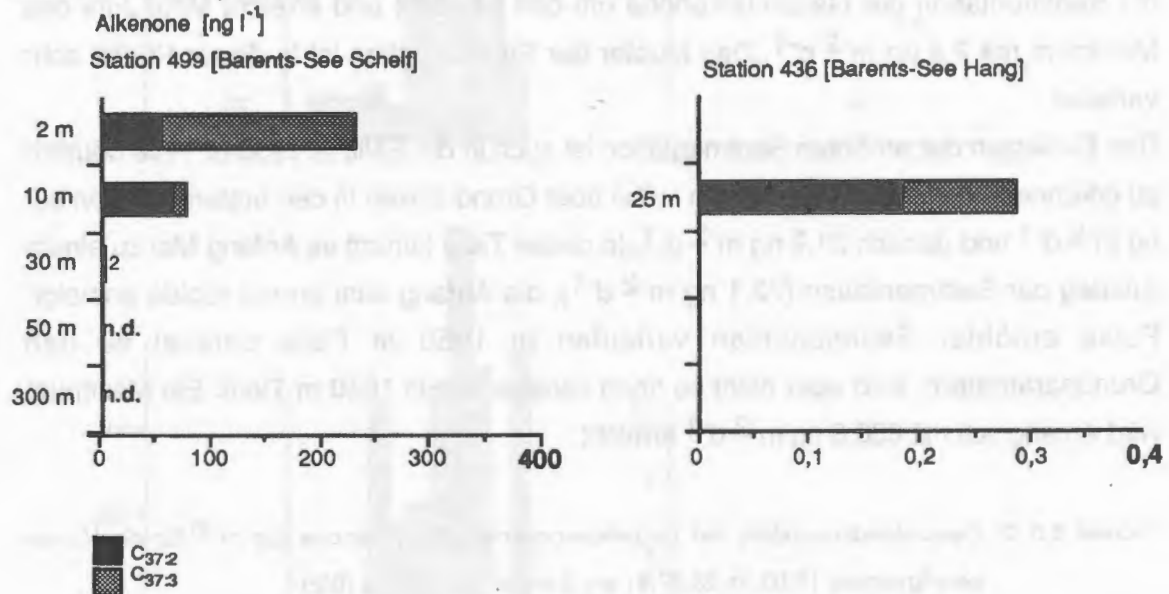


Abbildung 3.3.-3: Gesamtalkenon-Gehalt [ng l⁻¹] der Verbindungen C_{37:2} und C_{37:3} der filtrierten Wasserproben aus verschiedenen Tiefen an der A. Barents-See-Schelf Station 499 vom 11.08.1991 und B. Barents-See-Hang Station 436 vom 28.07.1991 (Skalierung I).

Für die Schelf-Station wurde die Wassersäule bis in 300 m Tiefe untersucht, jedoch reichte das Probenmaterial nur für eine Gesamtalkenon-Bestimmung bis 30 m Tiefe aus. Über die Wassersäule wurde eine Abnahme der Gesamtalkenon-Gehalte von 231,7 ng l⁻¹ auf 2,0 ng l⁻¹ beobachtet. In der euphotischen Zone findet auch eine Veränderung des C_{37:2}/C_{37:3}-Verhältnisses von 0,3 in 2 m auf 5,3 in 10 m statt. Nach den ersten zwei Metern ist eine deutliche Abnahme von C_{37:3} von 176,5 ng l⁻¹ auf 12,4 ng l⁻¹ in 10 m Tiefe zu verzeichnen. Die Konzentration von C_{37:2} steigt in beiden Wassertiefen leicht von 55,2 ng l⁻¹ auf 65,8 ng l⁻¹ an.

An der St.436 wurde eine Alkenon-Konzentration von 0,3 ng l⁻¹ in der Tiefe 25 m gemessen. Als C_{37:2}/C_{37:3} Verhältnis ergibt sich ein Wert von 1,8.

3.3.2.2. Sinkstoffalle

A. Gesamtkonzentrationen

Der Gesamtalkenon-Partikelfluß ist für die Fallen in 1840 m und 1950 m in den wöchentlichen Intervallen bestimmt (Abb. 3.3.-4). Es wurden keine Analysen des Massenflusses in 610 m durchgeführt.

Die für die Grundparameter beschriebene Saisonalität in drei Hauptphasen zeichnet sich auch in den Gesamtalkenonen ab. In den ersten vier Wochen in 1840 m sedimentieren $14,7 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, dann steigt der Fluß kurz auf $48,6 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ um dann wieder bis Anfang Mai auf $15,2 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ zu fallen. In der zweiten Phase im Mai erhöht sich die Sedimentation der Gesamtalkenone um den Faktor 4 und erreicht Mitte Juni das Maximum mit $2,8 \text{ } \mu\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Das Muster der Sedimentation ist in dieser Phase sehr variabel.

Das Einsetzen der erhöhten Sedimentation ist auch in der Falle in 1950 m Tiefe deutlich zu erkennen. In diese Falle in 100 m Höhe über Grund sinken in den ersten Wochen $9,2 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ und danach $21,9 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. In dieser Tiefe kommt es Anfang Mai zu einem Anstieg der Sedimentation ($72,1 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), die Anfang Juni erneut rapide ansteigt. Pulse erhöhter Sedimentation verlaufen in 1950 m Falle parallel zu den Grundparametern, sind aber nicht so hoch variabel wie in 1840 m Tiefe. Ein Maximum wird Anfang Juli mit $630,6 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ erreicht.

Tabelle 3.3.-2: Gesamtsedimentation der Einzelkomponenten der Alkenone ($\mu\text{g m}^{-2}$) für die Verankerungsphase 16.03.91-23.07.91 am Barents-See - Hang (BI2):

	C _{37:2}	C _{37:3}
610 m	-	-
1840 m	7,4	27,4
1950 m	18,1	4,9

B. Verhältnisse von C_{37:2} zu C_{37:3}

Die Zusammensetzung der Alkenone unterliegt großen Schwankungen im Untersuchungszeitraum.

Für die Falle in 1840 m bleiben die Verhältnisse von C_{37:2} zu C_{37:3}, ausgenommen von zwei Sedimentationsereignissen, über die ganze Verankerungsperiode unter 0,6. In den Sedimentationsmaxima Mitte Juni und Ende Juli sind die Verhältnisse am niedrigsten, d.h. der C_{37:3} dominiert den Gesamtalkenon-Fluß.

Bild. Mit Ausnahme von drei Wochen im April liegen die Werte über 1. In der Phase der hohen Sedimentation von Juni bis Ende Juli liegen die Werte durchschnittlich bei 4. Generell unterliegt C_{37:3} in der tiefsten Falle in den einzelnen Sedimentations-Phasen keinen so großen Schwankungen. Insgesamt nimmt der Fluß von 1840 m bis 1950 m für C_{37:2} um das 2,5 fache zu und für C_{37:3} um das 5,6 fache ab.

3.3.2.3. Sinkstoffallen-Pellets (BI2)

Aus den POC-Daten der 610 m Falle wurde die Partikelsedimentation wie beschrieben in drei Phasen eingeteilt. Aus den Phasen II und III wurden die Fecal Pellets von den Hauptzooplankton-Vertretern Appendicularien, Ostracoda und Euphausiaceen exemplarisch aus einem Intervall ausgelesen. Für alle drei Fallentiefen sollen die Alkenon-Gehalte und die Verhältnisse von C_{37:2} zu C_{37:3} der Fecal Pellets dieser drei Grazer vorgestellt werden (Abb. 3.3.-5). Im folgendem wird der Begriff "Gesamtalkenone" wie bisher für den Fluß von C_{37:2} und C_{37:3} in den Sinkstoffallen verwendet. Aus der Phase II wurde für 610 m und 1840 m das Intervall 22.06-29.06.91 und für 1950 m das um eine Woche verschobene Intervall 29.06.-06.07.91 gewählt. Der Fluß der Alkenone über die Pellets beträgt in 610 m insgesamt $90,6 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Der größte Anteil von $70,0 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (78%) gelangt über Appendicularien Pellets und $20,5 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ über Euphausiaceen Pellets in die Tiefe. In diesem Intervall sind nur vereinzelte Ostracoden Pellets in den Fallentöpfen nachzuweisen. Möglicherweise spielen die Ostracoden zu diesem Zeitpunkt eine kleinere Rolle als Grazer in der Wassersäule. Der Alkenonfluß über die Pellets zeigt bis in 1840 m Tiefe eine Abnahme auf $30,1 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ und wird nur von Appendicularen-Pellets bestimmt. Trotz der Hinweise von REM-Aufnahmen, daß alle untersuchten Pellets Coccolithophoriden-Anteile enthielten (I. Peeken, U.Zeller, SFB 313-Univ. Kiel, pers.Mitteilung), konnte keine Alkenonkonzentration in den Pellets von Ostracoden und Euphausiaceen gemessen werden. In der Falle 110 m über Grund steigt der Fluß der Alkenone über Pellets wieder auf $111,1 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. In dieser Tiefe spielen wieder alle Pellets der Hauptgrazer eine Rolle.

Die relative Zusammensetzung der Alkenone verändert sich ebenfalls mit der Tiefe. Es ist eine deutliche Zunahme der Anteile von C_{37:3} mit der Tiefe zu verzeichnen. Der Pellet-Fluß macht in der 1840 m-Falle 10 % und in der 1950 m Falle 18 % der Gesamtalkenon-Sedimentation in den Sinkstoffallen in diesem Fangintervall aus. Für die einzelnen Komponenten bedeutet dies, daß über die Pellets 11 % von C_{37:2} und 8 % von C_{37:3} in die Falle in 1840 m gelangen. Dieser Anteil des Gesamtalkenon-Flusses über Pellets macht in 1950 m Falle 4 % von C_{37:2} und 82 % von C_{37:3} aus.

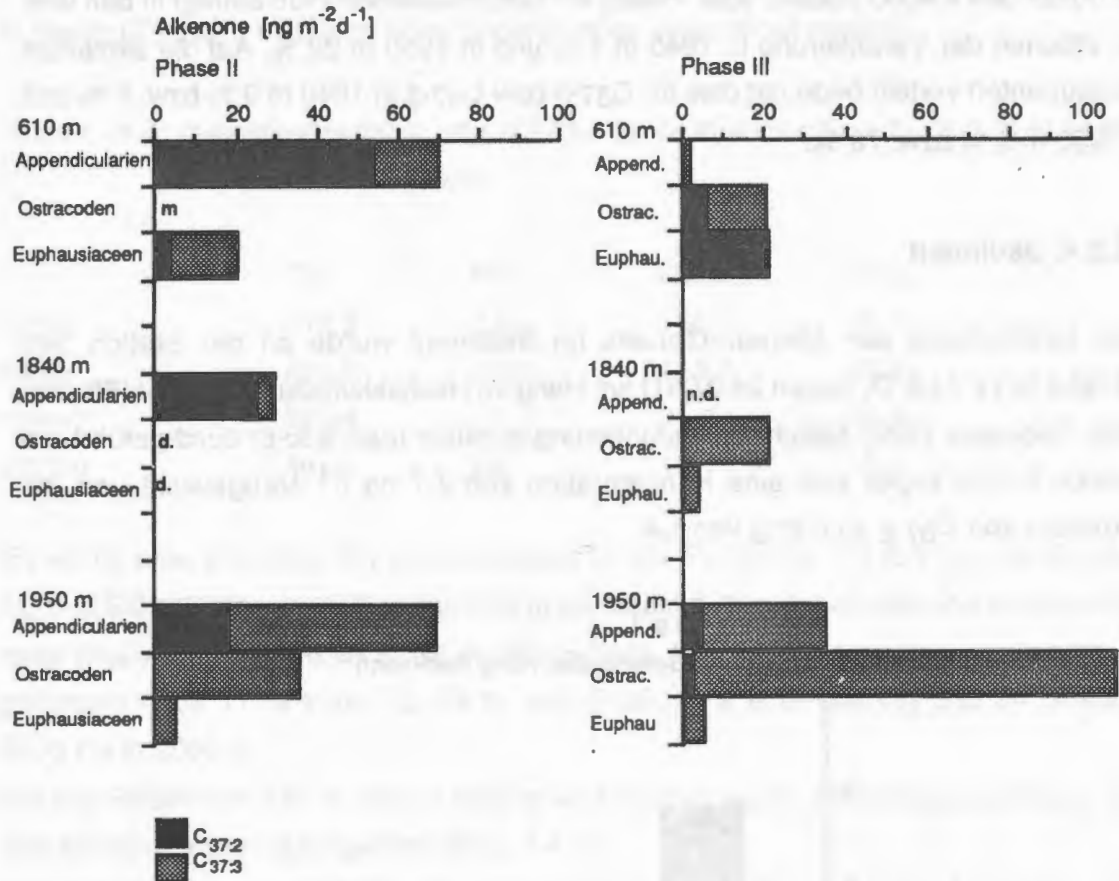


Abbildung 3.3.-5: Gesamtalkenon-Fluß (ng m⁻² d⁻¹ C_{37:2} und C_{37:3}) der Fecal Pellets von Appendicularien, Ostracoden und Euphausiaceen an ausgewählten Fangintervallen der Verankerung am Barents See-Hang (B12). Phase II: 610 m und 1840 m - 22.06-29.06.91, 1950 m - 29.06.-06.07.91. Phase III: 610 m, 1840 m und 1950 m - 13.07.-23.07.

Aus der Phase III wurde das Intervall 13.07.-23.07 für alle Tiefen gewählt. Insgesamt beträgt der Alkenonfluß über Pellets 44,6 ng m⁻² d⁻¹. Hauptsächlich geschieht dies über Ostracoden und Euphausiaceen Pellets. Bis in die Tiefe von 1840 m erfolgt eine Abnahme des Alkenonflusses über die Pellets um 43 %. Die Appendicularien Pellets enthalten überhaupt keine Alkenone und die gesamte Sedimentation von 25,3 ng m⁻² d⁻¹ besteht aus C_{37:3}. Der Alkenonfluß über Pellets zeigt eine starke Zunahme um den Faktor 3 mit der Tiefe.

Die relative Zusammensetzung der Alkenone verändert sich auch in diesem Intervall mit der Tiefe. Von dem hohen Gehalt an C_{37:2} der Euphausiaceen Pellets in 610 m ist in 1840 m und 1950 m nichts mehr zu erkennen. Auch die Appendicularien und Ostracoden Pellets weisen in 1950 m Tiefe Verhältnisse von C_{37:2} zu C_{37:3} unterhalb von 1 auf. Der Anteil von C_{37:2} macht am Gesamtfluß der Pellets nur noch 5 % aus.

Der Anteil des Alkenonflusses über Pellets am Gesamtalkenon-Fluß beträgt in den letzten Wochen der Verankerung in 1840 m 4 % und in 1950 m 22 %. Auf die einzelnen Komponenten verteilt bedeutet dies für C_{37:2} bzw C_{37:3} in 1840 m 0 % bzw. 5 % und in 1950 m 3 % bzw. 78 %.

3.3.2.4. Sediment

Eine Bestimmung der Alkenon-Gehalte im Sediment wurde an der Station 385 (74°58,3'N/14°44,8'O; Datum 24.07.91) am Hang im Hochakkumulationsgebiet (Blaume 1992, Thomsen 1992) östlich der Verankerungsposition (Abb.3.3.-6) durchgeführt. Im Bereich 0-1cm ergibt sich eine Konzentration von 7,7 ng l⁻¹ Naßgewicht und ein Verhältnis von C_{37:2} zu C_{37:3} von 1,4.

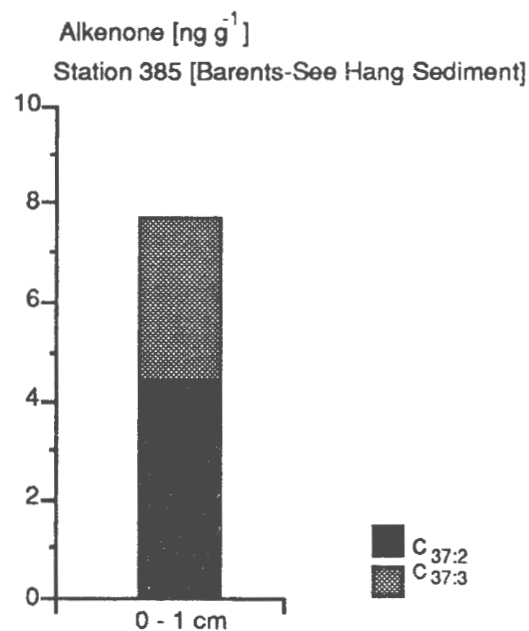


Abbildung 3.3.-6: Gesamtalkenon-Gehalt [ng g⁻¹ Naßgewicht] im Oberflächensediment [0-1 cm] der Station 385 am Barents See Kontinentalhang vom 24.07.1991.

3.4. Abbau-Versuch

3.4.1. Allgemeine Beschreibung der Sedimentation

In der Grönländischen See wurde die Sedimentation durch eine Kurzzeitverankerung (OG3a) an der Position 72°39'N/07°36'W untersucht. Zeitlich schließt sich hier die Jahresverankerung OG4 an.

In diesem Zeitraum kann eine hohe Sedimentation verzeichnet werden.

Tabelle 3.4.-1: Gesamtsedimentation (mg m^{-2}) für die Verankerungsphase 24.08.-1.09.90 in der Grönländischen See (OG3a).

	TG	POC	CaCO ₃	SiO ₂
125m	312,2	33,9	138,1	48,1
550m	429,9	20,5	268,4	63,6
1050m	82,94	11,4	31,3	25,8
2000m	49,18	5,8	19,1	15,2

Es wurde eine Zunahme der Sedimentation für die Parameter TG (38 %), CaCO₃ (94 %) und SiO₂ (32 %) von 125 m auf 550 m beobachtet. Nur der organische Kohlenstoff zeigt eine Abnahme um 40 % bis in 550 m Tiefe. Von der Sedimentation aus 500 m gelangen noch 11 % vom TG, 28 % vom POC, 7 % vom CaCO₃ und 24 % vom SiO₂ bis in 2000 m.

Für die Fallentiefen 125 m, 550 m, 1050 m und 2000 m wurde ein Abbauxperiment an den fixierten Proben durchgeführt (Abb. 3.4.-1).

Die Probennahme erfolgte in Monatsabständen. Es wurden Analysen für Trockengewicht, Kalziumkarbonat, Alkenone, Silikat (partikulär und gelöst) und Pigmente durchgeführt. Die Veränderungen im Silikat (partikulär und gelöst) werden von Machado (Diss. in Vorb.), die der Pigmente von Peecken (Diss. in Vorb.) beschrieben.

In dem Material aus 100 m und 550 m kommt es in dem ersten Monat zu einem Verlust an TG von 56 %, sowie von CaCO₃ von 54 %. In den nächsten 4 Wochen steigt der Verlust auf 66 % bzw. 73 %, um in den folgenden Monaten relativ konstant zu bleiben. In 1050 m Tiefe findet in den ersten zwei Monaten kaum eine Abnahme für TG und POC statt. Erst im dritten Versuchsmonat ist eine Abnahme von TG um 30 % und für CaCO₃ von 36 % zu beobachten. In 2000 m Tiefe ändert sich während der Beprobungszeit von sieben Monaten kaum etwas an der Menge der sedimentierten partikulären Substanz. Zum Schluß des Experimentes zeigt sich ein vergleichsweise höherer Verlust an CaCO₃ in bezug auf TG. Zu Anfang verhalten sich die beiden Parameter sehr ähnlich in ihrem Abbauverhalten. In 1050 m und 2000 m liegt der Anteil von CaCO₃ an TG bei 40 %, zum Schluß noch bei 30 %. In 125 m blieb der Anteil von CaCO₃ an TG relativ konstant. In der Falle mit der höchsten Sedimentation in 550 m Tiefe liegt der Anteil CaCO₃ an TG am Anfang bei 60 % und am Schluß bei 30 %. Der pH-Wert schwankte in allen Fallengläsern in den vier Tiefen um max. 0,2 (7,97-7,76) von Anfang bis zum Ende des Versuches.

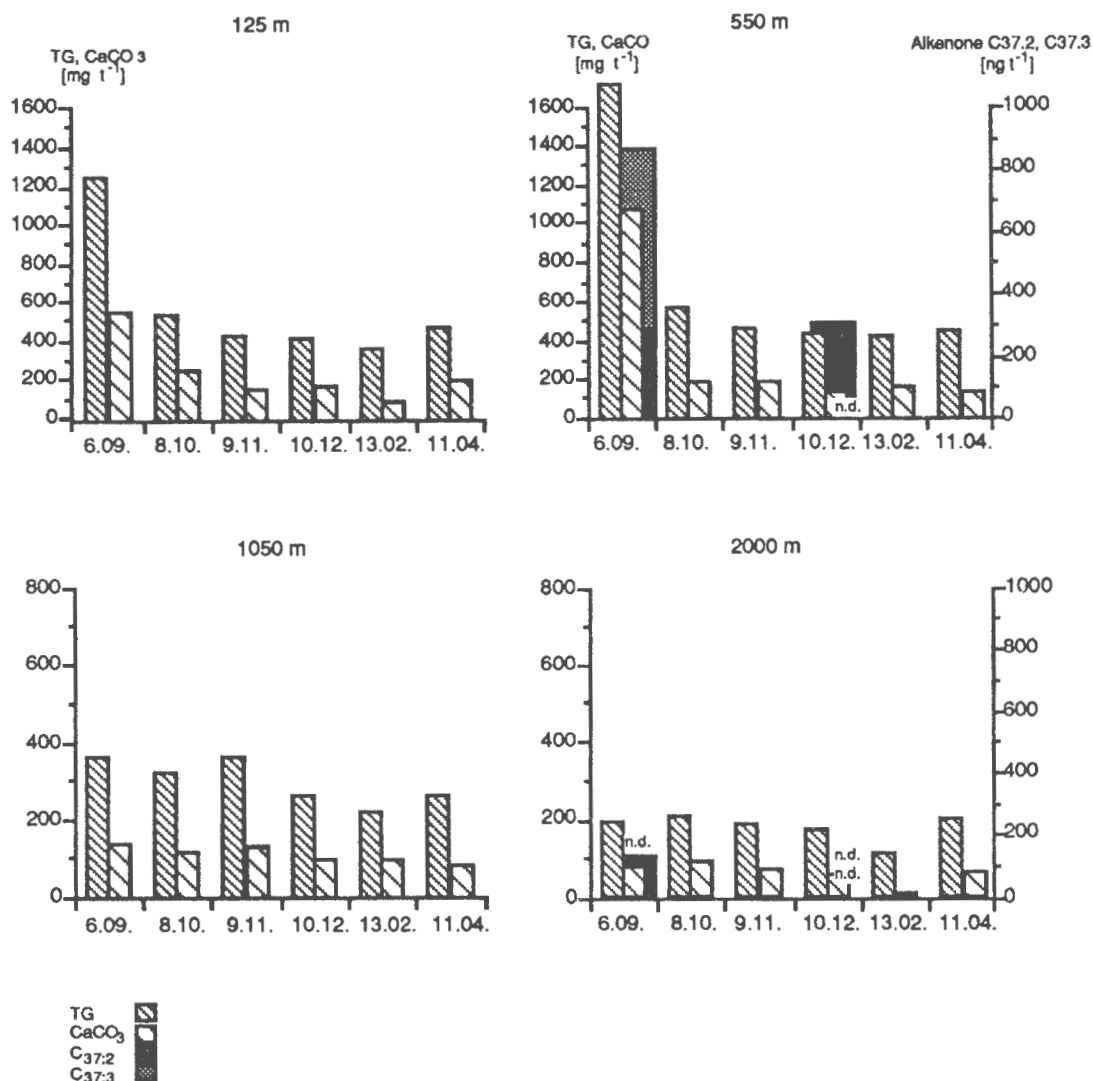


Abbildung 3.4.-1: Darstellung der Konzentrationen von Trockengewicht (TG), Kalziumkarbonat (CaCO₃) und Gesamtalkenone (C_{37:2} und C_{37:3}) in den Beprobungsintervallen des Abbauersuches der Kurzzeitverankerung (OG3a 24.08.-1.09.1990) in der Ostgrönländischen See. Konzentrationsangaben: TG, CaCO₃ - mg t⁻¹ (t = Verankerungsdauer), C_{37:2}, C_{37:3} - ng t⁻¹

3.4.2. Alkenone

Für dieses Abbaueperiment konnten die Alkenon-Analysen von zwei Beprobungsintervallen, einmal mit dem Material aus 500 m und zum anderen mit dem Material in 2000 m durchgeführt werden (Abb.3.4.-1.). Der Anfangswert des Alkenon-Flusses liegt am 6.09. in der 550 m Falle bei 868,5 ng t⁻¹ (t = Verankerungsdauer). Nach drei Monaten

waren noch $307,5 \text{ ng t}^{-1}$ vorhanden, d.h. noch 35 %. Das Verhältnis von $C_{37:2}$ und $C_{37:3}$ unterliegt in diesem Zeitraum einer großen Veränderung. Während zu Beginn des Experimentes am 6.09. im Material aus 550 m der $C_{37:3}$ -Fluß noch $582,2 \text{ ng t}^{-1}$ beträgt, konnte am 10.12. kein $C_{37:3}$ mehr nachgewiesen werden. Der Wert für den Anteil von $C_{37:2}$ steigt in den drei Monaten von $286,9 \text{ ng t}^{-1}$ auf $307,5 \text{ ng t}^{-1}$ leicht an. In dem Fallenmaterial in 2000 m beträgt am 6.09. der Gesamtfluß von $133,5 \text{ ng t}^{-1}$. In dieser Fallentiefe konnte keine Sedimentation von $C_{37:3}$ festgestellt werden. Drei Monate später liegt die Konzentration von $C_{37:2}$ nahe der Nachweisgrenze und es konnten keine genauen Konzentrationsbestimmungen mehr durchgeführt werden.

3.5. Wassersäulen-Daten

Die Wassersäulenstationen südlich von Island wurden zu einem Schnitt zwischen 53°N und 62°N zusammengefaßt (Abb. 3.5.-1).

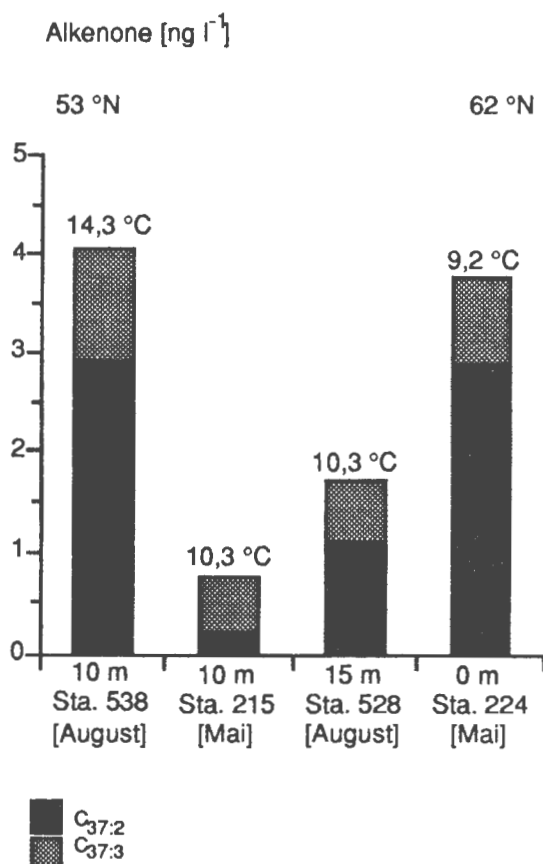


Abbildung 3.5.-1: Gesamtalkenon-Gehalt (ng l^{-1}) der Verbindungen $C_{37:2}$ und $C_{37:3}$ der filtrierten Wasserproben vom Schnitt südlich von Island.(siehe Abbildung 2.2.-1) Die Werte stammen vom August 1991 und Mai 1992.

Die Wasserschöpferproben stammen von verschiedenen Jahreszeiten (August 1991 und Mai 1992) und verschiedenen Tiefen (St. 538-10 m/10,3 °C, St.215-10 m/10,3 °C, St.528-15 m/13,4 °C und St.224-0 m/9,2 °C). Mit diesen Voraussetzungen soll nur auf die Schwankungsbreite der Verhältnisse von C_{37:2} zu C_{37:3} bei vergleichbaren Temperaturen (Unterschiede von 4°C) an verschiedenen Positionen hingewiesen werden. Die Gesamtalkenon-Gehalte schwanken, bedingt durch die unterschiedlichen Zelldichten, zwischen 0,8 ng l⁻¹ und 4,1 ng l⁻¹. Es ist kein Trend zu einem Anstieg von C_{37:3} im Verhältnis zu C_{37:2} mit der nördlichen Breite oder mit niedrigeren Wassertemperaturen zu verzeichnen (siehe 1.2.). Der C_{37:2}-Gehalt unterliegt stärkeren Schwankungen als die C_{37:3}-Konzentration. Die Verhältnisse liegen im Bereich 0,4-3,2. An der Station 211 (47°40,8'N/19°29,2'W; Datum 1992) im südlichen JGOFS-Gebiet wurden auch Alkenon-Bestimmungen an in-situ Pumpenmaterial (50 m und 60 m) durchgeführt. In 50 m liegt die Gesamtalkenon-Konzentration bei 0,5 ng l⁻¹ und in 60 m bei 1,0 ng l⁻¹. Das Verhältnis von C_{37:2} zu C_{37:3} verändert sich von 0,3 in 50 m, d.h. der C_{37:3}-Gehalt machte 80 % der Gesamtmenge aus, auf 0,7 in 60 m, mit 60 % C_{37:3} an der Gesamtkonzentration (Abb. 3.5.-2).

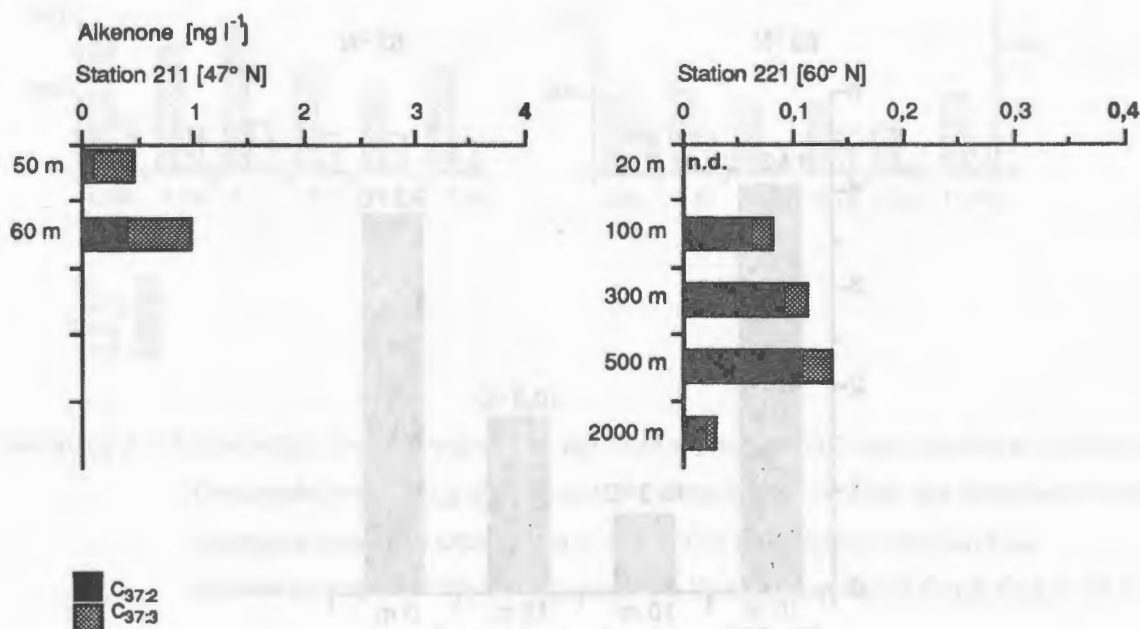


Abbildung 3.5.-2: Gesamtalkenon-Gehalt (ng l⁻¹) der Verbindungen C_{37:2} und C_{37:3} der in-situ Pumpproben in verschiedenen Tiefen an der Station 211 (47°40,8'N/19°29,2'W; Datum 21.05.1992) und der Station 221 (59°30N/20W; Datum 06.07.1992).

An der Station 221, südlich von Island (59°30N/20W; Datum 1992), in der Nähe der JGOFS Verankerung 58°59,2'N/21°1,4'W (F18, der Meereschemie, IfM-Kiel) wurde die

Wassersäule in 20 m, 100 m, 300 m, 500 m und 2000 m mit in-situ Pumpen (Typ:lfM Kiel) beprobt (Abb. 3.5.-2). Durch das große Pumpvolumen (bis 380 l) konnten auch Analysen am suspendierten Material in großer Tiefe durchgeführt werden. In 20 m Tiefe wurden keine Alkenone in der Wassersäule gefunden. Zwischen 125 m und 500 m erhöht sich die Gesamtalkenon-Konzentration leicht von $0,08 \text{ ng l}^{-1}$ auf $0,14 \text{ ng l}^{-1}$. Das Verhältnis von C_{37:2} zu C_{37:3} bleibt jedoch relativ konstant bei 3,1-3,7. In einer Tiefe von 2000 m sinkt die Gesamtkonzentration auf $0,03 \text{ ng l}^{-1}$ ab. Von C_{37:2} sind noch 20 % und von C_{37:3} noch 38 % im suspendierten Pool zu finden. Das Verhältnis liegt nun bei 1,7 und zeigt eine Abreicherung von C_{37:2} in tieferen Wasserschichten.

3.6. Statistische Betrachtungen

3.6.1. Alkenon-Fluß

Anhand von Box-Plots wird der Gesamtalkenon-Fluß für die einzelnen Verankerungen zusammenfassend dargestellt. Es soll hier unter anderem der Anstieg der Gesamtalkenon-Konzentration in den bodennahen Fallen verdeutlicht werden.

Im Norwegen-Becken beträgt während der Verankerungszeit in der 500 m Falle der Gesamtalkenon-Fluß im Mittel $27 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ und in der 3000 m Falle $85 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Abb. 3.6.-1). Der Gesamtalkenon-Fluß für die Ostgrönland Verankerung in 500 m liegt im Mittel bei $3 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ und in 2300 m bei $16 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Abb. 3.6.-2).

Für die Bäreninsel-Verankerung beträgt der Gesamtalkenon-Fluß in der 1840 m Falle im Mittel $66 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ mit maximalen Werten bis $1200 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ und in 1900 m Tiefe im Mittel $240 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Abb. 3.6.-3). Die C_{37:2} zu C_{37:3} Verhältnisse unterscheiden sich während der Verankerungszeit in der 1840 m und 1950 m Falle signifikant von einander ($p < 0,05$, Wilcoxon sign rank test). In 1840 m überwiegt der C_{37:3}-Anteil am Gesamtfluß mit C_{37:2}/C_{37:3}-Verhältnissen unterhalb 1. In 1950 m macht dagegen C_{37:2} den Hauptanteil aus (Abb. 3.6.-4). Die C_{37:2} zu C_{37:3} Verhältnisse liegen weit über 1. Der durch die Pellets der Hauptgrazer-Organismen verursachte Alkenonfluß beträgt in ausgewählten Fangintervallen der Bäreninsel-Verankerung im Mittel im Juni $40 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ und Juli $20 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Abb. 3.6.-5).

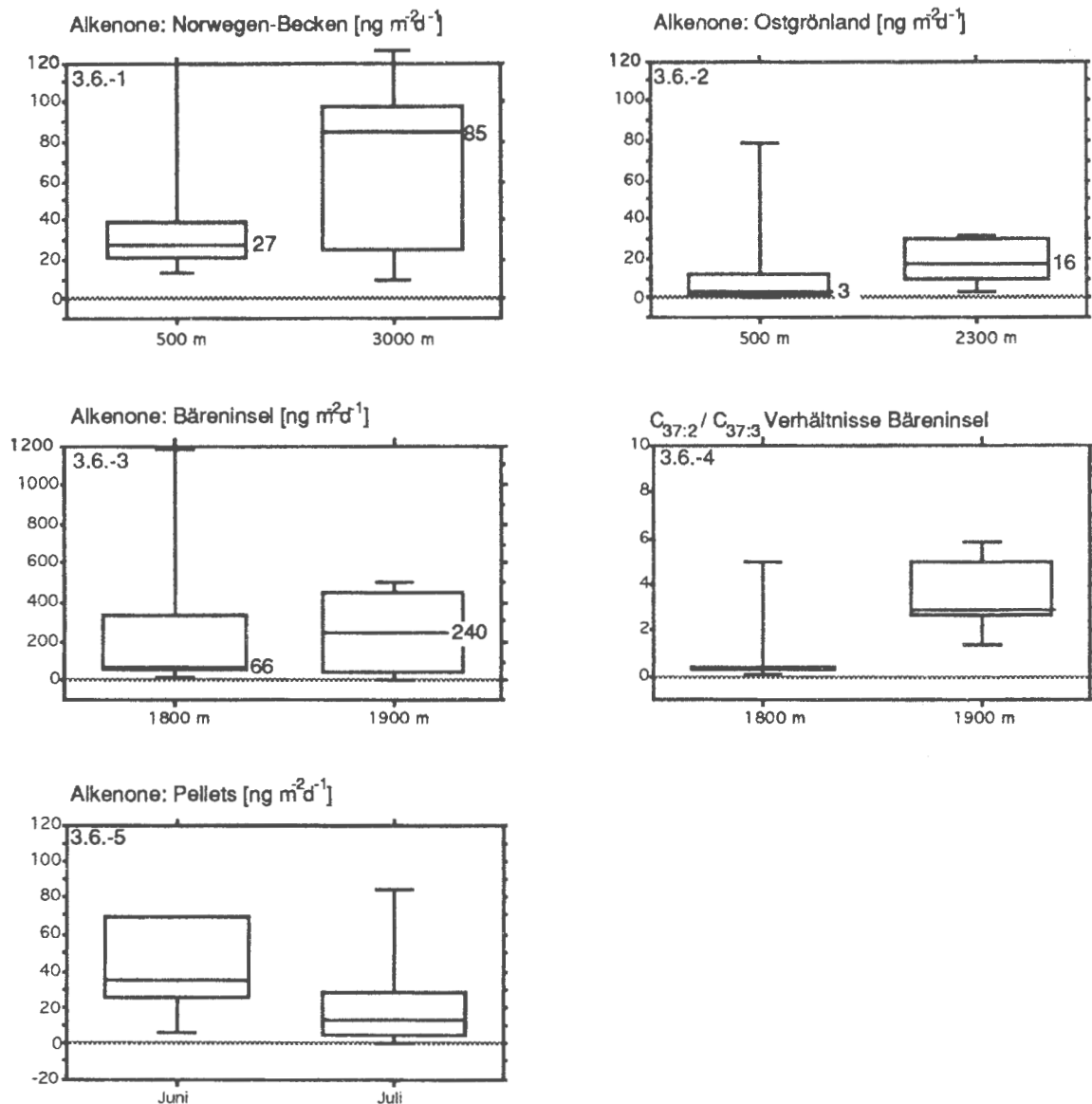


Abbildung 3.6.: Boxplots des Gesamtalkenon-Flusses ($\text{ng m}^{-2} \text{d}^{-1}$) der Verbindungen $\text{C}_{37:2}$ und $\text{C}_{37:3}$ in:

3.6.-1: 500 m und 3000 m Falltiefe der Verankerung im Norwegen Becken (NB6).

3.6.-2: 500 m und 2300 m Falltiefe der Verankerung in der OstgrönländischenSee (OG4).

3.6.-3: 1840 m und 1950 m Falltiefe der Verankerung am Barents See-Hang (BI2).

3.6.-5: den Pellets der Hauptgrazer-Organismen

Abbildung 3.6.-4: Darstellung der Verhältnisse von $\text{C}_{37:2}$ und $\text{C}_{37:3}$ in der Falle in 1840 m und 1950 m Tiefe der Verankerung am Barents see-Hang (BI2).

Die Linien innerhalb der Box zeigen den Medianwert (50 % Perzentil) an. Die oberen und unteren Begrenzungen der Box zeigen das obere und untere Quartil (75 und 25 % Perzentile), die obere und untere Markierung des Boxplots die 90 % und 10 % Perzentile an.

3.7. Kulturversuche

Hälterung von *Emiliania huxleyi*

Es wurden Hälterungen von *E. huxleyi* bei verschiedenen Temperaturen (1 °C, 6 °C, 25 °C) durchgeführt. Bei der 1 °C-Kultur ist kein Wachstum zu verzeichnen gewesen. Die Messungen der 6 °C und 25 °C Kulturen zeigen im Retentions-Bereich der Alkenone keine einzelnen Peaks, sondern einen Berg von Verbindungen. Selbst mit der "Multidimensionalen Gaschromatographie" ist es nicht möglich, hier einzelne Alkenone zu trennen.

Begleitende Mikroskopie und REM Untersuchungen zeigen, daß es sich bei der Kultur um morphologisch sehr zarte Formen handelt (Abb.3.7.-1).

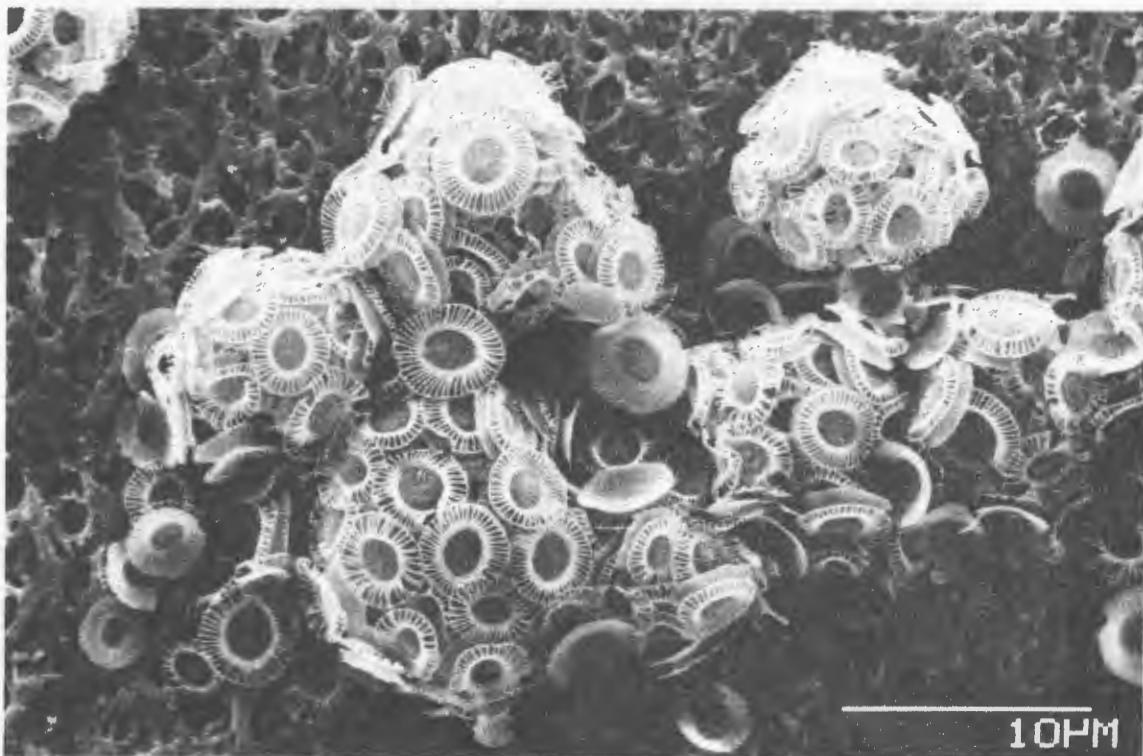


Abbildung 3.7.-1: REM Aufnahmen einer bei 6°C gehätierten *Emiliania huxleyi* .

Im Verlauf der Probennahme in Intervallen von zwei Monaten zeigten die Zellen der 25°C Kulturen kaum eine Veränderung ihrer Morphologie. Die Organismen hatten zum größten Teil noch Cocosphären mit Lithen gebildet. Das für Warmwasserformen typische Gitter im Zentrum der Lithen (Young & Westbrook 1991) konnte bei den im Warmen gehätierten Formen jedoch nicht gefunden werden. Bei der 6 °C Kultur konnten kaum ganze Cocosphären beobachtet werden. Auch hier war keine Gitterstruktur im Zentrum der Lithen zu erkennen. In der fortgeschrittenen Probennahme lagen hauptsächlich nackte Stadien vor.

Verschiedene Prymnesiophyceen-Kulturen

Mit diesem Ansatz soll in Anlehnung an Marlowe et al. (1990) die Frage, welche Gattungen der Prymnesiophyceae Alkenone produzieren, weiter aufgeschlüsselt werden. Es werden hier keine quantitativen Aussagen, sondern Tendenzen aufgezeigt. Die Ergebnisse, insbesondere für *Phaeocystis pouchetii*, erweitern die Frage nach den Produzenten der gefundenen Alkenon-Signale und geben Hinweise für zukünftige Fragestellungen (Tab. 3.7.-1).

Tabelle 3.7.-1: Auflistung verschiedener Arten der Prymnesiophyceae und das Vorhandensein von Alkenonen. Es bedeuten: "+" vorhanden, "+/-" das organische Material hatte für eine 100% Aussage nicht gereicht und "-" nicht vorhanden. Falls nicht anders vermerkt, stammen die Kulturen von der Biologischen Anstalt Helgoland, M.Elbrächter.

Art	C37:2	C37:3
<i>Crysocromolina aphelis</i>	+	+
<i>Crysocromolina polylepis</i>	+/-	+/-
<i>Isochrysis galbana</i>	+	+
<i>Corum bellus</i>	+/-	+/-
<i>Pleurocystis cartrae</i>	+	+
<i>Prymnesium parvum</i>	-	-
<i>Phaeocystis pouchetii</i>	+	+
<i>Phaeocystis globosa</i> (in-situ Nordsee)	-	-
<i>Pavlova lutherii</i>	+/-	+/-
<i>Emiliana huxleyi</i> (England:PML-B 21)	+	+

4. Diskussion

Bei der Ausführung des Vorhabens, die organische Substanz anhand von Biomarkern von der Bildung in der Wassersäule über Sinkstofffallen bis zur Sedimentoberfläche zu verfolgen, lag der Schwerpunkt auf Untersuchungen der für Prymnesiophyceen typischen Alkenone C_{37:2} und C_{37:3}. Die Hypothese besagt, daß diese Alkenone in Abhängigkeit von der umgebenden Temperatur in einem bestimmten Verhältnis von der Zelle gebildet werden (Brassell et al. 1986a&b, Marlowe 1984). Physiologisch haben die Alkenone vermutlich die Aufgabe, die Viskosität der Zellmembranen zu regeln (Prahl et al. 1987). Im Europäischen Nordmeer, bei den Temperaturen unterhalb von 10 °C, wäre ein höherer Anteil an dem Alkenon C_{37:3} im Vergleich zu C_{37:2} zu erwarten. Schwankungen der Alkenon-Sedimentationsraten aufgrund von Saisonalität oder Verluste auf dem Weg durch die Wassersäule sollten das Verhältnis beider Alkenone nicht ändern.

Folgende Aspekte sollen in der Diskussion im Vordergrund stehen:

- Saisonalität und regionale Unterschiede der Gesamtalkenonsedimentation.
 - Veränderung der Verhältnisse von C_{37:2} zu C_{37:3} über die Wassersäule und in den Sinkstofffallen, sowie mögliche Prozesse, die zu diesen Veränderungen führen.
 - Hälterungsexperimente als Möglichkeit zur Klärung offener Fragen .
 - Die Verwendbarkeit von Alkenonen als Biomarker und als Indikator für Paläotemperaturen.
- Zu Beginn der Diskussion erfolgt eine kurze Methodenkritik und danach werden die oben aufgeführten Aspekte für die einzelnen Seegebiete behandelt.

4.1. Methodisches

In Anlehnung an die Spurenstoffanalytik von organischen Spurenstoffen (Schulz 1990) wurde eine Methode zur Bestimmung geringer Alkenon-Konzentrationen aus komplexen organischen Probenmaterial entwickelt. Es zeigt sich, daß es durch eine aufwendige Probenaufbereitung möglich ist, Alkenonkonzentrationen sowohl in geringen Wasserprobenvolumina als auch in kleinen Mengen Sinkstofffallenmaterials zu messen (siehe Tab. 3.0.-1).

Der entscheidende Schritt für eine quantitative Extraktion ist das Verreiben der Probe mit Natriumsulfat. Die daraus resultierende Vergrößerung der Probenoberfläche und damit der Angriffsfläche für das Lösungsmittel, das zusätzliche Trocknen der Probe und die Anwendung des relativ polaren Lösungsmittel Dichlormethan ermöglichen es, auch geringe Alkenongehalte aus dem Probenmaterial zu lösen. Die Proben werden durch die Verwendung des Dichlormethans sehr schonend extrahiert. Bei der Ultraschallbehandlung wird der Probe kinetische Energie zugeführt und es erfolgt eine Erwärmung. Durch den niedrigen

Siedepunkt des Dichlormethans (32 °C) kommt es jedoch nicht zu einer starken Erwärmung des Probenmaterials, und einem möglichen Zerfall labiler organischer Verbindungen wird entgegengewirkt. Die Ausbeute der Extraktion und Aufarbeitung wurde durch Zugabe von verschiedenen Alkenon-Standardmengen bestimmt. Sie beträgt über 90 %. Um Verunreinigungen des Injektors, der GC-Säule und besonders des Detektors vorzubeugen, müssen polare hochsiedende Substanzen aus den Extrakten entfernt werden. Hierfür erweist sich eine Trennung über Al_2O_3 (30 % deaktiviert) als unerlässlich. Die Reproduzierbarkeit der Bestimmung wurde durch Doppelmessungen und Standardzugaben gewährleistet.

Im Gegensatz zu Sedimenten enthalten Proben aus der Wassersäule und aus Sinkstoffallen sehr viele organische Verbindungen, die sich zum Teil selbst nach gaschromatographischen Trennungen nicht von den Alkenonen separieren lassen. Dies führt zu Überlagerungen in den Chromatogrammen und damit zu falschen Ergebnissen. Durch Anwendung der Multidimensionalen Gaschromatographie (MDGC) können diese Probleme weitgehend ausgeschlossen werden. In der Abb. 4.1.-1a ist die Trennung von Alkenonen und koeludierenden Verbindungen, die bisher nicht identifiziert werden konnten, mit der MDGC-Technik dargestellt. In einigen Proben sind die Gemische jedoch so komplex, daß selbst durch MDGC keine erfolgreich verlaufenden Analysen durchgeführt werden (Abb. 4.1.-1b). In diesen Fällen können durch eine Fraktionierung, z.B. durch Al_2O_3 -Säulenchromatographie oder einem HPLC-cleanup (Petrick et al. 1988) ausreichende Ergebnisse erzielt werden.

Es müssen in Zukunft sicherlich auch die höher ungesättigten ($\text{C}_{37:4}$) und die längerkettigen Alkenone (C_{38} , C_{39}) sowie die Karbonsäureester (C_{37} -Ester, C_{38} -Ester) berücksichtigt werden. In der Temperaturkalibrierung von Prah (1988) wird das Vorkommen des Alkenon $\text{C}_{37:4}$ bei Coccolithophoriden-Kulturen, die unterhalb von 15 °C gehältert wurden, beschrieben. Die in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Messungen geben Hinweise auf diese Komponente, jedoch fehlt der entsprechende Standard für eine sichere Identifikation (Abb. 4.1.-1a).

Aus diesem Grunde wird dieses Alkenon mit 4 Doppelbindungen in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt. In der Literatur wird diese Komponente bei Temperaturbetrachtungen ebenfalls meist vernachlässigt.

Für zukünftige Untersuchungen der Biomarker-Funktion dieser Verbindungen und für Paläotemperaturberechnungen wäre eine Einbeziehung dieser zusätzlichen Verbindungen sicherlich sehr hilfreich. Eine methodisch optimale Erfassung dieser Verbindungen bietet sicherlich die Kopplung der Multidimensionalen Gaschromatographie mit der Massenspektrometrie.

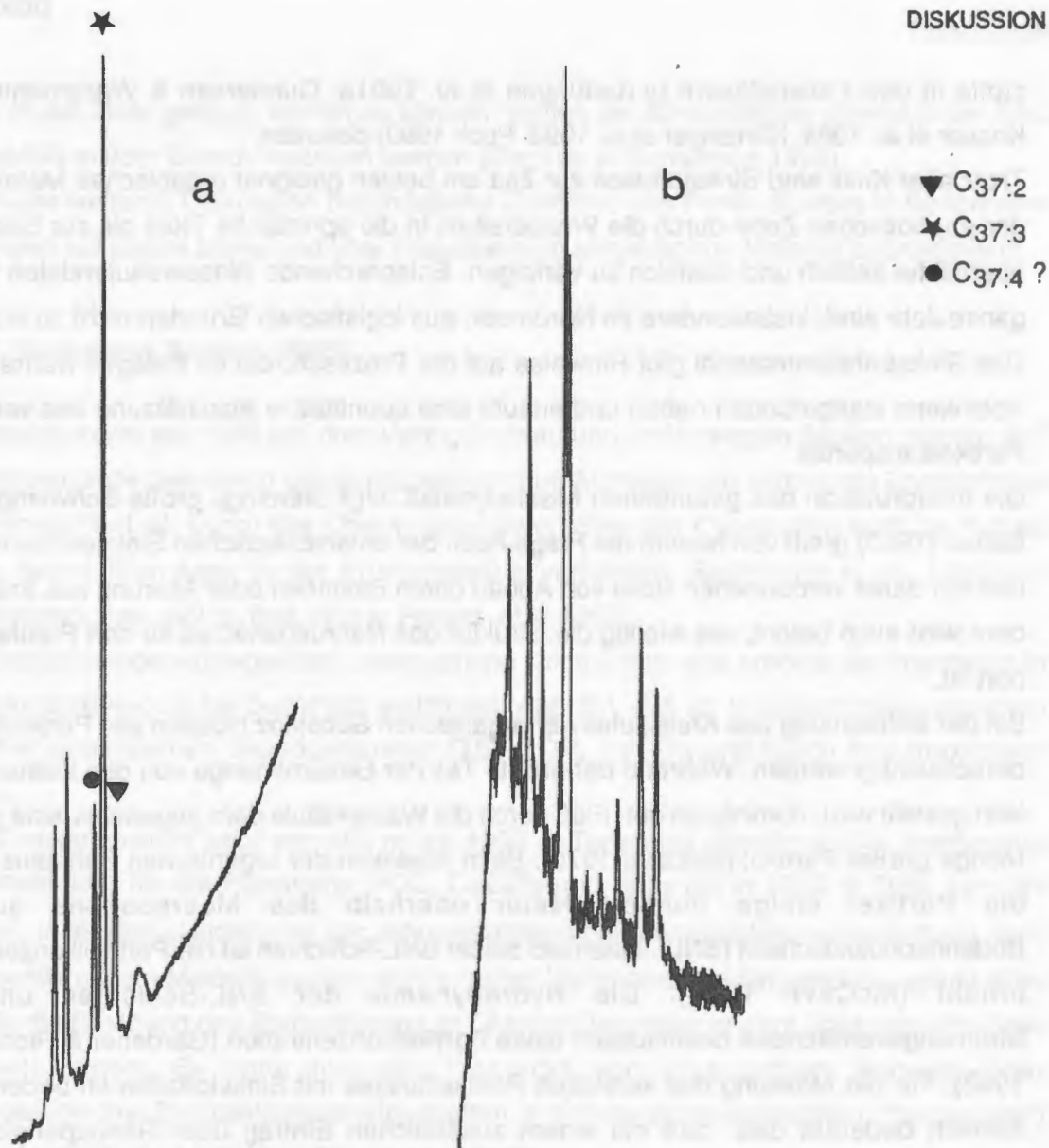


Abb. 4.1.-1: Darstellung verschiedener "Cut"-Bereiche.

- a) Chromatogramme von OG4-Proben, in denen sich koeluisierende Verbindungen abbilden
- b) Chromatogramm einer Sinkstoffallenprobe (OG4), bei der sich auch im "Cut"-Bereich ein komplexes Gemisch abzeichnet

4.2. Abbildung pelagischer Prozesse im Material der Sinkstoffallen

Der Einsatz von Sinkstoffallen ermöglicht es, Jahrgänge des vertikalen Partikelflusses zu erhalten. Diese Methode ist allerdings auch umstritten. Es werden Probleme bedingt durch die Strömung und damit verbunden die Fangeigenschaften (Baker et al. 1988, Buesseler 1991, Butmann et al. 1986, Gust et al. 1992), die Trennung passiv und aktiv in die Fallen gelangten Materials, das sogenannte "Swimmer"-Problem (Karl & Knauer 1989, Lee et al. 1992, Michaels et al. 1990, Silver & Gowing 1991) und die Modifikation der fixierten Sink-

stoffe in den Fallengläsern (v.Bodungen et al. 1991a, Gundersen & Wassmann 1990, Knauer et al. 1984, Körtzinger et al. 1993, Puch 1990) diskutiert.

Trotz aller Kritik sind Sinkstofffallen zur Zeit am besten geeignet organisches Material aus der euphotischen Zone durch die Wassersäule in die aphotische Tiefe bis zur Sedimentoberfläche zeitlich und räumlich zu verfolgen. Entsprechende Wassersäulendaten für das ganze Jahr sind, insbesondere im Nordmeer, aus logistischen Gründen nicht zu erstellen. Das Sinkstofffallenmaterial gibt Hinweise auf die Prozesse, die im Pelagial während des Absinkens stattgefunden haben und erlaubt eine quantitative Abschätzung des vertikalen Partikeltransportes.

Die Interpretation des gefundenen Mischsignales birgt allerdings große Schwierigkeiten. Banse (1990) greift von neuem die Frage nach der unterschiedlichen Sinkgeschwindigkeit und der damit verbundenen Rolle von Abbau durch Bakterien oder Alterung auf. Insbesondere wird auch betont, wie wichtig die Struktur des Nahrungsnetzes für den Partikeltransport ist.

Bei der Betrachtung des Kreislaufes der organischen Substanz müssen alle Partikelgrößen berücksichtigt werden. Während der größte Teil der Gesamtmenge von den kleinen Partikeln gestellt wird, dominieren den Fluß durch die Wassersäule dem gegenüber eine geringe Menge großer Partikel (McCave 1975). Beim Absinken der organischen Substanz treffen die Partikel einige hundert Meter oberhalb des Meersbodens auf die Bodennepheloidschicht (BNL). Innerhalb dieser BNL-Schichten ist die Partikelkonzentration erhöht (McCave 1986). Die Hydrodynamik der BNL-Schichten und die Strömungsverhältnisse beeinflussen diese Partikelkonzentration (Gardener & Richardson 1992). Für die Messung des vertikalen Partikelflusses mit Sinkstofffallen im bodennahen Bereich bedeutet dies, daß mit einem zusätzlichen Eintrag über Resuspension und lateralem Eintrag von Partikeln gerechnet werden muß (Biscaye & Eitram 1977, Gardner et al. 1985, Walsh & Gardner 1993). Es wird davon ausgegangen, daß sich BNL's überall bei Wasserbewegung bilden (Gardener & Richardson 1992), d.h. nicht nur bei Hangabwärtstransport partikulären Materials. Die Partikel in der BNL setzen sich zum einen aus den frisch sedimentierten Partikeln zusammen, welche kaum Sedimentsignale tragen (rebound), zum anderen aus Partikeln, welche schon öfter Sedimentkontakt hatten und im Benthos verschiedene Trophiestufen passiert haben, zusammen (Gardener & Walsh 1990, Walsh et al. 1988). Es treten nicht nur Nepheloid-Schichten in Bodennähe auf, sondern auch innerhalb der Wassersäule in Form von Zwischennepheloid-Schichten (INL's). Dies ist insbesondere für Kontinentalhänge beschrieben worden (Dickson & McCave 1986, Blaume 1992). Für die Betrachtung der Sedimentation bedeutet dies eine Überschätzung des Flusses bis zur Sedimentoberfläche innerhalb der BNL. Um eine Aussage über die Exportsedimentation, d.h. die organische Substanz, die tatsächlich aus der euphotischen

Zone in die Tiefe gelangt, treffen zu können, sollten die Sinkstoffallen oberhalb der BNL (meist 500 m über Grund) verankert werden (Gardner & Richardson 1992).

Die in der weiteren Diskussion beschriebene Zunahme des Partikelflusses in Bodennähe wird eben auf dieses lateral und über Resuspension eingetragene Material zurückgeführt.

4.2.1. Norwegen Becken (NB6)

Untersuchungen seit 1986 auf dem Vøring Plateau und im Norwegen Becken zeigen, daß die Norwegische See durch das jahreszeitlich frühe Auftreten von herbivoren Zooplanktern gekennzeichnet ist. Durch das Überwinterungsverhalten der Copepoden wird der Aufbau einer hohen Biomasse in der Frühjahrsblüte verhindert (Bathmann et al. 1990a&b, v.Bodungen et al. 1991b, Noji 1991a; Peinert et al.1987).

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, daß eine erhöhte Sedimentation in den Monaten August bis Dezember stattfindet (Abb. 3.1.-1 & 2). In dieser Phase erreichen alle hier gemessenen Grundparameter (TG, POC, CaCO₃ und SiO₂) ihre maximalen Werte.

Das Trockengewicht zeigt von 500 m auf 1000 m Tiefe eine Abnahme. Der Anstieg der Sedimentation für die Parameter POC, CaCO₃ und SiO₂ bis in 1000 m Tiefe kann im August, unter Berücksichtigung der Jahressedimentation der Vorjahre, vermutlich mit noch sedimentierendem Material aus den nicht erfaßten Vormonaten erklärt werden. Jedoch müssen für die Erhöhung des Partikelflusses im Oktober-Dezember andere Faktoren eine Rolle gespielt haben. Es kann hier ein Transport von organischem Material über bathypelagische Zooplanktongemeinschaften in tiefere Wasserschichten ("bypassing") stattgefunden haben (Longhurst & Harrison 1988).

Das deutliche Sedimentationssignal des CaCO₃ wurde in den Jahren davor mit starken saisonalen Vorkommen der Pteropoden in Verbindung gebracht (Bathmann et al. 1991, Bodungen et al. 1991a.). Zählraten zeigen jedoch für das Jahr 1991-1992 eine um das 50-fache niedrigere Anzahl der Pteropoden in 500 m Tiefe als im Verankerungsjahr 1988-1989. Planktische Foraminiferen und insbesondere Coccolithophoriden scheinen in der hier bearbeiteten Verankerung (1991-1992) den CaCO₃-Fluß auszumachen.

Für die Parameter TG, POC, CaCO₃ und SiO₂ ist eine Zunahme der Sedimentation von 500 m bis 3000 m Tiefe zu verzeichnen. In dieser Sinkstoffalle 300 m über Grund steigt der Fluß für TG um den Faktor 1,7, für POC um 1,2, für CaCO₃ um 2,6 und für SiO₂ um 5,7 (siehe Tab.3.1.-1 & 2). Dies wird auf Resuspension und Lateraltransport zurückgeführt. Insbesondere im Frühjahr verzeichnen die Grundparameter in die Falle in 3000 m Tiefe, bedingt durch kurzfristig starke Resuspensionsereignisse, den höchsten Anstieg. Die C/N-Werte (gemittelt 10), wie auch der Anteil des biogenen Materials am Trockengewicht (69 %;

($\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 + 2 \times \text{POC}$) weisen darauf hin, daß zwar lithogenes Material eingetragen wird, jedoch das Material insgesamt noch einen hohen organischen Anteil hat.

Eine Zunahme des Partikelflusses in den bodennahen Fallen in diesem Seegebiet wurde schon für die Jahresverankerung von 1988-1989 von Bodungen et al (1991b) beschrieben. In dieser Verankerung wurden in 90 % der Fallengläser benthische Foraminiferen gefunden (v. Bodungen et al. 1991b). Die dort herrschende Strömungsgeschwindigkeit im Bereich von $7-12 \text{ cm sec}^{-1}$ reicht nicht für ein Aufwirbeln durch Resuspension aus (Weatherly 1972). Es wird vermutet, daß über Lateraltransport vom Mohns Ridge und der Jan Mayen Fracture Zone Partikel in der BNL herangetragen werden (v. Bodungen 1991b). Weiteren Aufschluß über die Quellen des durch Lateraltransport zusätzlich eingetragenen Materials können Untersuchungen an hartschaligen Organismen in den Fallenproben geben (A. Kohly & A. Schröder, SFB 313, pers. Mitteilung).

Der Alkenonfluß während ausgewählter Fangintervalle (siehe Abb. 3.1.-4) liegt im Bereich von $10 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ bis $140 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ und folgt dem saisonalen Verlauf der Parameter TG, POC, CaCO_3 und SiO_2 . In der Hauptsedimentationsphase (Mitte August -Mitte Dezember) im Oktober wird eine Abnahme der Gesamtkonzentration von 80 % der Alkenone über die Wassersäule bis in 3000 m Tiefe verzeichnet. Im Mai, Juni und August erfolgt eine deutliche Zunahme des Alkenonflusses in der tiefsten Falle (siehe Abb. 3.1.-4). Bei dem erhöhten Fluß der Alkenone zwischen 500 m und 1000 m im August könnte es sich wiederum um das schon erwähnte Material aus dem nicht erfaßten Monat Juli handeln. Den höchsten Einfluß durch Resuspension zeigen die Werte im Mai und ganz besonders im Juni-Juli. Im letzteren Intervall kam das vertikale Signal aus 500 m nicht in 1000 m an, d.h. in 3000 m müßte ausschließlich anderwertig eingetragene Substanz den Partikelfluß bestimmen. In den Wintermonaten Februar-März fand lediglich in der bodennahen Falle ein Alkenonfluß statt. Es muß hier ausschließlich resuspendiertes und lateral eingetragenes Material vorliegen, da die Wachstumsphase in der euphotischen Zone in diesem Seegebiet noch nicht begonnen hatte.

4.2.2. Ostgrönländische See (OG4)

In diesem Seegebiet herrschen bezüglich Nährsalzangebot und Jahresgang der Lichteinstrahlung die gleichen Voraussetzungen für ein Phytoplanktonwachstum wie in der Norwegischen See. Die jährliche Gesamtproduktion (^{14}C -Messungen) und die Neue Produktion sind in den beiden Seegebieten in etwa gleich ($84-91 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ bzw. $20-29 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$; Koeve 1992). Bedingt durch die Hydrographie unterscheidet sich jedoch die Sedimentation sowohl in ihrer Saisonalität als auch in der Zusammensetzung der Sinkstoffe. Die Verankerungsposition in der Grönländischen See unterliegt zeitweiser Eisbedeckung mit großer

interanueueller Schwankung. Durch Schmelzwassereinfluß entsteht eine frühe Stabilisierung der Wassersäule an der Oberfläche und die Voraussetzung für ein Phytoplanktonwachstum können schon um 2 Monate eher als im offenen Wasser gegeben sein (Bauerfeind et al. 1993).

Die Phasen höchster Sedimentation liegen in der vorliegenden Untersuchung im April-Mai mit dem Maximum im Juli und September-Oktober (siehe Abb.3.2.-1 & 2). Über die gesamte Verankerungszeit erfolgt eine Abnahme des Partikelflusses bis in 1000 m Tiefe.

Herbivore Zooplankter spielen zu Beginn der Wachstumsperiode eine geringe Rolle. Ein hoher Anteil der Frühjahrsblüte wird somit direkt und nicht über das Nahrungsnetz sedimentieren. Untersuchungen von Copepodenkotballen an der Verankerung 1988-1989 unterstützten die Annahme der zeitlichen Entkopplung der einsetzenden Primärproduktion und des Freßdrucks der Zooplankter in diesem Seegebiet. Ein Maximum der Sedimentation von Copepodenkotballen erfolgte erst 4 Wochen nach Beginn der Diatomeensedimentation (Bauerfeind et al. 1993). Das Mikrozooplankton erreicht ebenfalls im Sommer hohe Biomasseanteile (Paranjabe 1988, Venne 1990). Der Umsatz des Primärproduktes kann in dieser Zeit zu 10 %-40 % durch das Mikrozooplankton erfolgen (Antia 1991).

Im Gegensatz zur benachbarten Norwegischen See, die durch eine hohe Karbonatsedimentation gekennzeichnet ist, ist die Sedimentation in der Grönländischen See stärker durch den Vertikalfluß von Silikat geprägt. Eine maximale Sedimentation von Diatomeen erfolgt im Sommer. Für dieses Seegebiet sind auch Flagellaten als Vertreter des Phytoplanktons häufig (Koeve 1992). Unter anderem bildet die Prymnesiophyceae *Phaeocystis pouchetii* starke Bestände. Untersuchungen zeigen, daß sie die Frühjahrsblüte des Phytoplanktons dominieren kann (Arndt 1990, Rey & Loeng 1985, Samtleben & Bickert 1990). Bei mikroskopischen Untersuchungen an den Sinkstoffen konnte *P. pouchetii* in der 500 m Falle im Zeitraum Mai-Juni (1988-1989) gefunden werden (Bauerfeind et al. 1993).

Bei der bodennahen Falle in 2310 m zeichnet sich ein zusätzlicher Eintrag durch laterale Advektion oder Resuspension für die hier erfaßten Parameter TG und CaCO₃ ab. Insbesondere in den Wintermonaten findet ein deutlicher Anstieg der Sedimentation aller Parameter in der bodennahen Falle statt. Der Anteil des biogenen Materials (CaCO₃+SiO₂+2xPOC) am Gesamttrockengewicht liegt in 500 m und 1000 m Tiefe bei 80 % und in 2310 m nur noch bei 50 %, d.h. die Resuspension scheint zu einem beträchtlichen Anteil aus lithogenem Material zu bestehen.

Der für die Verankerung 1991-1992 bestimmte Alkenonfluß während ausgewählter Fangintervalle liegt im Bereich von 6 ng m⁻² d⁻¹ bis 103 ng m⁻² d⁻¹.

Der Hauptpuls im Juli in 500 m Tiefe läßt sich nicht durch die Wassersäule verfolgen. Dies ist um so erstaunlicher, da der Partikelfluß der Grundparameter deutlich bis in 1000 m Tiefe verfolgt werden kann. Dadurch erscheint es auch unwahrscheinlich, daß das Signal noch in

der Nahrungskette gehalten wird oder sich bedingt durch eine geringere Sinkgeschwindigkeit noch auf dem Weg in tiefere Wasserschichten befindet.

Diese beiden genannten Aspekte sind unter Berücksichtigung des Partikelflusses in der Kurzzeitverankerung OG3a mögliche Prozesse für die hohe Sedimentation der Alkenone im September und Oktober in 1000 und 2310 m.

Im Mai-Juni konnten keine Alkenone in 500 m Tiefe erfaßt werden. Das entsprechende Signal in 1000 m und 2300 m könnte wiederum von dem bereits in tiefere Wasserschichten absedimentierten Material aus den Monaten davor stammen.

Es findet ein beträchtlicher Alkenon-Export in den Wintermonaten Januar-Februar statt. Auch zeigen POC und CaCO₃ in diesem Zeitraum einen Anstieg der Sedimentation an. Es ist nun die Frage zu klären, ob diese Sedimentation aus einer kurzen eisfreien Phase oder von Material unter dem Eis stammt. Der Anstieg der Grundparameter in 1000 m könnte jedoch auch auf einen Grazer-Input schließen.

Bei der Betrachtung aller Flußdaten in der bodennahen Falle in 2310 m Tiefe spielt im Vergleich zum Norwegen Becken die Resuspension in diesem Seegebiet eine geringere Rolle, insbesondere bezogen auf einen zusätzlichen Eintrag von organischer Substanz.

4.2.3. Barents See - Hang (BI2)

Eine zeitlich hochauflösend sammelnde Kurzzeitverankerung am westlichen Barents See-Kontinentalhang mit Sinkstofffallen in 610 m, 1840 m und 1950 m Tiefe bei einer Wassertiefe von 2050 m sollte Hinweise auf den Einfluß von Lateraltransport und Resuspension geben. Der saisonale Verlauf der Sedimentation vom Ende des Winters bis zum Sommer läßt sich in drei Phasen einteilen: Eine Vorblütensituation bis Mitte Mai, ein Einsetzen erhöhter Sedimentation mit einem Maximum Mitte Juni sowie dessen Ausklingen im Juli. Die Ergebnisse zu den Wassersäulen-Daten unterstützen diese Einteilung. Bei der Auslegung der Falle Ende Februar entsprachen die Nährstoff- und Chlorophyllkonzentrationen in der Wassersäule einer Spätwinter- und im Mai einer Blütensituation. Im Juli wurde ein Chlorophyllmaximum im unteren Bereich der euphotischen Zone lokalisiert, was auf eine weit fortgeschrittene Systementwicklung im Pelagial hindeutet.

Die drei beschriebenen Sedimentations-Phasen lassen sich über die gesamte Wassersäule verfolgen. Sie werden jedoch in den bodennahen Fallen, insbesondere in 1950 m von starkem zusätzlichem Eintrag von organischem Material überlagert. Es ist eine deutliche Zunahme des Partikelflusses von 610 m über die Tiefe bis auf 1950 m zu verzeichnen.

Für die Barents See sind von Wassmann et al. (1990) für das Frühjahr große Vorkommen von *Phaeocystis pouchetii* beschrieben. Es konnte auch eine Sedimentation solcher Populationen in der Barents See nachgewiesen werden (Wassmann et al. 1990). Untersuchun-

gen an Fecal Pellet-Material in der Verankerung zeigen, daß Zooplanktonfaeces der Hauptgrazer Appendicularien, Ostracoden und Euphausiaceen. bis zu 30% des sedimentierenden Kohlenstoffes ausmachen (Zeller, Diss. in prep). Auch wird in dieser Arbeit eine Zunahme der Pellets bis in die Falle in 1950 m Tiefe beschrieben.

Bei dem relativ geringen Tiefenunterschied von den Fallen in 1840 m und in 1950 m sind deutliche Unterschiede zu erkennen (siehe Abb. 3.3.-1 & 2). Mehrere Indizien, wie auch Pigmentanalysen (Peeken Diss. in Vorb.) und n-Alkan und Isoprenoid-Verteilungen (Maßen et al. 1993) weisen darauf hin, daß die vertikale Sedimentation organischen Materials in den beiden bodennahen Fallen einer anderen Quelle entstammen. Die Grundparameter zeigen innerhalb der vertikalen Distanz von 110 m noch eine Zunahme von jeweils 89 % TG, 23 % POC, 55 % CaCO_3 und 44 % SiO_2 . Der Anteil des biogenen Materials ($\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 + 2 \times \text{POC}$) am Trockengewicht weist jedoch keine gravierenden Unterschiede in diesen Tiefen auf. Für 1840 m liegt der Anteil noch bei 45 % und für 1950 m bei 34 %. Ein Vergleich zur Falle in 610 m mit einem biogenen Anteil von 98 % am TG, deutet darauf hin, daß in Bodennähe über laterale Advektion und Resuspension größere Mengen lithogenen Materials eingetragen werden.

Bei der Betrachtung der Beziehungen der einzelnen Grundparameter in 1840 m und 1950 m zueinander zeichnet sich vor allen Dingen zwischen der Beziehung von POC und TG in den beiden Tiefen ein anderes Bild ab (Abb. 4.2.3.-1). In 1950 m sind keine Korrelationen zwischen diesen Parametern mehr zu erkennen.

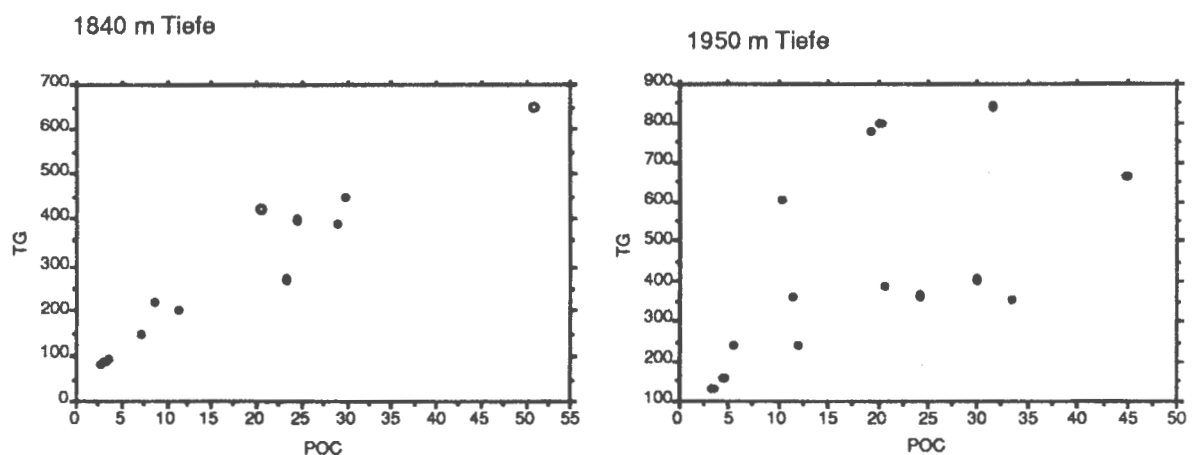


Abbildung 4.2.3.-1: Scattergramm zur Beziehung von POC und TG im Partikelfluß in 100 und 200 m Höhe über Grund an der BI Verankerungsposition am Barents See Kontinentalhang.

Die drei beschriebenen Sedimentationsphasen bei den Grundparametern zeichnen sich andeutungsweise auch für die Sedimentation der Alkenone ab. In der Hauptsedimentationsphase scheinen die Ereignisse in der Falle in 1840 m und 1950 m Tiefe zum Teil ent-

koppelt. In der Falle in 1840 m liegt die Sedimentation im Bereich von $15 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ bis $756 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ mit einer maximalen Sedimentation im Juni von $2314 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Diese stark erhöhten Pulse laufen nicht parallel zu denen der Grundparameter, sondern zeigen einen rapiden Abfall in Phasen erhöhten Flusses von TG, POC, CaCO_3 und SiO_2 . In 1950 m Tiefe verläuft die Gesamtalkenon-Sedimentation im Bereich von $9 - 631 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ parallel zur Saisonalität der Grundparameter in dieser Tiefe. Der Fluß ist nicht so hoch variabel wie in 1840 m Tiefe.

Die unterschiedlichen Signale in den Grundparametern und Gesamtalkenonen in den beiden bodennahen Fallen, sowie deren Kopplung mit einem lithogenen Anteil deuten auf einen möglichen Fluß von "rebound" Partikeln hin (Walsch & Gardener 1993). Bei diesem Prozeß gelangt frisches Material über einen hangabwärts gerichteten Transport in kurzer Zeit in größere Wassertiefen, hebt in einer "Internal Boundary Layer" vom Kontinentalhang ab, wird in die offene See hinaus transportiert und sinkt dort langsam zum Meeresboden.

Die These, daß es sich in den beiden Fallen um völlig unterschiedliches Material handelt, und daß "particle rebound" stattfindet, wird durch die Betrachtung der Verhältnisse der Alkenone (Kap. 4.4.) weiter verstärkt.

4.3. Veränderung der Verhältnisse von $\text{C}_{37:2}$ zu $\text{C}_{37:3}$ im Material aus den Sinkstoffallen

Die in der Literatur beschriebene Theorie besagt, daß die Alkenone $\text{C}_{37:2}$ und $\text{C}_{37:3}$ in Abhängigkeit von der umgebenden Wassertemperatur in einem bestimmten Verhältnis gebildet werden. Diese relative Zusammensetzung von $\text{C}_{37:2}$ zu $\text{C}_{37:3}$ soll trotz eines Gesamtkonzentrationsverlustes über die Wassersäule bis zum Abbild im Sediment unverändert bleiben. Für das Europäische Nordmeer wäre bedingt durch die relativ niedrigen Temperaturen ein Verhältnis von $\text{C}_{37:2}$ zu $\text{C}_{37:3}$ unterhalb von 1 zu erwarten (siehe Grundlagen, Kapitel 1.1.). Anhand der Alkenonbestimmungen an den Sinkstoffen in den betrachteten Seegebieten, sollen die Verhältnisse von $\text{C}_{37:2}$ zu $\text{C}_{37:3}$ aller Verankerungen einzeln und dann zusammenfassend betrachtet werden.

In dem Sinkstoffallenmaterial ist an allen Positionen eine saisonale Gesamtalkenon-Sedimentation mit einer räumlichen und zeitlichen Veränderung des $\text{C}_{37:2}$ zu $\text{C}_{37:3}$ -Verhältnisses zu beobachten.

In der Norwegischen See (Abb. 3.1.-4) liegen die Verhältnisse von $\text{C}_{37:2}$ zu $\text{C}_{37:3}$ im Frühjahr und in der Hauptsedimentationsphase im Oktober für alle drei Tiefen weit unter 1 und im Juli-August weit über 1. Dieses Verhältnis erhöht sich noch auf dem Weg durch die Wassersäule in die Tiefe. Insbesondere in den Phasen höchster Resuspension und mögli-

chen Lateraltransportes in 3000 m Tiefe werden die Konzentrationen beider Alkenonkomponenten stark erhöht.

In der Grönländischen See zeigt sich eine sehr starke Veränderung der Verhältnisse von C_{37:2} zu C_{37:3} über die Tiefe. Zur Zeit der Hauptsedimentation wird ein reines C_{37:3}-Signal im Oberflächenbereich beobachtet, jedoch gelangt dies nicht tiefer als 500 m. Insgesamt steigt der Anteil von C_{37:2} mit der Tiefe stark an. In 2310 m Tiefe besteht der Alkenon-Fluß zu allen Jahreszeiten hauptsächlich aus C_{37:2}. Die Verhältnisse von C_{37:2} zu C_{37:3} bleiben demzufolge weit über dem Wert 1. Auch in diesem Seegebiet muß, gerade in den Wintermonaten, von relativ starken Resuspensionsereignissen ausgegangen werden. In wie weit nun das Alkenon C_{37:3} bei diesen kalten Temperaturen unterhalb der durchmischten Schicht (0-3 °C) zerfällt oder abgebaut wird, kann hier nicht beantwortet werden. Die Struktur des Nahrungsnetzes spielt hier sicherlich eine Rolle und wird in den folgenden Abschnitten diskutiert.

Am Barents See-Hang zeigen sich in den beiden Fallen in 1840 m und 1950 m Tiefe gravierende Unterschiede in den Verhältnissen von C_{37:2} zu C_{37:3}. Die These, daß am Barents See-Hang "particle rebound" in der 1840 m Falle stattfand kann über die C_{37:2}/C_{37:3} Verhältnisse weiter erhärtet werden. Der Partikelfluß in 1840 m Tiefe wird von relativ frischem Material (C/N 9) mit dem für das Seegebiet zu erwartenden Signal für das Verhältnis von C_{37:2} zu C_{37:3} unterhalb von 0,5 dominiert. Nur nach starken Sedimentationspulsen im Juni-Juli steigt das Verhältnis weit über 1. In der Falle in 1950 m hat sich das Bild völlig gewandelt. Nur kurz zu Beginn der Wachstumsphase des Phytoplanktons im April liegt der Wert für C_{37:2} zu C_{37:3} unter 1, ansonsten liegen in dieser Falle die Verhältniss von C_{37:3} zu C_{37:2} bei 2-6 (siehe Abb. 3.3.-4). Insgesamt zeigen die C_{37:2}-Gehalte während der Verankerungsphase einen Anstieg um den Faktor 2,5 und die C_{37:3}-Konzentrationen eine Abnahme um den Faktor 5,6 von 1840 m bis 1950 Tiefe (Tab.3.3.-2). Eine solche starke Veränderung über eine Tiefe von nur 110 m kann durch unterschiedliche Quellen des zusätzlich eingetragenen partikulären Materials erklärt werden. Untersuchungen von Blaume (1992) weisen auf mehrere Schichten erhöhter Partikelkonzentration (Intermediäre Nepheloidschichten, INL) in der Wassersäule am Barents See-Kontinentalhang hin. Über solche INL's könnte Material vom Schelf hangabwärts in die Falle in 1840 m gelangen. Das Signal von C_{37:2} zu C_{37:3} gäbe somit ein ziemlich ungestörtes Bild der Wassersäule auf dem Schelf wieder. Als Bildungsort für die INL käme das in der Nähe beschriebene Hochakkumulationsgebiet in Frage (Blaume 1992, Thomsen 1992). Die Sedimente und die bodennahen Wasserschichten sind dort am gesamten Kontinentalhang mit frischem Chlorophyll versetzt (Thomsen 1992). Eine dieses Gebiet verlassende Nepheloidschicht könnte als INL die lediglich 20 Seemeilen entfernte Verankerungsposition erreichen.

Der Partikelfluß in 1950 m wäre demgegenüber durch eine bodennahe Nepheloidschicht geprägt, wodurch die vertikalen Signale aus der Deckschicht durch zusätzlichen Eintrag von relativ gealtertem Material maskiert werden. Blaume (1992) beschreibt die Mächtigkeit der BNL im Sommer auf dieser Station mit ~150 m, was bestätigt, daß nur der Partikelfluß in der tiefsten Falle von der BNL beeinflusst wird (Abb.4.3.-1).

Zusammenfassend für alle Seegebiete läßt sich sagen, daß sich Signale aus 500 m nicht bis in größere Tiefen abbilden. Nur zu den Hauptsedimentationsereignissen kann von einer relativ geringen Veränderung des Verhältnisses von C_{37:2} zu C_{37:3} im Alkenonfluß gesprochen werden.

BARENTS-SEE KONTINENTALHANG

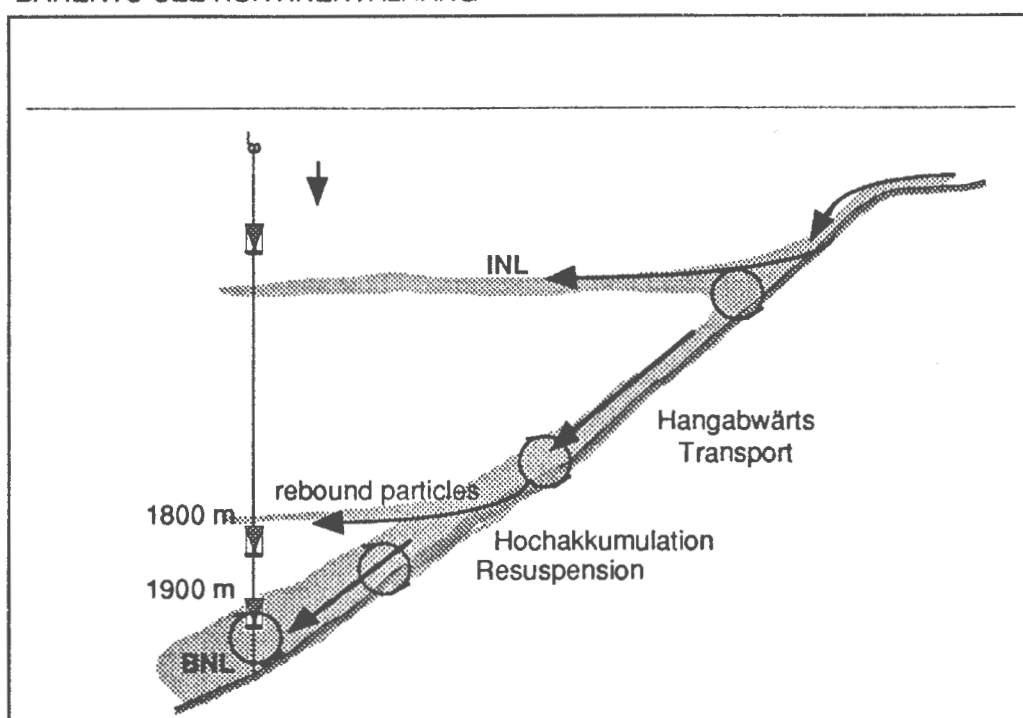


Abbildung 4.3.-1: Schematische Darstellung der möglichen Prozesse am Barents See-Kontinentalhang.

Werden nun trotz regionaler und saisonaler Unterschiede die Daten aller Verankerungen gemeinsam betrachtet, zeigt sich eine deutliche Verschiebung der Verhältnisse von C_{37:2} zu C_{37:3} zu Werten weit über 1 im bodennahen Bereich. Verdeutlicht wird dies durch den Vergleich der Medianwerte für alle Messungen in den jeweiligen Fallentiefen (Abb. 4.3.-2).

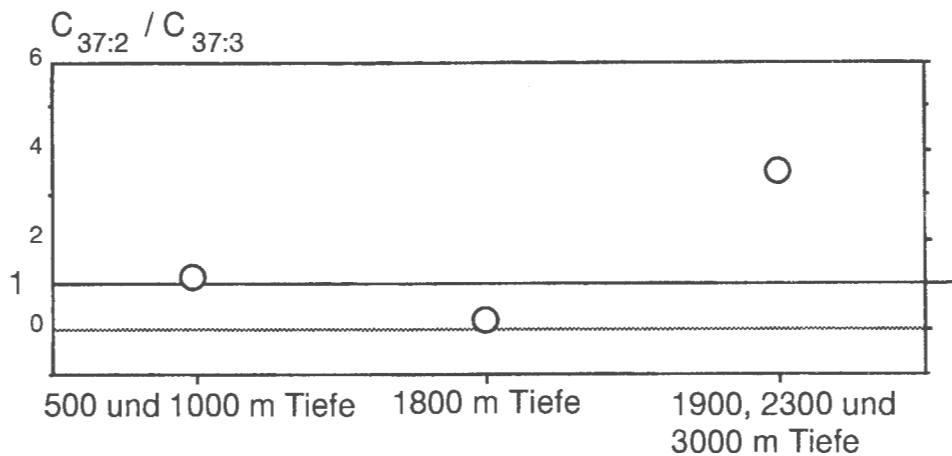


Abbildung 4.3.-2: Darstellung der Medianwerte von allen $C_{37:2}/C_{37:3}$ Verhältnissen der drei beschriebenen Verankerungen (NB6, OG4 und BI2).

Eine Ausnahme bilden die bodennahen Verhältnisse in 1840 m Tiefe. Über den Prozess des "rebound" erreicht frisches Material vom Schelf mit einem wenig veränderten Verhältnis die Tiefe. In Bereichen erhöhter Resuspension gelangt hauptsächlich $C_{37:2}$ über die partikuläre Substanz in die Sinkstofffallen.

4.4. Modifikation des Alkenon-Signales in der Wassersäule bis zum Abbild im Sediment

In diesem Abschnitt wird die durch Filtration gewonnene suspendierte organische Substanz näher betrachtet werden. Suspendierte Partikel besitzen eine zu vernachlässigende Sinkgeschwindigkeit und stellen den Hauptpool der organischen Partikel im Ozean dar (McCave 1975). Neuere Untersuchungen lassen auf eine dynamische Wechselwirkung zwischen dem suspendierten und dem sedimentierenden Kompartiment schließen (Alldredge & Gottschalk 1988). Es werden überraschend viele labile Lipidverbindungen im suspendierten Pool gefunden (de Baar et al. 1983, Ittekott et al 1984, Wakeham & Canuell 1988). Auch weisen ^{15}N - und Radioisotopenmessungen auf einen Zusammenhang zwischen sinkenden und schwebenden Partikeln hin (Bacon et al. 1985, Voß 1991b). Die ^{15}N -Verteilungen lassen mindestens auf einen einmaligen Austausch des vertikalen Signales pro Jahr schließen (Voß 1991b). Dem steht die Annahme von Druffel und Williams (1990) gegenüber, die Verweilzeiten für suspendierte Partikel von 10 Jahren annehmen.

Im Vordergrund soll bei den Filtrationsproben das Verhältnis von $C_{37:2}$ zu $C_{37:3}$ und seine Veränderung über den Weg durch die Wassersäule stehen.

Im Norwegen Becken auf der St. 319 (07.07.92), südwestlich von der Verankerung, beträgt das Verhältnis von C_{37:2} zu C_{37:3} in 10 m Wassertiefe 1,3 (siehe Abb. 3.1.-3). Der Wert für das Sediment (0-1 cm) an der Station 366 (20.07.1991), 20 Seemeilen von der Wassersäulenstation entfernt, liegt bei 1,1. Entspricht dies nun einem rein vertikal eingetragenen Signal aus diesem Seegebiet, muß von einer leichten Anreicherung von C_{37:3} bis zum Abbild im Sediment gesprochen werden. Auch im Fallenmaterial (NB6) konnte in der Hauptsedimentationsphase (Oktober-November) im sinkenden Pool eine Anreicherung von C_{37:3} mit der Tiefe aufgezeigt werden. In diesem Probenintervall liegt der Wert für das Verhältnis von C_{37:2} zu C_{37:3} in 500 m bei 1,3 und in 3000 m bei 0,4.

In der Grönländischen See konnte der suspendierte Pool auf der St.552, südöstlich von der Verankerung, in zwei Tiefen innerhalb der euphotischen Zone auf Alkenone analysiert werden. Die Verhältnisse der beiden Alkenone wechseln von 0 m auf 20 m von 1,3 auf 3,2 (siehe Abb. 3.2.-3). Diese deutliche Umkehr der Verhältnisse, gekoppelt mit einem Anstieg der Gesamtkonzentration der Alkenone in diesem kurzen Tiefenabstand, läßt sich zum einen mit einer physiologischen Änderung innerhalb einer Population von Coccolithophoriden erklären. Eine mögliche Schichtung durch Schmelzwasser kann dabei eine Rolle spielen. Zum anderen kann das Auftreten eines anderen Prymnesiophyceae-Vertreterers wie *Phaeocystis* das Signal beeinflussen.

Der Wassersäulenwert von 1,3 in 0 m entspricht ungefähr dem Wert in der Sinkstoffalle in 500 m im Juli, kurz vor der Hauptsedimentationsphase. Trotz eines Gesamtalkenon-Fluß von $30 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ im Bereich der bodennahen Falle konnten keine Alkenone im Sediment nachgewiesen werden. Die Sedimente in diesem Seegebiet zeigen auch bei Untersuchungen an hartschaligen Organismen deren starke Abnahme im bodennahen Bereich (A.Kohly, A.Schröder, SFB 313, pers. Mitteilung). Die Frage muß offen bleiben, ob dies durch einen Lösungsvorgang oder einen Wegtransport durch die dort herrschenden starken Strömungen erklärt werden kann.

An der Verankerung am Barents See-Hang konnten Bestimmungen an Wasserproben einer Station auf den Schelf und am Hang durchgeführt werden. Auf dem Schelf veränderte sich das Verhältnis von C_{37:2} zu C_{37:3} an der Oberfläche von 0,3 auf 4,4 im Standingstock in 10 m Wassertiefe (siehe Abb. 3.3.-3). In 0 m Tiefe liegt das Maximum der *E. huxleyi*-Zell-dichte, und in 10 m sind es noch 60 % (C.Samtleben, SFB 313, pers. Mitteilung). Die Station am 30 Seemeilen entfernten Hang zeigt ein Verhältnis von C_{37:2} zu C_{37:3} von 1,8 in 25 m Wassertiefe. Der Wert von 1,8 weicht von denen in der bodennahen Falle in 1950 m ab. Der Sedimentwert im nahegelegenden Hochakkumulationsgebiet weist ein Verhältnis von 1,4 auf. Dieses Verhältnis von C_{37:2} zu C_{37:3} gleicht nun wiederum eher den gefundenen Werten in der Norwegischen See. Das Verhältnis von C_{37:2} zu C_{37:3} an der Oberfläche auf dem Schelf liegt im Bereich der Verhältnisse für die 1840 m Falle, was wieder die These von "particle rebound"-Transport bestätigt.

Der aus mehreren Stationen zusammengestellte Schnitt südlich von Island soll nur die große Schwankungsbreite der Verhältnisse von $C_{37:2}$ zu $C_{37:3}$ bei ähnlichen Wassertemperaturen aufzeigen (siehe Abb. 3.5.-1). Auf diese Problematik wird im Kapitel 4.8. nochmals ausführlich eingegangen.

Durch den Einsatz von in-situ Pumpen konnte der suspendierte Pool auch in großen Tiefen analysiert werden. Auf der Station 221 (21.05.92), südlich von Island, wurde die Wassersäule bis 880 m über Grund beprobt (Abb. 3.5.-3). Das Verhältnis von $C_{37:2}$ zu $C_{37:3}$ veränderte sich von 3,1 in 100 m bis 3,7 in 500 m Tiefe. Dies entspricht einer relativ geringen Schwankung im Vergleich zu den vorher beschriebenen Ergebnissen aus der euphotischen Zone. In 2000 m Tiefe zeigte nun $C_{37:2}$ im Vergleich zu $C_{37:3}$ eine stärkere Abnahme, was zu einem Verhältnis von 1,7 führt. Es stellt sich jetzt die Frage, inwiefern sich $C_{37:3}$ über die Zeit in der Masse der schwebenden Partikel in der mesopelagischen Zone anreichert und in welcher Wechselwirkung dies zum sinkenden Pool geschieht.

Es konnten auch in den gemäßigten Breiten Wassersäuledaten erhoben werden. Durch einen Einsatz der in-situ Pumpen im Haupt-JGOFS-Gebiet wurde auch eine Variation der einzelnen Alkenongehalte in südlicheren Seegebieten festgehalten (Station 221, 06.07.92). In einer Wassertiefe von 50 m und 60 m ergab sich ein Verhältnis von $C_{37:2}$ zu $C_{37:3}$ von 0,3 bzw. 0,7 (siehe Abb.3.5.-2). Dies bedeutet wiederum eine Zunahme von $C_{37:2}$, gekoppelt mit einer Abnahme von $C_{37:3}$ mit der Tiefe in der euphotischen Zone.

Eine Erklärung für die großen Unterschiede der Gehalte von $C_{37:2}$ und $C_{37:3}$ in den relativ kleinen Abständen der Tiefenhorizonte in der euphotischen Zone könnte der physiologische Zustand des Phytoplanktons bieten. Bei einer Verschlechterung der Bedingungen für die Population wird nicht mehr soviel Energie für die Bildung der Alkenone aufgewendet. Es kann auch der Prozess der Exsudation und damit gekoppelt eine erhöhte bakterielle Aktivität stattfinden (Hassan 1991, Humborg 1991). Nur im Maximum der Population auf dem Barents-See-Schelf zeigt sich eine Übereinstimmung mit der Theorie einer Korrelation der Temperatur mit den Alkenongehalten (siehe Kapitel 4.8.) Dies unterstützt die Annahme, daß mehrere Faktoren die Bildung des Signals in der Zelle beeinflussen.

Zusammenfassend aus diesen Ergebnissen ergibt sich eine Abreicherung des $C_{37:3}$ in der euphotischen Zone mit der Tiefe. Unterhalb der jährlichen Durchmischungstiefe, d.h. in der Zone, wo die feinen, suspendierten Partikel dominieren, kommt es zu einer Anreicherung des Alkenones $C_{37:3}$.

4.5. Beeinflussung des Alkenonsignals durch die Aktivität herbivorer Organismen

Der Transport von organischer Substanz über Faezes wird in der Literatur unterschiedlich gewichtet. Bei Bishop et al. (1977), Turner & Ferrante (1979) und Urrere & Knauer (1981) spielt der Vertikaltransport über Fecal Pellets eine große Rolle, wohingegen PilskaIn & Honjo (1987) kaum nennenswerten Fluß über Pellets vorfanden. Bei den Aussagen über die Anteile des Pelletflusses am Gesamtfluß spielen die regionalen Unterschiede und damit gekoppelt die Struktur und zeitliche Abfolge des Nahrungsnetzgefüges eine entscheidende Rolle (Bathmann et al. 1990a, v. Bodungen 1989, Peinert et al. 1987).

Die Verfolgung von Biomarkern durch das Nahrungsnetz, bzw. die Erfassung ihrer Veränderung durch Grazer ist überwiegend für Fettsäuren und Sterole in der Literatur beschrieben (Bradshaw et al. 1991, Currie & Johns 1988, Reemtsma et al. 1990). Freßexperimente mit Grazern aus unterschiedlichen Trophiestufen zeigen, daß bevorzugt die mehrfach ungesättigten Fettsäuren der Nahrung entzogen werden, während verzweigte Komponenten über Faeces ausgeschieden werden. Bei Coprophagie (Noji et al. 1991b) werden weitere verzweigte Fettsäuren gebildet und der Anteil der tierischen Sterole steigt. Das Sterol Cholest-5-enol ist ein Marker für Fecal Pellet Material (Prahl et al. 1984b.). Die Umwandlung von Phytol zu Dihydrophytol wird auch dem Weg über das Nahrungsnetz, insbesondere durch Grazing der Copepoden zugeschrieben (Prahl et al. 1984a.). Bei mikrobiellem Abbau erhöht sich auch der Anteil der ungeraden, verzweigten Fettsäuren. Der Gehalt an Algen-Sterolen bleibt bei Alterungsexperimenten relativ konstant (Harvey et al. 1991).

Unter der Voraussetzung, daß Coccolithophoriden die Hauptträger der Alkenone sind, werden mögliche Transportmechanismen für diese in die Tiefe diskutiert. In der Literatur ist die Sedimentation von Coccolithophoriden in Form von Aggregaten beschrieben (Cadee´1985, Riebesell et al. 1991). Auch in der Grönländischen See konnte Aggregatbildung beobachtet werden (Antia et al. 1991). Es wird aber davon ausgegangen, daß die Coccolithophoriden über Pellets, d.h. über den Weg der Nahrungskette, größere Tiefen erreichen (Honjo 1976, Roth et al. 1975, Samtleben & Bickert 1990, Turner & Ferrante 1979).

REM Untersuchungen an Fecal Pellets aus dem Sinkstoffalen-Material vom Barents See-Hang zeigen, daß die Nahrung der Hauptgrazer in diesem Seegebiet zum Teil aus *Coccolithus pelagicus* und *Emiliana huxleyi* besteht (I. Peeken, U. Zeller, SFB 313, pers. Mitteilung). Dies führte zu der im folgenden näher beschriebenen Bestimmung des Alkenonfluß über Fecal Pellets, eingegliedert in umfangreiche Untersuchungen der Pigmente (Peeken, Diss. in Vorb.) und der Sekundärproduktion (Zeller, Diss in Vorb.) in der Barents See. Die Hauptgrazer des Zooplanktons im Zeitraum der Verankerung sind Appendicularien, Euphausiaceen, Ostracoden und Copepoden. Die letzteren waren relativ häufig,

jedoch reichten die Pellets in den Sinkstoffallen nicht für eine umfangreiche Analyse aus. Die Frage muß offen bleiben, ob hier Prozesse wie Coprophagie eine größere Rolle spielen.

Bestimmungen der Alkenone, die über Fecal Pellets sedimentieren, wurden in der Phase II und Phase III an ausgewählten Fangintervallen durchgeführt (Abb. 3.3.-5).

In der Phase II, Ende Juni, betrug der Alkenonfluß über die Pellets in 610 m $91 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. In 1840 m macht der Fluß $30 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ und damit 10 % der Gesamtalkenon-Sedimentation der Sinkstoffalle in diesem Fangintervall aus. In der tiefsten Falle steigt die Konzentration auf $111 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ und beträgt 18 % des Gesamtalkenon-Flusses. Der Hauptanteil der Pelletsedimentation in diesem Zeitintervall geschieht über die Pellets von Appendicularien. Pellets von Ostracoden machen erst in großer Tiefe einen Teil des Flusses aus. Die Alkenongehalte der Euphausiaceen-Pellets zeigen eine Abnahme mit der Tiefe. Der deutliche Anstieg der Ostracodenanteile in der Tiefe wird hauptsächlich der schon beschriebenen Resuspension und insbesondere dem Lateraltransport an dieser Verankerungsposition zugeschrieben.

In der Phase III, Mitte Juli, liegt der Pelletfluß niedriger. Dies wird durch Angaben über den Fecal-Pellet Gesamtkohlenstoff bestätigt (Zeller, Diss. in Vorb.). In 610 m liegt der Alkenonfluß über Pellets bei $455 \text{ ng m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, in 1840 m beträgt die Alkenonsedimentation 4 % und in 1950 m 22 % des Gesamtalkenon-Flusses des Fangintervalles. In diesem Zeitintervall spielt der Alkenonfluß über die Ostracoden- und Euphausiaceenpellets bereits in 610 m eine größere Rolle. Dies deutet auf eine Verschiebung der Grazerverteilung im Pelagial hin. Zählungen bestätigen in diesem Zeitraum ein verstärktes Vorkommen von Euphausiaceen Pellets in 610 m Tiefe. Die erhöhten Alkenonkonzentrationen der Appendicularien und Ostracoden in den tiefen Fallen lassen wie in der Phase II auf starken lateralen Transport und Resuspension schließen.

Die relative Zusammensetzung der Alkenone in den Pellets verändert sich stark in den drei Fallentiefen. Für alle Grazer steigt der Anteil von C_{37:3} deutlich mit der Tiefe an, mit einem fast völligen Verlust von C_{37:2}. In der Phase III Mitte Juli macht der C_{37:3} Fluß in der Falle in 1950 m über die Pellets einen Anteil von 78 % des gesamten C_{37:3}-Flusses im Fallmaterial aus.

Im Gegensatz zu den Sinkstoffallen-Ergebnissen reichert sich die labilere Verbindung C_{37:3} in den Fecal Pellets an. Dafür gibt es mehrere Möglichkeiten:

1. Für die Signale in den Fecal Pellets könnte die vertikale Verteilung der Grazer und damit die zu Verfügung stehende Nahrung eine Rolle spielen.
2. Selektiver Abbau durch mikrobielle Aktivität im Pellet oder bevorzugte Aufnahme des C_{37:2} in den eigenen Stoffhaushalt durch den Grazer und dadurch erhöhte Abgabe von C_{37:3} in den Pellets.

Die Lebensräume der beschriebenen Grazer unterscheiden sich überwiegend in ihrer Tiefenverteilung. Generell zeigen die Appendicularien ein Vorkommen bis in eine Tiefe von

400 m mit einer maximalen Abundanz in 200 m. Dagegen führen Ostracoden und Euphausiaceen Vertikalwanderungen bis generell 900 m durch, können jedoch auch Bestandteil der benthopelagischen Faunen sein (Angel 1990).

Alle drei Grazer ernähren sich durch Filtrieren. Appendicularien pumpen Wasser durch ihr Filtersystem und reichern dadurch die Nahrung im Gehäuseinneren an (Flood 1991). Die Partikel liegen in der Größenklasse um 6 μm (Alldrege 1981), wobei in letzter Zeit insbesondere die Fähigkeit der Appendicularien, Partikel wesentlich kleiner als 6 μm und sogar aus dem DOC-Pool als Nahrungsgrundlage zu nutzen, diskutiert wird (Flood et al. 1992). Ostracoden und insbesondere Euphausiaceen können aktiv Partikel zerkleinern und dadurch umfaßt die Nahrung ein wesentlich breiteres Größenspektrum.

Im Folgenden wird insbesondere auf die möglichen Lebensräume für eine Erklärung der unterschiedlichen Signale in den Pellets zurückgegriffen. Eine Voraussetzung ist die in Kapitel 4.4. angesprochene Tiefenverteilung der einzelnen Alkenonkomponenten. Als Quelle für die starken C_{37:3}-Signale in den Fecal Pellets in den bodennahen Fallen wird folgende Möglichkeit in Betracht gezogen. Am plausibelsten scheint, daß die Fecal Pellets von den Euphausiaceen und Ostracoden innerhalb der Bodennepheloidschicht oder im Mesopelagial gebildet worden sind, d.h. daß diese Organismen hauptsächlich den suspendierten Pool mit dem darin angereicherten C_{37:3} als Nahrungsquelle nutzen (vergl. 4.3.). Auch für die nur innerhalb von 400 m Tiefe vorkommenden Appendicularien kann durch die bevorzugte Aufnahme kleiner Nahrungspartikel diese Überlegung eine Erklärung für die gefundenen Signale in den Pellets bieten (Abb. 4.5.-1).

Zusätzlich muß der Aspekt der mikrobiellen Aktivität in Betracht gezogen werden. Zum einem kann die Membran der Pellets vor mikrobiellen Abbau durch freilebende Bakterien über die Wassersäule schützen (Voß 1991a). Auf der anderen Seite ist noch nicht geklärt, inwieweit innerhalb des Pellets auch bakterielle Aktivität stattfindet. Es müßte jedoch auf alle Fälle die in der Literatur beschriebene bevorzugte Aufnahme der höher ungesättigten Verbindungen aus der Nahrung stattfinden. Es bleibt nun die Frage offen, ob die Grazer bevorzugt C_{37:2} ihrer Nahrung entnehmen, im eigenen Stoffhaushalt benutzen und C_{37:3} mit dem Pellet abgeben oder, was wesentlich plausibler erscheint, selektiv das C_{37:3} mit der Nahrung aufnehmen und im Pellet konservieren.

Eine Erklärung für den Einfluß der Grazer auf das Biomarker-Signal der Alkenone mag in der Kombination dieser genannten Überlegungen liegen. Zusammenfassend bedeutet dies jedoch, daß der Hauptanteil des C_{37:3}-Gesamtflusses in diesem Seegebiet über Fecal Pellets des Mesozooplanktons in die Tiefe gelangt.

4.6. Modifikation des Alkenon-Signales im Abbauersuch

An der Kurzzeitverankerung (OG3a) vom 21.08.90-01.09.90 in der Ostgrönländischen See wurde ein Abbauersuch an fixierten Sinkstoffallenmaterial für die Parametern TG, CaCO₃, SiO₂, Pigmente und Alkenone durchgeführt. Die für die Jahresverankerung (OG4) beschriebenen Resuspensionsereignisse spielen während des Zeitraumes der Kurzzeitverankerung eine untergeordnete Rolle. Wird die gesamte Sedimentation nun in Beziehung zur Jahresverankerung (OG4) im folgenden Jahr (07.09.90-17.09.91) gebracht, ergibt sich ein relativ hoher Anteil partikulärer Substanzen, der in diesen Tagen sedimentiert; für TG 27 %, POC 11 %, CaCO₃ 65 % und SiO₂ 23 % des Jahresflusses.

Der Abbauersuch wurde in Anlehnung an ein Experiment an der Kurzzeitverankerung (OG2a) von 1989 durchgeführt (Bodungen et al. 1991a). Damals zeigten sich insbesondere für die flache Falle in 100 m, innerhalb der ersten 4 und 8 Wochen nach der Bergung der Falle, die größten Verluste an POC und PON. Das POC nahm in den folgenden 6 Monaten weiter ab, nur der PON-Gehalt schien nach Ablauf der ersten 2 Monate des Experimentes relativ konstant geblieben zu sein .

Entsprechend zeigt sich in dem hier beschriebenen Versuch in den Fallen bis 500 m ein starker Abbau für TG und CaCO₃ innerhalb der ersten 4 Wochen. In den unteren Fallen setzt erst wesentlich später ein Abbau ein. In 125 m ist der Verlust von TG durch den Abbau von CaCO₃ erklärbar. In 500 m jedoch beträgt der Anteil des CaCO₃ am TG zu Beginn noch 60 % und 5 Monate später noch 30 %. Eine Erklärung für den zusätzlichen Verlust des Trockengewichtes kann das bei Antia et al. (1993) beschriebene Vorkommen von Acantharienzysten sein. Diese heterotrophen Organismen zeigen bedingt durch ihre Strontiumschale eine sehr starkes Auflösungsverhalten.

Der ph-Wert lag über die Dauer des Versuches über alle Tiefen betrachtet zwischen 7.97-7.76. Die Schwankungen waren in 125 m und 500 m am geringsten, sodaß nicht davon ausgegangen wird, daß der ph-Wert für diese massive Lösung des CaCO₃ ausreicht. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, daß sich ein ph- Gradient im eigentlichem Fallenmaterial aufgebaut hat und so eine CaCO₃-Lösung induzierte.

Analysen für die Alkenone wurden in 500 m und 2000 m über eine Beprobungsintervall von 3 Monaten durchgeführt. Die Ergebnisse deuten darauf hin, daß in der oberen Falle ein Verlust von C_{37:3} und in der Tiefe von C_{37:2} stattfindet. Die Frage, ob die Alkenone in Lösung gehen oder abgebaut werden bzw. zerfallen, kann hier nicht beantwortet werden. Hinweise gibt die Untersuchung an Fettsäuren (Körtzinger et al. 1993) im partikulären und gelösten Kompartiment in den Töpfen der Sinkstoffallen. Hier wurde entgegen der Erwartung ein wesentlich größeres Lösungsverhalten der gesättigten Fettsäuren im Vergleich zu

den labileren ungesättigten festgehalten. Dies läßt für die Alkenone eher auf einen Abbau und nicht auf einen Lösungsvorgang schließen.

Die Anwendung dieser Beobachtungen auf die Jahresverankerungen ist kaum möglich. Diese Vorgänge können Hinweise auf Zerfall und Alterung geben, jedoch sind die Ergebnisse sehr fallenspezifisch. Die Ausgangskonzentration und die Zusammensetzung des Materiales in den jeweiligen Tiefenhorizonten spielt eine ausschlaggebende Rolle. Würden sich die gefundenen Ergebnisse direkt auf die Verankerungen übertragen lassen, wäre in der zeitlich direkt an die Kurzzeitverankerung OG3a (Mitte August bis September) anschließenden Jahresverankerung OG4 (September) kein Alkenonfluß mehr nachzuweisen gewesen. Auch die gefundenen Verhältnisse von C₃₇:2 zu C₃₇:3 sprechen dagegen. Inwiefern hier auch regionale Unterschiede eine Rolle spielen, muß durch weitere Untersuchungen festgestellt werden.

4.7. Bildung des Alkenonsignales in Kulturversuchen

In Anlehnung an die von Prahl & Wakeham (1987) und Prahl et al. (1988) beschriebenen Hälterungsversuche und der daraus abgeleiteten Temperatureichung der Verhältnisse der Alkenone (C₃₇:2, C₃₇:3 und C₃₇:4) wurden Hälterungen von *E. huxleyi* bei verschiedenen Temperaturen (1 °C, 6 °C und 25 °C) durchgeführt. Bei den Kulturen 6 °C und 25 °C konnten nötige Zelldichten für Analysen erreicht werden. Die Messungen zeigen nicht die erwarteten Ergebnisse. Es ist nicht möglich, die Alkenone trotz Anwendung der multidimensionalen Gaschromatographie von störenden Substanzen zu trennen. Im Retentionsbereich von C₃₇:2 und C₃₇:3 gibt es ein Gemisch von Verbindungen mit einem ähnlichen chemischen Verhalten. Unterschiede in der Alkenonkonzentrationen bei verschiedenen Temperaturen konnten somit nicht ermittelt und die aus der Literatur beschriebene Eichung nicht nachvollzogen werden.

Aus der Literatur (Prahl et al. 1988) wird der Alkenon-Anteil an der Corg-Biomasse von *E. huxleyi* mit 8 % angegeben. Anhand der ermittelten Alkenongehalte und den Ergebnissen zu den Coccolithophoriden-Zählungen (Samtleben & Schröder 1992 und Arbeitsgruppe C. Samtleben, K.-H. Baumann, A. Schroeder, SFB 313, pers. Mitteilung) an den beschriebenen Wassersäulenstationen konnte die Alkenonkonzentration pro Coccolithophoridenzelle der in-situ Population berechnet werden. Die dadurch ermittelten Alkenon-Gehalte pro Zelle unterliegen einer Schwankung von 0,01-0,07 pg Alkenone. Die Station 499 auf dem Barents See-Schelf zeigt über der Wassersäule relativ konstante Alkenon-Konzentrationen pro Zelle und soll hier als Richtwert genutzt werden. An dieser Station 499 beträgt der Anteil von *E. huxleyi* an der Gesamtzahl der Coccolithophoriden in der Probe über 90 %

(C. Samtleben, SFB 313, pers. Mitteilung). Es ergibt sich ein Wert von 0,05 pg Alkenone pro Zelle.

Zur Bestimmung des organischen Kohlenstoffes einer *E. huxleyi*-Zelle wird die Formel für ein kugeliges Plasmavolumen (Edler 1979) und der Umrechnungsfaktor 0,11 x Plasmavolumen (Strathmann 1967) verwendet. Daraus ergibt sich ein Corg-Gehalt von 14,1 pgC und ein Anteil des Alkenon-Gehaltes an der Biomasse einer in-situ *E. huxleyi*-Zelle von 3 %. Im Vergleich zu den 5-10 % in Prahl et al. 1988 und 1989b, scheinen die Alkenonkonzentration bei in-situ Populationen in kalten Gewässern wesentlich geringer zu sein.

Es wurden zusätzlich verschiedene Arten der Prymnesiophyceae auf die Alkenone C_{37:2} und C_{37:3} hin untersucht. Zum Teil konnten die Literaturangaben (Marlowe et al. 1990) bestätigt werden. Die Arten der Isochrysidales enthalten mit ziemlicher Sicherheit beide Alkenone. Bei Vertretern der Prymensiales und Pavlovaales müßte dies durch weitere Untersuchungen noch bestätigt werden.

Besonderes Interesse galt den *Phaeocystis*-Arten. Hier konnten bei *Phaeocystis globosa* keine Alkenone bestimmt werden, jedoch bei der verwandten *Phaeocystis pouchetii* wurde C_{37:2} und C_{37:3} nachgewiesen. Bei zukünftigen Untersuchungen müßte diesem Hinweis weiter nachgegangen werden. Gerade für das Europäische Nordmeer wäre diese Information von großer Bedeutung, da *Phaeocystis* in den beschriebenen Seegebieten hohe Zellzahlen erreichen kann (Arndt 1990) und als typische Art im Frühjahr an den Eiskantenblüten auftritt (Gradinger 1990). An den beschriebenen Verankerungspositionen tritt auch die Coccolithophoride *Coccolithus pelagicus* vermehrt auf (Samtleben & Schroeder 1992). Diese schalentragende Prymnisophyceae enthält nach Marlowe et al. (1990) keine Alkenone, d.h. die gefundenen Signale im Nordmeer müßten hauptsächlich von *E.huxleyii* und vielleicht von *Phaeocystis pouchetii* stammen.

4.8. Alkenon-Untersättigungsindex (U^k₃₇) für vergleichende Temperaturbeurteilungen

Wie schon zu Beginn dieser Arbeit beschrieben, hat in den letzten Jahren der Alkenon-Untersättigungsindex (U^k₃₇) als Methode zur Rekonstruktion von Paläotemperaturen manigfaltige Anwendung gefunden (McCaffrey et al. 1990, Farrington et al. 1988, ten Haven & Kroon 1991). Nach Ergebnissen zu Hälterungsversuchen mit *Emiliania huxleyi* (Prahl et al. 1988, Prahl & Wakeham 1987) ist der U^k₃₇ je nach herrschender Wassertemperatur für die langkettigen, ungesättigten Ketone anders definiert (Prahl et al. 1988):

$$(U^{k_{37}}) = (37:2 - 37:4) / (37:2 + 37:3 + 37:4); \text{ für } T < 15 \text{ °C}$$

$$(U^{k_{37}}) = (37:2) / (37:2 + 37:3); \text{ für } T = 8 \text{ °C} - 25 \text{ °C}$$

Für die Berechnungen ergibt sich (für 8 °C ($U^{k_{37}}$)-Werte um 0,3 und für 25 °C ($U^{k_{37}}$)-Werte um 0,86) eine Genauigkeit von +/- 0,4 °C. Die Umrechnung auf absolute Temperaturen erfolgt über die Formel:

$$(U^{k_{37}}) = 0,034T \times 0,039; (r^2 = 0,994)$$

Desweiteren besagt die Theorie, daß das Verhältnis der Alkenone mit den Kettenlängen 37 und 38 (K_{37} / K_{38}) und das Verhältnis der $C_{36:2}$ Ethylester zur Gesamtmenge der C_{37} Alkenone (EE/K_{37}) Hinweise für mögliche diagenetische Überprägungen geben (Prah et al. 1988). Insbesondere bei Schwefelverbindungen im Sediment, können sich leichte Verschiebungen des $U^{k_{37}}$ und damit etwas erhöhte Bildungstemperaturen ergeben (Sinninghe Damste et al 1989).

Anhand von Beispielen soll nunmehr kurz auf einige Schwierigkeiten beim Transfer der Verhältnisse von $C_{37:2}$ zu $C_{37:3}$ von in-situ Populationen aus dem Nordmeer auf die Anwendbarkeit des $U^{k_{37}}$ hingewiesen werden. Im Folgenden werden vergleichend für alle Verankerungspositionen die $U^{k_{37}}$ -Werte dargestellt. Bei den durchgeführten Berechnungen muß berücksichtigt werden, daß sich zum Teil die Jahreszeiten der Wassersäule und Sedimente unterscheiden. Auch der $U^{k_{37}}$ -Wert für die Verankerungen entspricht einem Mischsignal der Saisonalität.

Die bestehende Theorie der Unveränderlichkeit des Verhältnisses von $C_{37:2}$ zu $C_{37:3}$ konnte für das Europäische Nordmeer nicht bestätigt werden. Zum einen durch die Variabilität der einzelnen Alkenone in der Saisonalität, zum anderen zeigten sich bei der Betrachtung der Wassersäulenpopulationen und des Mischsignales der Verankerungen starke Abweichungen. Es scheint nicht möglich, die in der Literatur erhobenen Daten aus südlichen und gemäßigten Breiten mit den in dieser Arbeit beschriebenen Ergebnissen zu vergleichen. Eine genaue Betrachtung der Prozesse in der Wassersäule und Sedimentgrenzschicht würden sicherlich noch weitere Hinweise für die Veränderung des Verhältnisses von $C_{37:2}$ zu $C_{37:3}$ über die Zeit erbringen. Eine bessere Erfassung der möglichen spezifischen Alkenongehalte einzelner Arten der Prymnesiophyceen ist hierfür sicherlich eine richtige Basis.

Tabelle 4.8.-1: $U^{K_{37}}$ -Werte und Transfer auf Bildungstemperatur von Wassersäulen-, Sinkstoffallen- und Sedimentproben verschiedener Stationen im Europäischem Nordmeer. Die Fallendaten sind aus einem Mittelwert für die gesamte Verankerungszeit berechnet. Für NB6 und OG4 bedeutet dies einen Mittelwert aus vereinzelt Fangintervallen. Es wurde die Transferformel für den Temperaturbereich 8 °C bis 25 °C verwendet. Die in Klammern angegebenen Werte entsprechen der möglichen Temperatur im Oberflächenwassers während der Wachstumszeit der Prymnesiophyceen.

Probe	Position	$U^{K_{37}}$	°C berechnet	°C in-situ
NB6				
Wasser 10 m	67°14'N/02°56'O	0,565	15,5	9,0
Falle 500 m	69°41'N/00°28'O	0,527	14,3	(6 bis 12)
Falle 1000 m		0,500	13,6	
Falle 3000 m		0,609	16,8	
Sediment 0-1 cm	67°44'N/05°55'O	0,531	14,5	
OG4				
Wasser 0 m	71°38'N/08°27'W	0,564	15,5	4,4
Wasser 20 m		0,760	21,2	5,4
Falle 500 m	72°23'N/07°42'W	0,168	3,8	(-1 bis 5)
Falle 1000 m		0,806	22,6	
Falle 2310 m		0,888	25,0	
BI				
Wasser 2 m Schelf	75°00'N/27°60'O	0,238	5,9	6,1
Wasser 10 m Schelf		0,842	23,6	5,5
Wasser 25 m Hang	75°21'N/13°38'O	0,642	17,7	8,2
Falle 1840 m	75°12'N/12°29'O	0,212	5,1	(3 bis 8)
Falle 1950 m		0,786	22,0	
Sediment 0-1 cm	74°58'N/14°45'O	0,576	15,8	

4.9. Biomarkereigenschaften der Alkenone C_{37:2} und C_{37:3} für die Betrachtung pelagischer Prozesse

Die organische Substanz anhand der für Prymnesiophyceen typischen Alkenone C_{37:2} und C_{37:3}. von der Bildung in der Wassersäule über Sinkstoffallen bis zur Sedimentoberfläche zu verfolgen, erwies sich als möglich. Eine Saisonalität nach dem Muster der Grundparameter konnte festgehalten werden. Wie aus der vorausgegangenen Diskussion deutlich wurde, kommt es beim Alkenonfluß zum Meeresboden zu deutlichen Schwankungen in dem C_{37:2}/C_{37:3}-Verhältnis. Berechnungen der $U^{K_{37}}$ -Werte und der resultierenden Temperaturrekonstruktion anhand dieser Daten erwies sich als fragwürdig.

Im folgendem sollen die möglichen Prozesse zusammengefaßt werden, die den Transportweg der Alkenone in die Tiefe beschreiben und ein entsprechendes Signal in der Zusammensetzung der Alkenone hinterlassen:

a.) Schnelles Absinken der organischen Substanz, b.) Anreicherung im suspendierten Partikelpool, c.) Einfluß von Grazern, d.) Überführung der labileren Komponente C_{37:3} aus dem sinkenden in den suspendierten Partikelpool und e.) Anreicherung von C_{37:2} in den bodennahen Fallen durch Resuspension und Lateral-transport.

Zu a.) In den Sedimentationsphasen mit hohen Sinkgeschwindigkeiten gelangt das gebildete Oberflächensignal mit der geringsten Veränderung in die bodennahen Fallen. Im langsam absinkenden Phytodetritus reichert sich das Alkenon C_{37:3} ab. Eine mögliche Erklärung scheint ein Wechsel in den suspendierten Partikelpool. Es deutet sich zusätzlich eine Abhängigkeit des gebildeten Verhältnisses von C_{37:2} zu C_{37:3} vom physiologischen Zustand der absinkenden Phytoplanktonpopulationen an.

b.) Untersuchungen am schwebendem Partikelpool in der Wassersäule zeigen große Schwankungen des Alkenon-Signales. Innerhalb der euphotischen Zone kommt es zu einer vertikalen Zunahme des Verhältnisses von C_{37:2} zu C_{37:3}. Unterhalb der euphotischen Zone bis zur jährlichen Durchmischungstiefe (Annahme bei 500 m) bleibt das Verhältnis im suspendierten Pool konstant. Im Mesopelagial findet eine Anreicherung von C_{37:3} im suspendiertem Pool statt. Es wird davon ausgegangen, daß es beim Transport der Partikel durch die Wassersäule, und deren Modifikation, zu einer Abreicherung von C_{37:3} in den suspendierten Pool kommt. Dies führt zur relativen Anreicherung von C_{37:2} in den sinkenden Partikeln.

c.) Als einer der Haupttransportwege für die Prymnesiophyceen in die Tiefe wurde der Weg über Grazer, d. h. Fecal Pellets angenommen. Entgegen der Erwartungen wurde in den Pellets fast ausschließlich ein Verhältniss von C_{37:2} zu C_{37:3} unterhalb von 1 gefunden. Es zeigte sich, daß ein großer Anteil des Gesamtalkenon-Flusses von C_{37:3} über Pellets in die Tiefe gelangt. Dies widerspricht den Untersuchungen von Fettsäuren, wo die höher ungesättigten Verbindungen bevorzugt aufgenommen und die Pellets somit von labilen Komponenten abgereichert werden (Harvey 1991). Wenn der suspendierte Pool als Hauptnahrungsquelle für das Zooplankton in Betracht kommt, so gelangt über die Nahrung verstärkt C_{37:3} in die Nahrungskette. Dieses Alkenon würde über Pellets schnell in die Tiefe gelangen.

d.) Es wurde die von Wakeham & Canuell (1988) für andere Lipid-Komponenten beschriebene Abnahme der labileren, d.h. hier höher ungesättigten Verbindung C_{37:3} in der partikulären Substanz mit der Tiefe beobachtet.

Mit zunehmender Tiefe ist ein zusätzlicher Eintrag von C_{37:2} im Fallenmaterial zu verzeichnen. Dies wird auf Resuspension und laterale Advektion zurückgeführt. Da sich das hohe C_{37:2} zu C_{37:3} Verhältnis nicht in den Sedimentoberflächen findet, müssen Vorgänge innerhalb der BNL oder in tieferen Sedimentschichten für dieses Phänomen verantwortlich sein.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die organische Substanz von der Bildung in der Wassersäule auf dem Weg über Sinkstoffallen bis zur Sedimentoberfläche anhand der für Prymnesiophyceen typischen Alkenone C_{37:2} und C_{37:3} verfolgt.

Die Ergebnisse wurden zum Einem als Gesamtalkenon-Fluß (Summe aus C_{37:2} und C_{37:3}) und zum anderen als Verhältnis von C_{37:2} zu C_{37:3} dargestellt.

- Es wurde eine Methode zur Bestimmung geringer Alkenon-Konzentrationen entwickelt. Durch die aufwendige Spurenstoff-Analytik konnten Alkenonkonzentrationen sowohl in geringen Wasserprobenvolumina (ab 50000 Zellen l⁻¹) als auch in kleinen Mengen Sinkstoffallenmaterials (ng g⁻¹) gemessen werden.
- An drei Verankerungspositionen im Europäischem Nordmeer konnte eine Saisonalität des Gesamtalkenon-Flusses nach dem Muster der Grundparameter (TG, POC, CaCO₃ und SiO₂) festgehalten werden. Die Verhältnisse von C_{37:2} zu C_{37:3} schwankten in der Verankerungszeit sowohl saisonal als auch in den Verankerungstiefen.

Norwegen Becken (NB6 - 69°41,2'N/00°27,8'O): Der Gesamtalkenon-Fluß lag im Bereich von 12 - 140 ng m⁻² d⁻¹ mit maximalen Werten Mitte Oktober bis Mitte November. Für die Verhältnisse von C_{37:2} zu C_{37:3} ergaben sich in dieser Hauptsedimentationsphase Werte um 1. In den Sommermonaten lagen die Werte weit über 1, in den übrigen Monaten unter 1. Der Kurvenverlauf der Verhältnisse von C_{37:2} zu C_{37:3} zeigte in allen Verankerungstiefen einen ähnlichen Verlauf.

Ostgrönländische See (OG4 - 72°23,0'N/07°42,7'W): Der Gesamtalkenon-Fluß lag im Bereich von 6 - 103 ng m⁻² d⁻¹ mit maximalen Werten Ende Juli. Die C_{37:2}/C_{37:3}-Verhältnisse zeigten sehr starke Schwankungen. Im Juli sedimentierte ausschließlich C_{37:3}. In den übrigen Monaten stieg das C_{37:2} zu C_{37:3} Verhältnis bis 10.

Barents See-Hang (BI2-75°11,8'N/12°29,2'O): In den beiden bodennahen Fallen konnten Gesamtalkenon-Gehalte von 9 ng m⁻² d⁻¹ bis zu einem maximalen Wert im Juni von 2 µg m⁻² d⁻¹ bestimmt werden. Die Verhältnisse von C_{37:2} zu C_{37:3} zeigten in 1840 m, abgesehen von zwei Ereignissen, ausschließlich Werte unterhalb von 0,6. In 1950 m wurden demgegenüber ab Mai nur C_{37:2}/C_{37:3}-Verhältnisse von im Mittel 4 berechnet.

In allen drei Seegebieten zeigte sich beim Fluß der Grundparametern und Alkenone ein Einfluß von Resuspension und Lateraltransport in den bodennah ausgebrachten Sinkstoffallen. Insbesondere in der Norwegen Becken-Verankerung wurde für die Gesamtalkenone ein zusätzlicher Eintrag um den Faktor 7 festgehalten.

Insgesamt erhöhte sich in allen Seegebieten das Verhältnisse von C_{37:2} zu C_{37:3} zu Werten über 1 in den bodennahen Fallen.

In der Barents See-Hang Verankerung deutete sich durch die unterschiedlichen Signale bei den Gesamtalkenonen in den zwei Verankerungstiefen, sowie durch die Verschiebung der Verhältnisse von C_{37:2} zu C_{37:3}, ein möglicher Fluß von "rebound" Partikeln in 1840 m an. Das Material stammte wahrscheinlich vom Schelf, war in kurzer Zeit über die Schelfkante zu einem in 1000-1700 m tief gelegenen Hochakkumulationsgebiet transportiert worden und von dort aus über eine Interne Boundary Layer zu der etwa 20 Seemeilen entfernte Verankerung gelangt. In 1950 m Tiefe dominierte resuspendiertes Material aus der Boden Nepheloid Schicht.

- Als einer der Haupttransportwege für die Prymnesiophyceen in die Tiefe wurde der Weg über Grazer, d. h. Fecal Pellets angenommen. Bestimmungen der Alkenon-Gehalte in Fecal Pellets von Appendicularien, Ostracoden und Euphausiaceen an der Barents See-Hang Verankerung ergaben, daß der Transport über Pellets bis zu 22 % der Gesamtalkenon-Sedimentation ausmachte. In den Pellets wurde fast ausschließlich ein Verhältniss von C_{37:2} zu C_{37:3} unterhalb von 1 gefunden. Es zeigte sich, daß ein großer Anteil des Gesamtalkenon-Flusses von C_{37:3} über Pellets in die Tiefe gelangt.

- Im schwebenden Partikelpool in der Wassersäule erfolgte innerhalb der euphotischen Zone eine vertikale Zunahme des Verhältnisses von C_{37:2} zu C_{37:3}. Unterhalb der euphotischen Zone bis 500 m blieb das Verhältnis relativ konstant. Im Mesopelagial fand eine Anreicherung von C_{37:3} im suspendiertem Pool statt.
- Aufgrund von Wassersäulenmessungen wurde der Anteil der Alkenone an der Biomasse von in-situ *E. huxleyi*-Zellen von ~ 3 % ermittelt.
- Die bestehende Theorie der Unveränderlichkeit des Verhältnisses von C_{37:2} zu C_{37:3} von der Bildung bis zum Abbild im Sediment konnte für das Europäische Nordmeer nicht bestätigt werden. Die Anwendung des U^K₃₇ im Zusammenhang mit der Temperaturtransferformel zeigte nur bei der Wassersäulenprobe auf den Barents See-Schelf aus 2 m Tiefe eine Übereinstimmung mit der in-situ Temperatur.

Es wurden folgende Thesen für den Transport der Alkenone in die Tiefe festgehalten:

- In Sedimentationsphasen mit schnellen Sinkgeschwindigkeiten gelangt das gebildete Oberflächensignal mit der geringsten Veränderung in die bodennahen Fallen.
- Im langsam absinkendem Phytodetritus reichert sich das Alkenon C_{37:3} ab. Eine mögliche Erklärung scheint ein Wechsel in den suspendierten Partikelpool. Dies führt zu relativen Anreicherung von C_{37:2} in den sinkenden Partikeln.
- Grazer bevorzugen eine Nahrungsquelle mit angereichertem C_{37:3}, welches über Fecal Pellets absinkt.
- Der zusätzlichen Eintrag von C_{37:2} im Probenmaterial der bodennahen Sinkstofffallen wird auf Resuspension und Lateraltransport zurückgeführt.
- Zur Klärung der Tatsache, daß in den Sedimenten das C_{37:2}/C_{37:3}-Verhältnis relativ konstant bleibt, bedarf es weiterer Untersuchungen, besonders innerhalb der Boden Nepheloid Schicht..

- Aagaard, K., Swift, J.H. & Carmack E.C. (1985). Thermohaline circulation in the Arctic Mediterranean Seas. *J. of Geophysical Res.* 90: 4833-4864
- Allredge, A.L. & Gottschalk, C. (1988). In situ settling of marine snow. *Limnol. Oceanogr.* 33: 339-351
- Allredge, A.L. (1981). The impact of appendicularien grazing on natural food concentrations in situ. *Limnol. Oceanogr.* 26(2): 247-257
- Angel, M.V. (1990). Life in the boundary layer: connections to the mid-water and sea Floor. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 331(A): 15-28
- Antia, A.N. & 15 andere (1990). The pelagic system and vertikal particle flux during autumn in the Greenland Sea, Jan Mayen Current. *Berichte Sonderforschungsbereich 313*, 26: 54 pp
- Antia, A.N. (1991). Microzooplankton in the pelagic food web of the East Greenland Sea and its role in sedimentation processes. Dissertation, Universität Kiel, *Berichte Sonderforschungsbereich 313*, 33: 101 pp
- Antia, A.N., Bauerfeind, E., v. Bodungen, B. & Zeller, U. (1993). Abundance, encystment and sedimentation of acantharia during autumn 1990 in the East Greenland Sea. *J. Plankton Res.* 15: 99-114
- Arndt, K. (1990). Verbreitung, Produktion und Sedimentation von Diatomeen in der Grönland See. Unveröffent. Diplomarbeit, Universität Kiel: 84 pp
- de Baar, H.J.W., Farrington, J.W. & Wakeham, S.G. (1983). Vertical flux of fatty acids in the North Atlantic Ocean. *J. Mar. Res.* 41: 19-41
- Bacon, M.P., Huh, C.-A., Fleer, A.P. & Deuser, W.G. (1985). Seasonality in the flux of natural radionucleides and plutonium in the Sargasso Sea. *Deep-Sea Res.* 32: 273-286
- Baker, E.T., Milburn, H.B. & Tennant, D.A. (1988). Field assessment of sediment trap efficiency under varying flow conditions. *J. Mar. Res.* 46: 573-592
- Banse, K. (1990). New views on the degradation and disposition of organic particles as collected by sediment traps in the open sea. *Deep-Sea Res.* 37: 1177-1195
- Barouxis, A., Scribe, P., Dagaut, J. & Saliot A. (1987). Free and bound lipids from equatorial surficial sediments separated as a function of particle size. *Org. Geochem.* 13(4-6): 773-783
- Bathmann, U. V., Noji, T. T., & v. Bodungen, B. (1991). Sedimentation of pteropods in the Norwegian Sea in autumn. *Deep-Sea Res.* 38 : 1341-1360.
- Bathmann, U.V., Noji, T.T. & v. Bodungen, B. (1990 a). Copepod grazing in late winter in the Norwegian Sea - a factor in the control of spring phytoplankton growth? *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 60: 225-233
- Bathmann, U.V., Peinert, R., Noji, T.T. & v. Bodungen, B. (1990 b): Pelagic origin and fate of sedimenting particles in the Norwegian Sea. - *Progr. Oceanogr.* 24: 117-125

- Bauerfeind, E., v. Bodungen, B., Arndt, K. & Koeve, W. (1993): Particle flux and composition of sedimenting matter in the Greenland Sea. *J. Mar. Syst.*: resubmitted after first reviews.
- Baumann, K.-H. (1990). Veränderlichkeit der Coccolithophoridenflora des Europäischen Nordmeeres im Jungquartär. *Universität Kiel, Berichte Sonderforschungsbereich 313*, 22: 146 pp
- Bayona, J. M., Farran, A., & Albaiges, J. (1989). Steroid alcohols and ketones in coastal waters of the western mediterranean: Sources and seasonal variability. *Marine Chemistry* 27: 79-104
- Berger, W.H. & Wefer, G. (1990). Export production: seasonality and intermittency, and paleoceanographic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 89: 245-254
- Berger, W.H., Smetacek, V.S. & Wefer, G. (1989). Ocean productivity and paleoproductivity - an overview. In: *Productivity of the ocean: present and past*, Dahlem Konferenzen, (Hrsg. W.H. Berger, V.S. Smetacek & G.Wefer), J.Wiley and Sons: 1-34
- Biscaye, P. & Eitrem, S. (1977). Suspended particulate loads and transports in the nepheloid layer of the abyssal atlantik ocean. *Mar. Geology* 23: 155-172
- Bishop, J.K.B., J.M. Edmond, D.R. Ketten, M.P. Bacon & Silker (1977). The chemistry biology and vertical flux from the upper 400 m of the equatorial Atlantic Ocean. *Deep-Sea Res.* 24: 511-548
- Blaume, F. (1992). Hochakkumulationsgebiete am norwegischen Kontinentalhang: Sedimentologische Abbilder Topographie-geführter Strömungsmuster. *Dissertation, Universität Kiel, Berichte Sonderforschungsbereich 313*, 33: 150 pp
- v. Bodungen, B. (1989). Pelagische Primärproduktion und vertikaler Partikelfluß im Ozean. *Methodische und konzeptuelle Aspekte. Habilitation, Universität Kiel*: 156pp
- v. Bodungen, B., Wunsch, M. & Fürderer, H. (1991a). Sampling and analysis of suspended and sinking particles in the northern North Atlantic. In: *Marine Particles: analysis and characterization*, (Hrsg. D.C. Hurd, D.W. Spencer) Amer. Geophys. Union, Geophys. Monogr.63: 47-56.
- v. Bodungen, B., Bathmann, U., Voß, M. & Wunsch, M. (1991b). Vertical particle flux in the Norwegian Sea - Resuspension and interannual variability. In: *Sediment trap studies in the nordic countries 2*, (Hrsg. P. Wassmann, A.S. Heiskanen, O. Lindahl) Nurmijärvi, NurmiPrint Oy: 116-136
- Boon, J. J., & de Lange, F. (1979). Black Sea sterol - a molecular fossil for dinoflagellate blooms. *Nature* 277: 125-126
- Braarud, T., Gaarder, K.R. & Nordli, O. (1958). Seasonal changes in the phytoplankton at various points off the Norwegian West Coast. *Rep. Norweg. Fish. Invest.* 12 (3): 1-77

- Bradshaw, S.A., Eglinton, G., O'Hara, S.C.M. & Corner, E.D.S. (1991). Biogeochemical changes in lipids in a model marine food chain. In: Diversity of Environmental Biogeochemistry, (ed. Berthelin), Elsevier: 49-58
- Brassell, S.C., Eglinton, G., Marlowe, I.T., Pflaummann, U. & Sarnthein, M. (1986a). Molecular stratigraphy: a new tool for climatic assesment. Nature 320: 129-133
- Brassell, S.C. und andere (1986b). Palaeoclimatic signals recognized by chemometric treatment of molecular stratigraphic data. Org. Geochem. 10: 649-660
- Broecker, W.S. & Denton, G.H. (1989). The role of ocean-atmosphere reorganisation in glacial cycles. Geochim. Cosmochim. Acta 53: 2465-2501
- Buesseler, K.O. (1991): Do upper-ocean sediment traps provide an accurate record of particle flux? Nature 353: 420-423
- Butman, C.A., Grant, W.D. & Stolzenberg, K.D. (1986). Predictions of sediment trap biases in turbulent flows: A theoretical analysis based on observations from literatur. J. Mar. Res. 44: 601-644
- Cadee, G.C. (1985). Macroaggregates of *Emiliania huxleyi* in sediment traps. Mar. Ecol. Progr. Ser. 24: 193-196
- Carmack, E.C. & Aagaard, K. (1973). On the deep water of the Greenland Sea. Deep-Sea Res. 20: 687-715
- Currie, B. R. & Johns, R. B. (1988). Lipids as indicators of the origin of organic matter in fine marine particulate matter. Aust. J. Mar. Freshwater Res. 39: 371-383
- Currie, B. R. & Johns, R. B. (1989). An Organic Geochemical Analysis of Terrestrial Biomakers in a Transect of the Great Barrier Reef Lagoon. Aust. J. Mar. Freshwater Res. 40: 275-284
- Dickson, R.R. & McCave, I.N. (1986). Nepheloid layers on the continental slope west of Porcupine Bank. Deep-Sea Res. 33: 791-818
- Druffel, E.R.M. & Williams, P.M. (1990). Identification of a deep marine source of particulate organic carbon using bomb ^{14}C . Nature 347: 172-174
- Duinker, J.C., Schulz, D.E. & Petrick, G. (1988). Multidimensional gas chromatography with electron capture detection for the determination of toxic congeners in polychlorinated biphenyl mixtures. Anal. Chem. 60: 478-482
- Edler, L. (1979). Recommendations for marine biological studies in the Baltic Sea. Phytoplankton and Chlorophyll. Baltic Marine Biologists 5: 38pp
- Eglinton, G., Bradshaw, S.A., Rossel, A., Sarnthein, M., Pflaummann, U. & Tiedemann, R. (1992). Molecular record of secular sea surface temperature changes on 100-year timescales for glacial terminations 1,2 and 4. Nature 356: 423-426
- Farrington, J.W., McCaffrey & Sulanowski, J. (1988). Early diagenesis of organic matter in Peru Upwelling Area sediments. In: Facets of modern Biogeochemistry, (Hrsg. V. Ittekkot, S. Kempe, W. Michaelis, A. Spitzzy), Festschrift for E.T. Degens: 433pp

- Flood, P.R. (1991). Architecture of, and water circulation and flow rate in, the house of the planktonic tunicate *Oikopleure labradoriensis*. *Mar. Bio.* 111: 95-111
- Flood, P.R., Deibel, D. & Morris, C. (1992). Filtration of colloidal melanin from sea water by planktonic tunicates. *Nature* 355: 630-632
- Gagosian, R.B., Smith, S.O. & Nigrelli, G.E. (1982). Vertical transport of steroid alcohols and ketones measured in a sediment trap experiment in the equatorial Atlantic Ocean. *Geochim. Cosmochim. Acta* 46: 1163-1172
- Gardner, W.D., & Walsh, I.D. (1990). Distribution of macroaggregates and fine-grained particles across a continental margin and their potential role in fluxes. *Deep-Sea Res.* 37: 401-411
- Gardner, W.D., Southard, J.B. & Hollister, C.D. (1985). Sedimentation, Resuspension and chemistry of particles in the Northwest Atlantic. *Mar. Geology* 65: 199-242
- Gardner, W.D. Richardson, M.J. (1992). Particle export and resuspension fluxes in the Western North Atlantic. *Deep-Sea Food Chains and the Global Carbon Cycle*, (Hrsg. G.T. Rowe & V. Pariente), Kluwer Academic Publishers: 339-364
- Gomez-Belinchon, J. I., Llop, R., Grimalt, J. O. & Albaiges, J. (1988). The Decoupling of Hydrocarbons and Fatty Acids in the Dissolved and Particulate Water Phases of a Deltaic Environment. *Mar. Chem.* 25: 325-348
- Gossens, H., Düren, R.R., de Leeuw, J.W. & Schenk, P.A. (1989). Lipids and their mode of occurrence in bacteria and sediments-II Lipids in the sediment of a stratified, freshwater lake. *Org. Geochem.* 14: 27-41
- Gradinger, R. (1990). Zur Bedeutung des Pico- und Nanoplanktons in polaren Regionen am Beispiel der Grönländischen See. Dissertation, Universität Kiel, Berichte Inst. Meereskunde 196: 162 pp.
- Graf, G. (1993). Benthic pelagic coupling: A benthic view. *Oceanogr. Mar. Biol. An. Rew.* 30: 149-190
- Gunderson, K. & Wassmann, P. (1990). Use of chloroform in sediment traps: caution advised. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 64: 187-195
- Gust, G., Byrne, R.H., Betzer, R.E. & Bowles, W. (1992). Particulate fluxes and moving fluids: experience from synchronous trap collections in the Sargasso Sea. *Deep-Sea Res.* 39: 1071-1083
- Harvey, H.R., Eglinton, G., O'Hara, S.C.M. & Corner, E.D.S. (1991). Microbial transformation of fecal pellet lipids during sedimentation. In: *Diversity of Environmental Biogeochemistry*, (Hrsg. Berthelin), Elsevier: 25-36
- Hassan, M. (1991) Die Exsudation des Phytoplanktons in der westlichen Grönlandsee. Unveröffentl. Diplomarbeit, Universität Kiel: 112 pp
- van d. Hoek, C. (1978). Algen. Einführung in die Phykologie. Thieme Verlag Stuttgart: 481 pp

- Honjo, S. (1976). Coccoliths: Production, Transportation and sedimentation. *Mar. Micropal.* 1: 65-79
- Hostettler, F., Rapp, J. B. & Luoma, S. N. (1989). Organic markers as source discriminants and sediment transport indicators in south San Francisco Bay, California. *Geochim. Cosmochim. Acta* 53:1563-1573
- Humborg, C. (1991): Experimentelle Untersuchungen zum Umsatz von Phosphor und Stickstoff in natürlichen Planktongemeinschaften. Unveröffent. Diplomarbeit, Universität Kiel: 107 pp
- Ittekkot, V., Deuser, W.G. & Degens, E.T. (1984). Seasonality in the fluxes of sugars, aminoacids, and amino sugars to the deep ocean: Sargasso Sea. *Deep-Sea Res.* 31: 1057-1069
- Ittekkot, V., Nair, R. R., Honjo, S., Bartsch, M. & Desai, B. N. (1991). Enhanced particle fluxes in Bay of Bengal induced by injection of fresh water. *Nature* 351: 385-387
- Karasek, F.W. & Clement, R.E. (1988). Basic gas chromatography - Mass spectrometry. Principles and Techniques. Elsevier Science Publishing Company Inc.: 119 pp
- Karl, D. M. & Knauer, G. A. (1989). Swimmers : A Recapitulation of the problem and a potential solution. *Oceanogr.* 4: 32-34
- Kattner, G. & Krause, M. (1989). Seasonal variations of lipids in calanoid copepods from the North Sea. *Mar. Chem.* 26: 261-275
- Killworth, P.D. (1979). On "chimney" formations in the oceans. *J. Phys. Oceanogr.* 9: 531-554
- Knauer, G.A., Karl, D.M., Martin, J.H. & C.N. Hunter (1984). In situ effects of selected preservatives on total carbon, nitrogen and metals collected in sediment traps. *J. Mar. Res.* 42: 445-462
- Koeve, W. (1992): New production of phytoplankton in the tropical and subarctic North Atlantic. Dissertation, Universität Kiel: 98 pp
- Körtzinger, A., Schulz-Bull, D.E., Petrick, D.E. & Duinker, J.C. (1993). Evidence for release of particulate-associated organics (fatty acids) into solution in sedimenttrap sample cups. *subm.*
- Lee, C., Hedges, J.I., Wakeham, S.G. & Zhu, N. (1992): Effectiveness of various treatments in retarding microbial activity in sediment trap material and their effect on the collection of swimmers. *Limnol. Oceanogr.* 37: 117-130
- Lee, H. B., & Peart, T. E. (1991). Determination of resin and fatty acids in sediments near pulp mill locations. *J. of Chromatography* 547: 315-323
- de Leeuw, J.W., v.d. Meer, F.W., Rijpstra, I.C. & Schenk, P.A. (1980). On the occurrence and structural identification of long chain unsaturated ketones and hydrocarbons in sediments. In: *Advances in Organic Geochemistry* (Hrsg. A.G. Douglas & J.R. Maxwell) Oxford Pergamon Press 1979: 211-217

- Longhurst, A.R. & Harrison, W.G. (1988). Vertical nitrogen flux from the oceanic photic zone by diel migrant zooplankton and nekton. *Deep-Sea Res.* 35: 881-889
- Lyle, M.W., Prah, F.G. & Sparrow, M.A. (1992). Upwelling and productivity changes inferred from a temperature record in the central equatorial Pacific. *Nature* 355: 812-815
- Maaßen, J., Duinker, J.C. & Schulz-Bull, D.E.. Seasonal and spatial variations in the distribution of biological markers at the Bear Island site: Alkanes, alkenes and isoprenoids: in Vorb.
- Machado, E.. Der Silikatkreislauf im Nördlichen Nordatlantik. Dissertation, in Vorb., Universität Kiel.
- Marlowe, I.T., Brassell, S.C., Eglinton, G. & Green, J.C. (1984). Long-chain unsaturated ketones and esters in living algae and marine sediments. *Org. Geochem.* 6: 135-141
- Marlowe, I.T., Brassell, S.C., Eglinton, G. & Green, J.C. (1990). Long-chain alkenones and alkyl alkenoates and the fossil coccolith record of marine sediments. *Chemical Geology* 88: 349-375
- Mayzaud, P., Chanut, J.P. & Ackman, R.G. (1989). Seasonal changes of the biochemical composition of marine particulate matter with special reference to fatty acids and sterols. *Mar. Ecol. Prog. ser.* 56: 189-204
- McCaffrey, M.A.; Farrington, J.W. & Repeta, D.J. 1990. The organic geochemistry of Peru margin surface sediments: I. A comparison of the C37 alkenone and historical el Nino records. *Geochim. Cosmochim. Acta* 54: 1671-1682
- McCave, I.N. (1975). Vertical flux of particles in the ocean. *Deep-sea Res.* 22: 491-502
- McCave, I.N. (1986). Local and global aspects of the bottom nepheloid layers in the world ocean. *Neth. J. Sea Res.* 20(2/3): 167-181
- McIntyre, A. & Be´, A.W.H. (1967). Modern coccolithophoridae of the Atlantic Ocean. - I. Placoliths and Cyrtoliths. *Deep-Sea Res.* 14: 561-597
- Meincke, J. (1990). The Greenland Sea projekt-An overview. XV General Assembly of the European Geophysical Society, Copenhagen, 23-27 April.
- Michaels, A.F., Silver, M.W., Gowing, M.M. & Knauer, G.A. (1990). Cryptic zooplankton "swimmer" in upper ocean sediment traps. *Deep-Sea Res.* 37: 1285-1296
- Nichols, P.D., Volkmann, J.K., Palmisano, A.C., Smith, G.A. & White, D.C. (1988). Occurrence of an Isoprenoid C25 Diunsaturated Alkene and high neutral lipid content in Antarctic sea-ice diatom communities. *J. Phycol.* 24: 90-96
- Noji, T.T. (1991a). The influence of macrozooplankton on vertical particle flux. *Sarsia* 76: 1-9
- Noji, T.T., Estep, K.W., MacIntyre, F. & Norrbin, F. (1991b). Image Analysis of fecal material grazed upon by three species of copepods: evidence for coprophagy, coprophagy and coprochaly. *J. Mar. Bio. Ass. U.K.* 71: 465-468
- Okada, H & McIntyre, A. (1979). Seasonal Distribution of modern coccolithophorides in the Western North Atlantic Ocean. *Mar. Biol.* 54: 319-328

- Paranjabe, M.A. (1988). Microzooplankton in Lancaster Sound (eastern Canadian Arctic) in summer: biomass and distribution. *Deep-Sea Res.* 35: 1547-1563
- Parsons, T.R., Takahashi, M. & Hargrave, B. (1984). *Biological Oceanographic Processes*. In: *Biological Oceanographic Processes*. (Hrsg. T.R. Parsons, M. Takahashi & B. Hargrave), Pergamon Press: 37-54
- Peeken, I.. Modifikation von Markerpigmenten im pelagischen Nahrungsnetz des Europäischen Nordmeeres und ihre Abbildung im vertikalen Partikelfluß. Dissertation, Universität Kiel: in Vorb..
- Peinert, R., Bathmann, U.V., v. Bodungen, B. & Noji, T.T. (1987): The impact of grazing on spring growth and sedimentation in the Norwegian Current. In: *Mitt. Geol.-Paläont. Inst. der Universität Hamburg*, (Hrsg. E.T. Degens, E. Izdar, S. Honjo), SCOPE/UNEP Sonderband 62: 149-164
- Peinert, R., v. Bodungen, B. & Smetacek, V.S. (1989). Food web structure and loss rate. In: *Productivity of the ocean: present and past*, Dahlem Konferenzen, (Hrsg. W.H. Berger, V.S. Smetacek & G. Wefer), J.Wiley and Sons: 35-48
- Petrick, G., Schulz, D.E. & Duinker, J.C. (1988). Clean-up of environmental samples by high-performance liquid chromatography for analysis of organochlorine compounds by gas chromatography with electron-capture detection. *J. Chromatogr.* 435: 241-248
- Piilskaln, C.H. & Honjo, S. (1987). The fecal pellet fraction of biogeochemical particle fluxes to the deep-sea. *Global Biogeochemical Cycles* 1: 31-48
- Poynter, J.G. & Eglinton, G. (1991). The biomarker concept - strengths and weakness. *Fresenius J. Anal. Chem.* 339: 725-731
- Prahl, F.G., Eglinton, G., Corner, E.D.S & O'Hara, S.C.M. (1984a). Copepod Fecal Pellet as a source of dihydrophytol in marine Sediments. *Science* 224: 1235-1236
- Prahl, F.G., Eglinton, G., Corner, E.D.S., O'Hara, S.C.M. & Forsberg, T.E.V. (1984b). Changes in plant lipid during passage through the gut of *Calanus*. *Biol. Ass. U.K.* 64: 317-334
- Prahl, F. G., Muehlhausen, L. A. & Zahnle, D. L. (1988). Further evaluation of long-chain alkenones as indicators of paleoceanographic conditions. *Geochim. Cosmochim.* 52: 2303-2310
- Prahl, F. G., Muehlhausen, L. A., & Lyle, M. (1989a). An organic geochemical assessment of oceanographic conditions at manop site C over the past 26,000 Years. *Paleoceanography*, 4 (5): 495-510
- Prahl, F.G., Lange, G.J., Lyle, M. & Sparrow, M.A. (1989b). Post-depositional stability of long-chain alkenones under contrasting redox conditions. *Nature* 341: 434-437
- Prahl, F. G., & Wakeham, S. G. (1987). Calibration of unsaturation patterns in long-chain ketone compositions for palaeotemperature assessment. *Nature* 330: 367-369

- Puch, M. (1990): Zum Silikathaushalt des Pelagials im Europäischen Nordmeer. Unveröffent. Diplomarbeit, Universität Kiel: 75 pp
- Quadfasel, D. Gascard, J. & Koltermann, K.P. (1987). Large mesoscale oceanography in the Fram Strait during the 1984 Marginal Ice Zone Experiment. *J. of Geophysical Res.* 92: 6719-6728
- Quadfasel, D., Rudels, B. & Kurz, K. (1988). Outflow of dense water from Svalbard Fjord into the Fram Strait. *Deep-Sea Res.* 35: 1143-1150
- Reemtsma, T., Nair, R. & Brockmann, U.H. (1990). Downward Flux of Particulate Fatty Acids in the Central Arabian Sea. *Mar. Chemistry*, 29, 183-202
- Reinhardt, P. (1972). Coccolithen. Kalkiges Plankton seit Jahrtausenden. In: Die Neue Brehm-Bücherei, A. Ziemsen Verlag: 99 pp
- Rey, F. & Loeng, H. (1985). The influence of ice and hydrographic conditions on the development of phytoplankton in the Barents Sea. *Marine Biology of polar regions and effects of stress on Marine Organism*, (Hrsg. J.S. Gray & M.E. Christiansen), Wiley, Chichester 1985: 49-64
- Riebesell, U., Schloss, I. & Smetacek, V. (1991). Aggregation of algae released from melting sea ice: implications for seeding and sedimentation. *Polar Biol.* 475: 1-10
- Roth, P.H. & Mullin, M.M. & Berger, W.H. (1975). Coccolith sedimentation by fecal pellets: Laboratory experiments and field observations. *Geol. Soc. Am. Bull.* 86: 1079-1084
- Samtleben, C. & Bickert, T. (1990). Coccoliths in sediment traps from the Norwegian Sea. *Mar. Micropal.* 16: 39-64
- Samtleben, C. & Schröder, A. (1990). Coccolithophoriden-Gemeinschaften und Coccolithen-Sedimentation im Europäischen Nordmeer. *Berichte Sonderforschungsbereich 313*, 25: 52 pp.
- Samtleben, C. & Schröder, A. (1992). Coccolithophore communities in the Norwegian-Greenland Sea and their record in sediments. *Mar. Micropal.* 19: 333-354
- Schott, F., Fischer, J. & Visbeck, M. (1990). Observations of vertical currents associated with winter convection in the Greenland Sea. XV General Assembly of the European Geophysical Society, Copenhagen, 23-27 April.
- Schulz, D.E. (1990). Chlorbiphenyle im Meerwasser des Nordatlantiks und der Nordsee. Zur Problematik der Bestimmung und Aufarbeitung von Chlorbiphenylen. Dissertation, Universität Kiel, *Berichte Institut für Meereskunde* 197: 89 pp
- Schomburg, G. (1977). Gaschromatographie. Verlag Chemie: Physik Verlag: 183 pp
- Sikes, E.L., Farrington, J.W. & Keigwin, L.D. (1991). Use of alkenone unsaturation ratio Uk37 to determine past sea surface temperature: core-top SST calibrations and methodology considerations. *Earth Planet Sci. Lett.* 104: 36-47
- Silver, M.W. & Gowing, M.M. (1991). The "particle" flux: Origins and biological components. *Prog. in Oceanography* 26: 75-113

- Sinninghe Damste, J.S., Rijpstra, W.I.C., Kock van Dalen, A.C., de Leeuw, J.W. & Schenk, P.A. (1989). Quenching of labil functionalized lipids by inorganic sulfur species: Evidence for the formation of sedimentary organic sulfur compounds at the early stages of diagenesis. *Geochim. Cosmochim. Acta* 53: 1342-1355
- Smith, W.O., Codispoti, L.A., Nelson, D.M., Manley, T., Buskey, E.J., Niebauer, H.J. & Cota, G.F. (1991): Importance of phaeocystis blooms in the high-latitude ocean carbon cycle. *Nature* 352: 514-516
- Sohn, M.L. (1986). Organic Marine Geochemistry: An Overview. In: *Organic Marine Geochemistry* (Hrsg.: M.L. Sohn), American Chemical Society, Washington 1986: 1-8
- Strathmann, R.R. (1967). Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. *Limnol. Oceanogr.* 12: 411-418
- Stryer, L. (1990). Biochemie. (Hrsg. Lubert Stryer), Spektrum der Wissenschaft: 1127pp
- Swift, J.H. & Aagaard, K. (1981). Seasonal transitions and water mass formation in the Iceland and Greenland Seas. *Deep-Sea Res.* 28: 1107-1129
- Swift, J.H. & Koltermann, K.P. (1988). The origin of Norwegian Sea Deep Water. *J. of Geophysical Res.* 93: 3563-3569
- Swift, J.H., Takahashi, T & Livingston, H.D. (1983). The contribution of Greenland and Barents Seas to the deep water of the Arctic ocean. *J. of Geophysical Res.* 88: 5981-5986
- ten Haven, H.L. & Kroon, D. (1991). Late pleistocene sea surface water temperature variations off Oman as revealed by the distribution of long-chain alkenones. *Scientific Result*, 117: 445-452
- ten Haven, H.L., Baas, M., Kroot, M., de Leeuw, J.W., Schenk, P.A. & Ebbing, J. (1987). Late Quaternary Mediterranean sapropels. III. Assesment of source of input and palaeotemperature as derived from biological markers. *Geochim. Cosmochim. Acta* 51: 803-810
- Thomsen, L. (1992). Untersuchungen der Bodennepheloidschicht am westlichen Barents Sea Kontinentalhang. Dissertation Universität Kiel: 96 pp
- Turner, J.T. & Ferrante, J.G. (1979). Zooplankton fecal pellets in aquatic ecosystems. *Bio Science* 29: 670-676
- Urrere, M.A. & Knauer, G.A. (1981). Zooplankton fecal pellets and vertical transport of particulate organic matter in the pelagic environment. *J. of Plankton Res.* 3: 369-387
- van d.Hoeck, . (19
- Venkatesan, M. I. & Kaplan, I. R. (1987). The lipid geochemistry of antarctic marine sediments: Brainsfield Strait. *Mar. Chem.* 21: 347-375
- Venne, H. Auf dem (1990). Zur Verbreitung auto-, mixo-, und heterotropher Ciliaten im Plankton der Grönlandsee. Diplomarbeit, Universtät Kiel: 111pp

- Volkman, J.K., Jeffrey, S.W., Nichols, S.W., Rogers, G.I. & Garland, C.D. (1989). Fatty acid and lipid composition of 10 species of microalgae used in marine culture. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 128: 219-240
- Voss, M. (1991a). Content of copepod fecal pellets in relation to food supply in Kiel Bight and its effect on sedimentation rate. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 75: 217-222
- Voss, M. (1991b). Räumliche und zeitliche Verteilung stabiler Isotope ($\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$) in suspendierten Partikeln im Nördlichen Nordatlantik. Dissertation, Universität Kiel, Berichte Sonderforschungsbereich 313, 32: 112 pp
- Wakeham, S.G. & Beier, J.A. (1991). Fatty acid and sterols biomarkers as indication of particulate matter source and alteration processes in the Black Sea. *Deep-Sea Res.* 38: 943-968
- Wakeham, S.G. & Canuel, E.A. (1988): Organic geochemistry of particulate matter in the eastern tropical North Pacific Ocean: Implications for particle dynamics. *J. Mar. Res.* 46: 183-213
- Wakeham, S. & Lee, C. (1989). Organic geochemistry of particulate matter in the ocean: The role of particles in oceanic sedimentary cycles. *Org. Geochem.* 14 (1): 83-96
- Walsh, I., Fisher, K., Murray, D. & Dymond, J. (1988): Evidence for resuspension of rebound particles from near bottom sediment-traps. *Deep-Sea Res.* 35: 59-70
- Walsh, I.D. & Gardner, W.D. (1993). A comparison of aggregate profiles with sediment trap fluxes. *Deep-Sea Res.*: in press
- Wassmann, P., Vernet, M., Mitchell, B.G. & Rey, F. (1990): Mass sedimentation of *Phaeocystis pouchetii* in the Barents Sea. - *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 66: 183-195
- Weatherly, G.L. (1972). A study of the bottom layer of the Florida current. *J. Phys. Oceanogr.* 1: 54-72
- Whitehead, J.A. (1989). Riesenwasserfälle im Ozean. *Spektrum der Wissenschaft* 4: 92-94
- Young, J.R. & Westbroek, P. (1991). Genotypic variation in the coccolithophorid species *Emiliania huxleyi*. *Mar. Micropal.* 18: 5-23
- Zeitzschel, B., P. Diekmann & L. Uhlmann (1978). A new multidimensional sediment trap. *Mar. Bio.* 45: 285-288
- Zeller, U.. Vorkommen und Sekundärproduktion des herbivoren Zooplanktons im Europäischen Nordmeer. Dissertation, Universität Kiel: in Vorb.

Tabelle 3.1.1. Norwegen Becken

Vertikaler Partikelfluß [$\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$] für Trockengewicht (TG), partikulären organischen Kohlenstoff (POC), Kalziumcarbonat (CaCO_3) und biogenes Silikat (SiO_2) sowie C/N Verhältnisse in der Norwegischen See (NB6 - 69°41,2'N/00°27,8'O) in 500 m, 1000 m, und 3000 m im Zeitraum vom 06.08.1991 - 07.07.1992.

Tiefe / Zeitraum	TG	POC	CaCO_3	SiO_2	C/N
500 m					
06.08.-20.08.91	51.90	5.44	39.47	4.65	9
20.08.-03.09.91	66.12	6.80	50.55	5.61	10
03.09.-17.09.91	26.90	3.44	9.37	1.62	11
17.09.-01.10.91	81.95	1.86	80.41	2.19	11
01.10.-15.10.91	115.59	6.28	10.23	13.02	9
15.10.-14.11.91	97.96	6.10	0.06	3.14	12
14.11.-14.12.91	100.66	5.69	0.04	4.34	9
14.12.-13.01.92	24.87	1.40	0.22	0.34	8
13.01.-12.02.92	0.00	1.20	7.25	0.08	8
12.02.-13.03.92	58.15	1.78	37.79	0.11	9
13.03.-27.03.92	20.73	0.60	15.40	0.11	19
26.03.-10.04.92	46.04	5.12	25.99	0.13	9
10.04.-24.04.92	34.86	1.88	20.66	0.25	13
24.04.-08.05.92	15.52	0.00	7.61	0.27	0
08.05.-22.05.92	27.63	3.55	12.70	0.77	11
22.05.-05.06.92	19.35	4.27	10.19	0.43	41
05.06.-19.06.92	20.21	1.83	11.43	0.99	19
19.06.-26.06.92	15.62	2.03	8.94	0.49	13
26.06.-03.07.92	21.62	1.61	10.48	0.57	30
03.07.-07.07.92	69.48	7.85	41.82	4.86	10
1000 m					
06.08.-20.08.91	47.98	8.72	17.95	17.97	9
20.08.-03.09.91	87.99	11.58	42.51	22.49	9
03.09.-17.09.91	52.33	7.54	25.03	6.14	11
17.09.-01.10.91	23.23	3.22	13.47	1.36	21
01.10.-15.10.91	92.52	5.05	73.10	3.03	8
15.10.-14.11.91	53.64	5.72	28.54	5.47	10
14.11.-14.12.91	90.08	12.51	42.12	9.35	10
14.12.-13.01.92	19.10	2.82	8.20	1.29	8
13.01.-12.02.92	12.68	2.15	8.18	0.42	9
12.02.-13.03.92	11.17	3.34	5.33	0.34	9
13.03.-27.03.92	5.16	1.02	2.85	0.20	9
26.03.-10.04.92	7.50	1.19	3.92	0.42	10
10.04.-24.04.92	9.83	1.27	5.08	0.78	8
24.04.-08.05.92	7.41	1.64	5.20	0.44	8
08.05.-22.05.92	20.67	3.52	13.17	1.63	7
22.05.-05.06.92	27.39	7.49	12.21	1.31	9
05.06.-19.06.92	4.28	0.80	3.56	0.17	11
19.06.-26.06.92	9.79	0.84	8.73	0.26	11
26.06.-03.07.92	6.82	0.91	6.16	0.35	11
03.07.-07.07.92	22.72	3.04	16.12	1.62	10
3000 m					
06.08.-20.08.91	381.01	23.07	208.86	43.67	9
20.08.-03.09.91	137.85	12.45	67.75	16.25	10
03.09.-17.09.91	140.77	8.04	64.73	13.78	11
17.09.-01.10.91	169.86	11.03	76.24	14.82	11
01.10.-15.10.91	82.30	4.44	36.97	5.28	9
15.10.-14.11.91	93.66	4.91	86.09	8.75	12
14.11.-14.12.91	164.33	11.13	78.30	13.90	9
14.12.-13.01.92	84.42	5.65	31.21	7.54	8
13.01.-12.02.92	93.45	4.28	38.97	5.92	8
12.02.-13.03.92	69.18	2.48	28.19	5.29	9
13.03.-27.03.92	63.13	2.13	28.02	77.33	19
26.03.-10.04.92	90.74	2.93	20.46	5.65	9
10.04.-24.04.92	196.38	5.91	77.77	10.08	13
24.04.-08.05.92	177.20	6.35	62.31	12.16	0
08.05.-22.05.92	207.09	2.89	109.22	3.70	11
22.05.-05.06.92	89.78	10.50	35.39	17.35	41
05.06.-19.06.92	140.08	6.61	60.30	9.28	19
19.06.-26.06.92	199.94	10.64	85.71	29.36	13
26.06.-03.07.92	126.07	8.26	50.41	7.83	30
03.07.-07.07.92	95.61	7.66	38.24	4.61	10

Tabelle 3.1.2. Norwegen Becken

Gesamtalkenon-Gehalt [ng l^{-1} $C_{37:2}$ und $C_{37:3}$] und Darstellung der Verhältnisse von $C_{37:2}$ zu $C_{37:3}$ der filtrierten Wasserproben aus verschiedenen Tiefen auf der Station 319 ($67^{\circ}13,5'N/02^{\circ}55,5'O$) und 323 ($69^{\circ}41,3'N/00^{\circ}27,8'O$) vom 05.07 und 07.07.1992.

Tiefe	37:2	37:3	Summe	Ratio
0 m Sta.323	n.d.	n.d.		
10 m Sta.319	0,46	0,35	0,81	1,3
50 m Sta.319	n.d.	n.d.		
100 m Sta. 323	n.d.	n.d.		

Gesamtalkenon-Fluß [$\text{ng m}^{-2} \text{d}^{-1}$ $C_{37:2}$ und $C_{37:3}$] und Darstellung der Verhältnisse von $C_{37:2}$ zu $C_{37:3}$ an ausgewählten Fangintervallen der Verankerung in der Norwegischen See (NB6 - $69^{\circ}41,2'N/00^{\circ}27,8'O$) in 500 m, 1000 m, und 3000 m im Zeitraum vom 06.08.91 - 07.07.92.

Tiefe / Zeitraum	37:2	37:3	Summe	Ratio
500 m				
06.08.-20.08.91	9,83	1,96	11,79	5,0
15.10.-14.11.91	78,29	61,22	139,51	1,3
12.02.-13.03.92	n.d.	n.d.		
08.05.-22.05.92	6,05	24,93	30,98	0,2
19.06.-07.07.92	11,67	7,02	18,69	1,7
1000 m				
06.08.-20.08.91	36,72	5,91	42,63	6,2
15.10.-14.11.91	5,96	21,68	27,63	0,3
12.02.-13.03.92	n.d.	n.d.		
08.05.-22.05.92	3,19	18,28	21,47	0,2
19.06.-07.07.92	n.d.	n.d.		
3000 m				
06.08.-20.08.91	67,49	20,74	88,23	3,3
15.10.-14.11.91	8,02	21,09	29,10	0,4
12.02.-13.03.92	2,54	7,11	9,65	0,4
22.05.-05.06.92	25,92	59,27	85,18	0,4
19.06.-07.07.92	101,70	23,77	125,47	4,3

Gesamtalkenon-Gehalt [ng g^{-1} Naßgewicht $C_{37:2}$ und $C_{37:3}$] und Darstellung der Verhältnisses von $C_{37:2}$ zu $C_{37:3}$ im Oberflächensediment [0-1 cm] der Station 366 ($67^{\circ}44,2'N/05^{\circ}55,3'O$) vom 20.07.1991.

	37:2	37:3	Summe	Ratio
0-1 cm	1,71	1,50	3,21	1,1

Tabelle 3.2.1. Ostgrönländische See

Vertikaler Partikelfluß [$\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$] für Trockengewicht (TG), partikulären organischen Kohlenstoff (POC), Kalziumcarbonat (CaCO_3) und biogenes Silikat (SiO_2) sowie C/N Verhältnisse in der Ostgrönländ See (OG4 - 72°23,0'N/07°42,7'W) in 500 m, 1000 m, und 3000 m im Zeitraum vom 07.09.1990 - 31.07.1991.

Tiefe / Zeitraum	TG	POC	CaCO_3	SiO_2	C/N
500 m					
07.09.-17.09.90	68,98	0,00	24,51	20,78	
17.09.-27.09.90	33,62	7,14	16,21	3,38	8
27.09.-07.10.90	22,50	4,46	8,57	3,23	9
07.10.-27.10.90	25,82	4,45	9,71	4,07	8
27.10.-26.11.90	20,29	3,01	8,36	2,59	9
26.11.-26.12.90	14,76	1,56	7,01	1,11	10
26.12.-25.01.91	12,26	3,25	3,91	0,37	8
25.01.-24.02.91	7,49	1,61	2,72	0,24	7
24.02.-16.03.91	8,79	2,89	3,98	0,12	8
16.03.-30.03.91	6,43	1,82	3,44	0,11	9
30.03.-13.04.91	7,43	1,42	2,56	0,24	11
13.04.-27.04.91	8,28	2,37	2,49	0,24	6
27.04.-11.05.91	18,25	2,81	5,36	1,31	13
11.05.-25.05.91	27,79	3,79	5,43	1,32	9
25.05.-08.06.91	25,44	6,34	7,34	1,88	15
08.06.-22.06.91	7,99	1,45	2,70	0,37	8
22.06.-06.07.91	14,92	2,38	5,07	3,26	12
06.07.-20.07.91	52,67	7,09	10,19	18,93	10
20.07.-31.07.91	76,68	10,47	22,60	20,59	13
1000 m					
07.09.-17.09.90	62,58	7,32	21,52	16,08	12
17.09.-27.09.90	35,33	5,05	11,01	6,81	8
27.09.-07.10.90	25,37	3,72	8,79	4,70	11
07.10.-27.10.90	18,33	2,50	6,68	2,94	7
27.10.-26.11.90	7,23	1,44	2,10	1,25	8
26.11.-26.12.90	8,16	1,37	2,40	0,74	10
26.12.-25.01.91	6,36	0,89	2,72	0,53	9
25.01.-24.02.91	8,56	1,99	2,63	0,54	8
24.02.-16.03.91	10,42	2,13	3,88	0,65	10
16.03.-30.03.91	12,23	3,11	6,78	0,50	7
30.03.-13.04.91	10,44	2,44	3,50	0,52	8
13.04.-27.04.91	7,38	1,21	2,46	0,56	8
27.04.-11.05.91	9,79	1,88	2,48	1,05	9
11.05.-25.05.91	14,56	2,16	3,71	1,82	7
25.05.-08.06.91	10,95	1,89	3,43	1,04	9
08.06.-22.06.91	8,15	1,30	3,84	0,46	9
22.06.-06.07.91	6,48	0,96	2,23	0,64	9
06.07.-20.07.91	16,76	2,43	6,96	2,79	8
20.07.-31.07.91	87,68	8,01	25,62	14,86	9
2310 m					
07.09.-17.09.90	57,89	3,67	20,22	8,86	9
17.09.-27.09.90	39,31	2,34	12,86	5,05	12
27.09.-07.10.90	74,20	3,83	29,20	9,26	11
07.10.-27.10.90	17,14	0,90	4,82	1,42	10
27.10.-26.11.90	27,19	1,32	9,91	3,07	11
26.11.-26.12.90	32,32	1,31	13,22	3,28	11
26.12.-25.01.91	22,55	0,91	3,48	1,83	11
25.01.-24.02.91	60,81	1,64	17,86	4,34	12
24.02.-16.03.91	31,61	0,76	7,63	1,89	10
16.03.-30.03.91	26,45	0,77	10,81	1,66	4
30.03.-13.04.91	16,79	0,50	6,03	0,84	4
13.04.-27.04.91	9,09	0,32	3,30	0,47	5
27.04.-11.05.91	19,23	0,59	7,94	0,72	12
11.05.-25.05.91	10,33	0,80	2,58	0,46	14
25.05.-08.06.91	11,93	0,93	2,97	0,93	10
08.06.-22.06.91	6,55	0,54	2,56	0,31	10
22.06.-06.07.91	4,17	0,30	1,79	0,13	15
06.07.-20.07.91	6,25	0,45	2,63	0,36	9

Tabelle 3.2.2. Ostgrönländische See

Gesamtalkenon-Gehalt [ng l^{-1} $C_{37:2}$ und $C_{37:3}$] und Darstellung der Verhältnisse von $C_{37:2}$ zu $C_{37:3}$ der filtrierten Wasserproben aus verschiedenen Tiefen auf der Station 552 ($71^{\circ}38,2'N/14^{\circ}00,1'W$) vom 11.08.1991.

Tiefe	37:2	37:3	Summe	Ratio
0m	0,29	0,22	0,51	1,3
20m	1,06	0,33	1,39	3,2
200m	n.d.	n.d.		

Gesamtalkenon-Fluß [$\text{ng m}^{-2} \text{d}^{-1}$ $C_{37:2}$ und $C_{37:3}$] und Darstellung der Verhältnisse von $C_{37:2}$ zu $C_{37:3}$ an ausgewählten Fangintervallen der Verankerung in der Ostgrönland See (OG4) ($72^{\circ}23,0'N/07^{\circ}42,7'W$) in 500 m, 1000 m, und 2300 m im Zeitraum vom 07.09.90 - 31.07.91.

Tiefe / Zeitraum	37:2	37:3	Summe	Ratio
500 m				
07.09.-17.09.90	1,45	0,27	1,72	5,3
17.09.-27.09.90	0,00	4,22	4,22	
07.10.-27.10.90	n.d.	n.d.		
28.12.-25.01.91				
24.02.-16.03.91	16,60	1,78	18,38	9,3
11.05.-25.05.91	n.d.	n.d.		
06.07.-20.07.91	4,89	4,41	9,31	1,1
20.07.-31.07.91	0,00	102,94	102,94	
1000m				
07.09.-17.09.90	5,41	7,16	12,57	0,8
07.10.-27.10.90	68,97	7,04	76,01	9,8
24.02.-16.03.91	n.d.	n.d.		
25.05.-08.08.91	5,89	5,10	10,99	1,2
06.07.-20.07.91	n.d.	n.d.	n.d.	
20.07.-31.07.91	n.d.	n.d.	n.d.	
2300m				
07.09.-17.09.90	29,66	0,00	29,66	
27.09.-07.10.90	27,19	3,76	30,95	7,2
26.11.-26.12.90	7,50	1,59	9,08	4,7
25.01.-24.02.91	2,73	0,87	3,60	3,1
25.05.-08.08.91	12,67	3,87	16,55	3,3

Gesamtalkenon-Gehalt [ng g^{-1} Naßgewicht $C_{37:2}$ und $C_{37:3}$] und Darstellung der Verhältnisse von $C_{37:2}$ zu $C_{37:3}$ im Oberflächensediment [0-1 cm] der Station 444 ($72^{\circ}23,0'N/07^{\circ}42,7'W$) vom 31.07.1991.

	37:2	37:3	Summe	Ratio
0-1 cm	n.d.	n.d.		

Tabelle 3.3.1. Barents See Hang

Vertikaler Partikelfluß [$\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$] für Trockengewicht (TG), partikulären organischen Kohlenstoff (POC), Kalziumcarbonat (CaCO_3) und biogenes Silikat (SiO_2) sowie C/N Verhältnisse am Barents See Kontinentalhang (BI2-75°11,8'N/12°29,2'O) in 610 m, 1840 m, und 1950 m im Zeitraum vom 16.03.1991 - 23.07.1991.

Tiefe / Zeitraum	TG	POC	CaCO_3	SiO_2	C/N
610 m					
16.03.-23.03.91	25.93	4.01	20.94	0.28	9
23.03.-30.03.91	36.46	5.02	22.36	0.56	9
30.03.-06.04.91	34.75	4.74	17.48	0.46	8
06.04.-13.04.91	41.99	6.96	16.23	0.65	8
13.04.-20.04.91	28.54	5.42	15.26	0.35	9
20.04.-27.04.91	24.37	3.49	8.25	0.43	9
27.04.-04.05.91	13.25	2.18	6.21	0.08	10
04.05.-11.05.91	35.31	2.48	17.57	0.33	8
11.05.-18.05.91	33.83	2.59	18.28	0.97	7
18.05.-25.05.91	50.21	4.38	24.13	1.94	4
25.05.-01.06.91	84.99	4.01	64.05	2.06	7
01.06.-08.06.91	149.04	10.11	99.71	7.39	10
08.06.-15.06.91	138.04	17.07	66.36	13.52	9
15.06.-22.06.91	168.67	91.84	87.29	20.87	10
22.06.-29.06.91	281.28	46.13	168.20	23.42	9
29.06.-06.07.91	119.11	9.44	88.71	6.64	9
06.07.-13.07.91	152.35	6.00	126.68	4.32	9
13.07.-20.07.91	204.04	9.72	162.88	6.11	8
20.07.-23.07.91	248.92	12.37	207.09	15.60	8
1840 m					
16.03.-23.03.91	46.43	2.44	5.55	1.72	8
23.03.-30.03.91	10.12	0.63	2.82	0.52	6
30.03.-06.04.91	22.78	0.68	3.27	0.87	10
06.04.-13.04.91	14.89	0.44	3.41	0.54	9
13.04.-20.04.91	83.94	2.92	22.92	3.00	10
20.04.-27.04.91	49.79	1.86	12.82	1.88	10
27.04.-04.05.91	39.79	1.62	7.91	1.35	9
04.05.-11.05.91	86.44	3.20	21.01	2.36	11
11.05.-18.05.91	84.81	2.99	9.55	3.14	9
18.05.-25.05.91	68.07	2.97	20.64	3.07	11
25.05.-01.06.91	66.89	2.73	6.00	2.87	11
01.06.-08.06.91	148.97	7.37	40.33	7.05	10
08.06.-15.06.91	197.99	11.33	54.02	11.44	9
15.06.-22.06.91	421.17	20.48	91.31	32.25	12
22.06.-29.06.91	651.63	50.98	195.72	64.96	10
29.06.-06.07.91	448.21	29.98	112.29	32.28	9
06.07.-13.07.91	388.52	29.10	95.86	25.68	7
13.07.-20.07.91	266.17	23.37	75.06	19.60	10
20.07.-23.07.91	395.91	24.54	111.61	19.47	8
1950 m					
16.03.-23.03.91	150.65	4.14	36.74	8.03	7
23.03.-30.03.91	270.65	5.72	61.02	8.46	10
30.03.-06.04.91	191.26	5.47	49.38	6.28	31
06.04.-13.04.91	166.89	4.12	38.83	6.52	11
13.04.-20.04.91	242.87	5.49	56.39	6.11	8
20.04.-27.04.91	133.46	3.47	21.46	4.93	10
27.04.-04.05.91	161.84	4.49	46.02	4.51	9
04.05.-11.05.91	605.70	10.31	160.43	18.52	8
11.05.-18.05.91	342.41	7.13	68.76	12.04	8
18.05.-25.05.91	207.63	6.40	43.11	8.61	6
25.05.-01.06.91	249.83	6.64	68.76	9.53	7
01.06.-08.06.91	363.42	11.42	39.29	15.10	10
08.06.-15.06.91	238.28	12.01	44.93	14.18	10
15.06.-22.06.91	405.07	29.92	74.58	30.55	8
22.06.-29.06.91	664.63	44.85	0.00	60.02	10
29.06.-06.07.91	845.11	31.58	230.20	54.90	5
06.07.-13.07.91	367.03	24.30	90.48	21.35	10
13.07.-20.07.91	389.83	20.66	122.77	23.16	10
20.07.-23.07.91	356.89	33.45	67.05	17.95	8

Tabelle 3.3.2. Barents See Hang

Gesamtalkenon-Gehalt [ng l^{-1} $\text{C}_{37:2}$ und $\text{C}_{37:3}$] und Darstellung der Verhältnisse von $\text{C}_{37:2}$ zu $\text{C}_{37:3}$ der filtrierten Wasserproben aus verschiedenen Tiefen auf der Stationen 499 ($75^{\circ}00,1'N/08^{\circ}26,7'W$, Schelf) und 436 ($75^{\circ}20,8'N/13^{\circ}37,5'O$, Hang) vom 11.08. und 28.07.1991.

Tiefe	37:2	37:3	Summe	Ratio
2 m Sta. 499	55,22	176,46	231,68	0,3
10 m Sta. 499	65,84	12,39	78,23	5,3
30 m Sta. 499	1,60	0,37	1,98	4,3
50 m Sta. 499	n.d.	n.d.		
300 m Sta. 499	n.d.	n.d.		
25 m Sta. 436	0,18	0,10	0,29	1,8

Gesamtalkenon-Fluß [$\text{ng m}^{-2} \text{d}^{-1}$ $\text{C}_{37:2}$ und $\text{C}_{37:3}$] und Darstellung der Verhältnisse von $\text{C}_{37:2}$ zu $\text{C}_{37:3}$ an ausgewählten Fanginterwallen der Verankerung am Barents See Kontinentalhang (B12 $75^{\circ}11,8'N/12^{\circ}29,2'O$) in 1840 m und 1950 m im Zeitraum vom 16.03.91 - 23.07.91.

Tiefe / Zeitraum	37:2	37:3	Summe	Ratio
1840 m				
16.03.-13.04.91	5,27	9,45	14,72	0,6
13.04.-20.04.91	8,37	40,19	48,56	0,2
20.04.-04.05.91	3,22	11,93	15,15	0,3
04.05.-11.05.91	5,26	20,84	26,10	0,3
11.05.-01.06.91	4,65	47,44	52,09	0,1
01.06.-08.06.91	16,69	50,00	66,69	0,3
08.06.-15.06.91	9,63	28,70	38,33	0,3
15.06.-22.06.91	454,07	2314,26	2768,33	0,2
22.06.-29.06.91	229,04	61,94	290,98	3,7
29.06.-06.07.91	31,66	756,23	787,89	0,0
06.07.-13.07.91	183,03	18,71	201,74	9,8
13.07.-20.07.91	78,03	391,17	469,20	0,2
20.07.-23.07.91	2,34	90,93	93,27	0,0
1950 m				
16.03.-13.04.91	5,89	3,31	9,20	1,8
13.04.-20.04.91	5,52	16,37	21,89	0,3
20.04.-04.05.91	n.d.	n.d.		
04.05.-11.05.91	51,79	20,26	72,05	2,6
11.05.-01.06.91	47,98	16,87	64,85	2,8
01.06.-08.06.91	369,77	60,76	430,53	6,1
08.06.-15.06.91	245,21	44,78	289,99	5,5
15.06.-22.06.91	264,92	46,61	311,53	5,7
22.06.-29.06.91	319,97	126,59	446,56	2,5
29.06.-06.07.91	517,23	113,38	630,61	4,6
06.07.-13.07.91	359,06	107,57	466,63	3,3
13.07.-20.07.91	141,94	49,72	191,66	2,9
20.07.-23.07.91	362,28	127,26	489,54	2,8

Gesamtalkenon-Gehalt [ng g^{-1} Naßgewicht $\text{C}_{37:2}$ und $\text{C}_{37:3}$] und Darstellung des Verhältnisses von $\text{C}_{37:2}$ zu $\text{C}_{37:3}$ im Oberflächensediment [0-1 cm] der Station 385 ($74^{\circ}58,3'N/14^{\circ}44,8'O$) vom 24.07.1991.

	37:2	37:3	Summe	Ratio
0-1 cm	4,44	3,27	7,72	1,4

Tabelle 3.3.2. Barents See Hang

Gesamtalkenon-Fluß [$\text{ng m}^{-2} \text{d}^{-1}$ $C_{37:2}$ und $C_{37:3}$] und Darstellung der Verhältnisse von $C_{37:2}$ zu $C_{37:3}$ der Faecal Pellets von Appendicularien, Ostracoden und Euphausiaceen an ausgewählten Fangintervallen der Verankerung am Barents See Kontinentalhang (B12-75°11,8'N/12°29,2'O). Phase II: 610 m und 1840 m, vom 22.06-29.06.91, 1950 m, vom 29.06.-06.07.91. Phase III: 610 m, 1840 m und 1950 m, vom 13.07.-23.07.

Tiefe / Zeitraum	37:2	37:3	Summe	Ratio
610 m / Phase II				
Appendicularien	53,83	16,31	70,14	3,3
Ostracoden	m	m		
Euphausiaceen	4,07	16,42	20,49	0,2
1840 m / Phase II				
Appendicularien	25,08	4,96	30,05	5,1
Ostracoden	d.	d.		
Euphausiaceen	d.	d.		
1950 m / Phase II				
Appendicularien	18,26	51,70	69,96	0,4
Ostracoden	0,00	35,45	35,45	
Euphausiaceen	0,00	5,60	5,60	
610 m / Phase III				
Appendicularien	0,42	1,72	2,14	0,2
Ostracoden	6,27	14,50	20,77	0,4
Euphausiaceen	20,00	1,69	21,68	11,8
1840 m / Phase III				
Appendicularien	n.d.	n.d.		
Ostracoden	0,00	21,23	21,23	0,0
Euphausiaceen	0,00	4,12	4,12	0,0
1950 m / Phase III				
Appendicularien	4,58	30,20	34,78	0,2
Ostracoden	2,62	103,78	106,40	0,0
Euphausiaceen	0,49	4,66	5,16	0,1

Tabelle 3.4. Ostgrönländische See

Darstellung der Konzentrationen von Trockengewicht (TG), Kalziumkarbonat (CaCO₃) und Gesamtalkenone (C37:2 und C37:3) in den Beprobungsintervallen des Abbaubversuches der Kurzzeitverankerung (OG3a, 72°39'N/07°36'W) in der Ostgrönländischen See im Zeitraum 24.08.-1.09.90. Konzentrationsangaben: TG, CaCO₃ - mg t⁻¹ (t- Verangerungsdauer), C37:2, C37:3 - ng t⁻¹

Tiefe / Zeitraum	TG	CaCO ₃	37:2	37:3	Summe	Ratio
125 m						
6.09.	1294,70	572,81				
8.10.	563,20	263,66				
9.11.	448,00	158,70				
10.12.	432,64	176,66				
13.02.	371,20	92,14				
11.04.	494,08	204,82				
550 m						
6.09.	1574,39	983,05	266,94	582,21	869,14	2,0
8.10.	522,24	177,91				
9.11.	426,24	170,26				
10.12.	391,68	127,99	307,50	n.d.	307,50	0,0
13.02.	381,44	153,59				
11.04.	416,00	124,15				
1050 m						
6.09.	364,79	138,24				
8.10.	317,44	116,48				
9.11.	364,80	131,86				
10.12.	257,28	93,42				
13.02.	218,88	89,59				
11.04.	257,28	76,79				
2000 m						
6.09.	216,30	83,83	133,47	n.d.	133,47	0,0
8.10.	229,12	99,18				
9.11.	207,36	81,94				
10.12.	195,20	66,55	n.d.	n.d.		
13.02.	124,16	13,48				
11.04.	224,00	71,69				

Tabelle 3.5. Wassersäulenstationen

Gesamtalkenon-Gehalt (ng l⁻¹) der Verbindungen C_{37:2} und C_{37:3} der filtrierten Wasserproben vom Schnitt südlich von Is-land. Die Werte stammen vom August 1991 (Sta. 538 u. 528) und Mai 1992 (Sta. 215 u. 224).

Tiefe	37:2	37:3	Summe	Ratio
10 m Sta. 538	2,93	1,15	4,08	2,5
10 m Sta. 215	0,20	0,56	0,76	0,4
15 m Sta. 528	1,09	0,62	1,72	1,8
0 m Sta. 224	2,88	0,89	3,77	3,2

Gesamtalkenon-Gehalt (ng l⁻¹) der Verbindungen C_{37:2} und C_{37:3} der in-situ Pumpproben in verschiedenen Tiefen an der Station 211 (47°40,8'N/19°29,2'W) und der Station 221 (59°30N/20W) vom 21.05. und 06.07.1992.

Tiefe	37:2	37:3	Summe	Ratio
50 m Sta. 211	0,10	0,38	0,48	0,3
60 m Sta. 211	0,40	0,61	1,01	0,7
20 m Sta. 221	n.d.	n.d.		
100 m Sta. 221	0,06	0,02	0,08	3,1
300 m Sta. 221	0,09	0,02	0,11	3,7
500 m Sta. 221	0,11	0,03	0,14	3,7
2000 m Sta. 221	0,02	0,01	0,03	1,7

Danksagung

Professor Dr. Bodo v. Bodungen danke ich für die Betreuung der Arbeit und das stete Interesse am Fortgang der Untersuchungen.

Professor Dr. Jan Duinker danke ich für die Möglichkeit, in der Abteilung Meereschemie meine Arbeiten durchzuführen. Weiterhin gilt mein Dank Dr. Detlef Schulz-Bull für sein reges Interesse und seine Diskussionsbereitschaft.

Vor allem möchte ich Gert Petrick für seine großartige Unterstützung bei der Methodenentwicklung und ständige Hilfsbereitschaft und Offenheit, auch in schwierigen Zeiten, danken.

Mein Dank gilt weiterhin

Dr. Christian Samtleben für die bereitwillige Zuverfügungstellung von Probenmaterial und unveröffentlichten Daten,

Dr. Malte Elbrächter, Dr. Frank Hansen und Elaine Edwards für die Hilfe bei den Kulturversuchen,

Freunden und Kollegen meiner Arbeitsgruppe im SFB und MCH für die tatkräftige Unterstützung, besonders nach der Geburt von Henrik,

Andrea, Arne, Thomas, Eddi, Marita, Ute, Ilka, Avan, Maren, Sven, Olaf, Eunice, Wolfgang, Mara, Frank und Michael für ihre Gesprächsbereitschaft und Hilfe,

Jörg für den Einsatz bei der BI,

Frau U. Schuldt für die Fotoarbeiten,

Dr. Alexander Altenbach, Dr. Eduard Bauerfeind, Wolfgang Queisser und Dr. Christian Stienen für die sorgfältige Durchsicht des Manuskripts,

Laurenz und Henrik für ihre Geduld,

den Besatzungen der Forschungsschiffe Poseidon und Meteor für die gute Zusammenarbeit,

der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 313.