

BERICHTE
aus dem
INSTITUT FÜR MEERESKUNDE
an der
CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT · KIEL

Nr. 280
1995

BIO - C - FLUX

Biologischer Kohlenstofffluß in der bodennahen Wasserschicht
des küstenfernen Ozeans

Schlußbericht für den Förderzeitraum
1. 1. 1990 - 31. 12. 1994

Herausgegeben von

O. Pfannkuche, H.-G. Hoppe,
H. Thiel & H. Weikert

Mit Unterstützung des Bundesministers für
Forschung und Technologie
Förderkennzeichen 03F0565A / 03F0566A
& 03F0094A / 03F0094B

DOI 10.3289/IFM_BER_280

Kopien dieser Arbeit können bezogen werden:
Institut für Meereskunde an der Universität Kiel
- Bibliothek -
Düsternbrooker Weg 20
D-24105 Kiel

ISSN 0341 - 8561

INHALTSVERZEICHNIS

ABSTRACT	1
Introduction	1
Results	2
Vertical distribution and variability of zooplankton in the near-bottom water layer of the BIOTRANS area.	2
Standing stock and carbon demand of the deep-sea benthopelagic fauna	2
Composition and diets of deep-sea benthopelagic fishes	3
Standing stock, activity and respiration rates of the deep-sea benthos in the NE-Atlantic	3
Benthic reactions on the sedimentation of phytodetritus	4
Turnover of organic matter by the benthic community on the continental slope	4
Microbial abundance and activity in the deep sea of the NE Atlantic	4
Conclusions	5
VORWORT	5
1. AUFGABENSTELLUNG	5
2. VORAUSSETZUNG ZUR DURCHFÜHRUNG DES VORHABENS	7
3. PLANUNG UND ABLAUF DES VORHABENS	7
4. WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHER STAND, AN DEN ANGEKNÜPFT WURDE	11
5. ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN	11
6. DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE	12
6.1 Berichte und Ergebnisse aus der Arbeitsgruppe Benthopelagial und Plankton	12
6.1.1 Technische Entwicklungen	12
6.1.2 Verlauf der Arbeiten	14
6.1.3 Vertikalverteilung und Variabilität des Zooplanktons in der bodennahen Wasserschicht des BIOTRANS-Gebietes	14
6.1.4 Bestand und Kohlenstoffbedarf der benthopelagischen Tiefseefauna	19
6.1.5 Bestand, Zusammensetzung und Nahrung benthopelagischer Tiefseefische	27
Bestand	27
Zusammensetzung	27
Nahrungsanalysen	28

Diskussion	33
6.1.6 Zur benthopelagischen Copepodenfauna	35
6.2 BERICHTE UND ERGEBNISSE AUS DER ARBEITSGRUPPE BENTHOS	36
6.2.1 Standing stock, Aktivität und Respirationsraten des Tiefseebenthos im NO-Atlantik	36
Einleitung	36
Methoden	37
Ergebnisse	39
Zusammenfassung und Diskussion	52
6.2.2 Benthische Reaktionen auf die Sedimentation von Phytodetritus	58
6.2.3 Benthische Aktivität im NO-Atlantik - Die Wintersituation in 1994	70
6.2.4 Stoffumsätze durch die benthische Lebensgemeinschaft am Kontinentalhang des NO-Atlantiks	74
Abiotische Parameter auf dem Goban Spur Transekt	77
Benthische Aktivität und Biomasse auf dem Goban Spur Transekt	77
Saisonalität im Eintrag organischen Materials in das Benthos	81
Benthische Reaktionen auf die Sedimentation von Phytodetritus	81
Kohlenstoff-Remineralisation durch die benthische Lebensgemeinschaft	85
6.3 BERICHTE UND ERGEBNISSE AUS DER ARBEITSGRUPPE MIKROBIOLOGIE	86
6.3.1 Mikrobielle Abundanz und Aktivität in der Tiefsee des NO-Atlantik	86
Einleitung	86
Methoden	87
Untersuchungen im Sediment (POREMBA 1994b; POREMBA & HOPPE 1995)	89
Untersuchungen in der Wassersäule (siehe auch POREMBA 1994c)	93
Zusammenfassung	96

7. BIOTRANS/BIO-C-FLUX-PUBLIKATIONSLISTE	99
SCHLUßFOLGERUNGEN	103
NACHWORT UND DANKSAGUNGEN	104
VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN	107
LIST OF FIGURES	111
VERZEICHNIS DER TABELLEN	114
LIST OF TABLES	115

ABSTRACT

Introduction

This report presents the results of biological investigations in the near-bottom water layer in the deep sea of the Northeast Atlantic. The project BIO-C-FLUX was carried out by the Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft der Universität Hamburg, Arbeitsgruppe Biologische Ozeanographie, and by the Institut für Meereskunde an der Universität Kiel, Abteilung Marine Mikrobiologie. The investigations were funded by the Bundesministerium für Forschung und Technologie, grants 03F0565A/03F0566A (1.1.90-31.12.92) and 03F0094A/03F0094B (1.1.93-31.12.94)

The scientific framework of BIO-C-FLUX is closely associated with the international JGOFS (Joint Global Ocean Flux Study) program which deals, on a global scale, with the biological aspects of the marine carbon cycle, concentrating mainly on the carbon flux in the upper mixed layer of the open ocean. BIO-C-FLUX, on the other hand, focused on the study of the organic carbon flux in the benthic boundary layer of the offshore deep sea, including the near-bottom water layer up to 500m above bottom (mab), the sediment contact water (up to 20 cm above bottom), the sediment surface and the sediment layers down to 50 cm depth. In collaboration with the MAST II project OMEX (Ocean Margin Exchange), the investigations could be extended in 1993/94 to cover gradients from the continental shelf to the deep-sea basins. BIO-C-FLUX studied the following main topics:

- the biological turnover of sedimented POC by the benthopelagic and benthic faunas. The benthopelagic fauna included bacteria, zooplankton, nekton, and megafauna. The benthic studies covered bacteria, nano-, meio- and macrofauna.
- the quantity and quality of sedimented POC.
- the temporal and spatial variability of composition, standing stocks and turnover of POC in various faunal groups within the subsystems (benthopelagos, benthos) studied.

The main research site was the BIOTRANS area in the Westeuropean Basin at 47°N/20°W (water depth 3850–4550m). Comparative studies were made along the 20°W meridian at 59°N (Iceland Basin, 2900m) and at 34°N (Madeira Abyssal Plain, 5120m). These three locations represented different production regimes with increasing primary productivity from south to north. In co-operation with OMEX, a transect was sampled along the continental slope at Goban Spur (Fig. 1).

Results

Vertical distribution and variability of zooplankton in the near-bottom water layer of the BIOTRANS area.

At the BIOTRANS site, hauls with the 1m²-double MOCNESS at 20, 50 and 100 m above bottom revealed information on the variability of zooplankton abundance at different scales: differences between depth layers; differences between parallel samples (including small-scale variability and methodological bias); differences between samples taken successively (mediumscale variability); differences between hauls (variability at a spatial scale of several kilometres and a temporal scale of several days, respectively).

The results show that the medium-scale variability was not significantly higher than the short-term variability. However, a significant added variance component exists between hauls taken several kilometres apart.

The vertical distribution of zooplankton biomass revealed significant differences between the layers 20 mab on the one hand, and 50 and 100mab on the other. However, the zooplankton density did not vary significantly between depth layers. Consequently, the increase in biomass towards the bottom origins in the increasing mean size of the plankton. Additional catches with small baited traps moored a few centimetres above the sea floor and stomach contents analyses from benthopelagic fishes yielded copepod species which have never been caught in nets, giving evidence for a specialized fauna living immediately above the sediment. This fauna could not yet been quantified.

The horizontal and vertical variability of the zooplankton show that the benthopelagial, by contrast to the lower bathypelagial, is not a homogenous environment. This fact has to be considered when taking samples for flux studies in the benthic mixed layer.

Standing stock and carbon demand of the deep-sea benthopelagic fauna

A comparative study of the standing stocks and the respiratory carbon demands of the benthopelagic fauna *sensu lato*, including zooplankton, scavenging amphipods, fishes and megafauna, showed marked differences between the Iceland Basin and the BIOTRANS area. The total standing stock of the benthopelagic fauna in the Iceland Basin exceeded that of the BIOTRANS area by a factor of 6. The contribution of the single faunal groups differed at both locations. In the Iceland Basin, fishes represented more than 50% of the total biomass. Megafauna had a share of 40%, and zooplankton 4%. Scavenging amphipods contributed less than 1%. At the BIOTRANS site, megafauna contributed 80% to the total biomass, fishes 6%, zooplankton 11%, and amphipods 1%.

The respiratory carbon demand, as estimated from published respiration rates and the sampled standing stocks, was twice as high in the Iceland Basin than in the BIOTRANS area. The relative importance of the single groups was shifted, compared with the biomass. Benthopelagic fishes contributed only 12% in the Iceland Basin and 2% in the BIOTRANS area. At both locations, the bulk of carbon was respired by the megafauna with 83% in the Iceland Basin and 95% in the BIOTRANS area. The contribution of zooplankton and amphipods was always low.

In both areas, the carbon demand of the benthopelagic fauna is about 15% of the sedimenting POC as measured in sediment traps. Considering that the carbon demand of the benthos is about one order of magnitude higher than that of the benthopelagic fauna, the flux to the benthic boundary layer, as measured in sediment traps, would not be sufficient to sustain the benthic boundary layer ecosystem. Therefore, additional pathways must exist for the transfer of organic matter to the benthic boundary layer, for example in the form of large food falls.

Composition and diets of deep-sea benthopelagic fishes

Benthopelagic fishes were sampled in the Iceland Basin and in the BIOTRANS area using a 45ft ottertrawl and a free-vehicle long line. In both areas, only Macrouridae and Synphobranchidae were caught. The predominating species in the Iceland Basin was *Nematomurus armatus*, whereas the most abundant species in the BIOTRANS area was *Chalinura leptolepis*.

The stomach contents analyses revealed that all species sampled were opportunistic feeders, feeding on a wide variety of benthic and benthopelagic organisms. Fish and cephalopods were an important part of the diet of bigger fishes. Many cephalopods could be identified by their beaks. Most of them belonged to species of the pelagic suborder Theutoidea which live in the meso- and epipelagial and die after spawning. It is most likely that these cephalopods had been eaten as carcasses at the bottom. This is supported by the mantle lengths which could be recalculated from the beaks. They indicate a size which could not be eaten as living prey. The results imply that large food falls are important components of the diet of deep-sea benthopelagic fishes.

Standing stock, activity and respiration rates of the deep-sea benthos in the NE-Atlantic

A comparative study of the benthic standing stock and activity was conducted on the Madeira Abyssal Plain, in the BIOTRANS area, and in the Iceland Basin. The standing stocks of macrofauna and larger meiofauna mirror the differences in surface primary productivity with highest values in the Iceland Basin and lowest ones on the Madeira Abyssal Plain. However, the smaller meiofauna fraction as well as biomass parameters like total adenylates and protein, and activity parameters like ATP, ETS and FDA are more closely correlated with short-term sedimentation pulses, depending, for example, on wind stress, eddies and benthic storms. The sediment community oxygen consumption (SCOC) in the BIOTRANS area increased from April to August. The summer values were comparable to those from the Iceland Basin. Profiles of chloroplastic pigments in the sediment column and aggregations of phytodetritus on the sediment gave evidence for recent sedimentation pulses on the Madeira Abyssal Plain and in the BIOTRANS area. The short-term fluctuating parameters are determined mainly by protozoa and particularly bacteria which can react on variations in food supply in very short time. Hence temporal variations in biomass and activity of small meiofauna and bacteria may superimpose regional differences.

Benthic reactions on the sedimentation of phytodetritus

In 1992, the benthic biomass and activity were studied in the BIOTRANS area in the months March-May and in August. The profiles of chloroplastic pigment in the sediment column showed enhanced values in the upper centimetre already in March, which points to a very early sedimentation pulse in late winter/early spring. The values decreased in April and increased again in May and August.

The potential hydrolytic activity of the benthos, measured in terms of FDA consumption, and the benthic biomass, measured in terms of total adenylates, showed a decrease from March to May and enhanced values in August. This indicates a delay between the deposition of phytodetritus and the benthic reaction.

A single winter sample from February 1994 revealed an enzymatic activity of the benthos which was similar to that from March 1992. This means that no distinct winter minimum could be observed.

Incubation experiments with artificial phytodetritus showed an increase in enzymatic activity 7-9 days after the addition of POM. No increase in biomass could be observed within 15 days.

By contrast to 1986 when a strong sedimentation pulse was observed, in 1992 obviously a sequence of small pulses occurred which resulted in only a slight biomass increase. The maximum values in 1986 exceeded those from 1992 by nearly one order of magnitude. The quantity and quality of sedimentation pulses determine whether the benthic reaction is only an increase of activity, or whether the energy supply is sufficient for an increase of biomass.

Turnover of organic matter by the benthic community on the continental slope

Several biochemical sediment parameters characterizing the benthic biomass and activity were studied at the Goban Spur transect at water depths from 150m to 4800m. Generally, the biomass and activity of the benthos decreased with increasing water depth. However, relatively high values were found between 3500m and 4000m where a plateau beneath the Pendragon Escarpment obviously constitutes a depot centre for the downslope transport of organic matter.

The profiles of chloroplastic pigments in the sediment column indicate seasonal variations in the deposition of phytodetritus with maxima in spring and autumn. The benthic activity showed a clear reaction on sedimentation pulses of phytodetritus.

Microbial abundance and activity in the deep sea of the NE Atlantic

The microbiological investigations focused on the role of bacteria for the carbon flux in the deep sea. The first winter samples in the BIOTRANS area showed a bacterial abundance and biomass which were significantly smaller than in spring and summer.

At the Goban Spur transect, the production and enzymatic activity of bacteria in the sediment decreased with increasing water depth. However, the bacterial abundance did not depend significantly on water depth and distance from shore, respectively. The enzymatic activity

showed a substrate-specific variability, which indicated a dependence from temperature and pressure as well as a regulation by the nutrient supply and repression/induction mechanisms.

In the water column, a clear seasonal variation of bacterial abundance and production was observed. Pressure incubations showed an adaptation of the bacterial populations to *in situ* pressures.

Conclusions

Until recently, the deep sea was seen as a rather homogenous environment. The results from this study show that the deep-sea fauna is subject to a considerable spatial and temporal variability even in oceanic regions which are not influenced by the continental shelves. Within the benthic boundary layer, the biomass increases clearly towards the bottom, indicating an enhanced biological activity at the sea floor. Seasonally varying sedimentation pulses of organic matter are the main sources of temporal variability for the smaller fraction of the benthos like bacteria and protozoa which react on nutrient supply within a few days. The standing stocks and activities of the larger meio- and the macrofauna as well as megafauna, plankton and nekton mirror largely the overall carbon flux to the benthic boundary layer, as indicated by differences between the study sites. The composition and relative importance of these faunal groups is determined also by the nature of the POC flux and by the sediment characteristics. The total carbon demand of the benthic boundary layer cannot be supported by the POC flux as measured in sediment traps. Consequently, additional pathways of organic carbon to the deep sea must exist. The stomach contents analyses of benthopelagic fishes indicate that large food falls in terms of squid and fish carcasses may play an important role in the nutrition of the deep-sea fauna.

VORWORT

Der vorliegende Bericht beschreibt biologische Untersuchungen der bodennahen Wasserschicht in der Tiefsee des Nordost-Atlantiks, die vom Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft der Universität Hamburg, Arbeitsgruppe Biologische Ozeanographie, und vom Institut für Meereskunde an der Universität Kiel, Abteilung Marine Mikrobiologie, mit Unterstützung des Bundesministers für Forschung und Technologie durchgeführt worden sind. Das Vorhaben trägt die Bezeichnung BIO-C-FLUX - Biologischer Kohlenstofffluß in der bodennahen Wasserschicht des küstenfernen Ozeans - und wurde vom Bundesministerium für Forschung und Technologie in zwei Phasen gefördert: mit den Förderkennzeichen 03F0565A/03F0566A vom 1.1.1990 bis 31.12.1992 und mit den Förderkennzeichen 03F0094A (Hamburg) / 03F0094B (Kiel) vom 1.1.1993 bis 31.12.1994.

1. AUFGABENSTELLUNG

Die globalen Zusammenhänge des Kohlenstoffkreislaufs sowie anderer klimawirksamer Spurengase (z.B. Methan, Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe, Distickstoffoxid, Ozon) gewinnen in zunehmendem Maße an Interesse. Ihre Erforschung wird zur Zeit auf internationaler Basis hauptsächlich unter dem Dach des "International Geosphere-Biosphere Programme - A Study of Global Change" (IGBP) zusammengefaßt. Da die Ozeane eine Pufferkapazität für klimawirksame Gase aufweisen, wurde der Untersuchung von biologisch relevanten Stofftransporten im Ozean eine bedeutende Rolle zugewiesen. Für den Kohlenstoffkreislauf sind dabei die photosynthetische Reduktion von gelöstem CO_2 im Oberflächenwasser, das Absinken kohlenstoffhaltiger Partikel und ihre Lösung bzw. Deposition in der Tiefsee relevante Prozesse. In der Ozeanographie werden die folgenden Forschungsansätze von zwei internationalen Programmen verfolgt: dem "World Ocean Circulation Experiment" (WOCE), das die globalen ozeanischen Zirkulationssysteme untersucht, und der "Joint Global Ocean Flux Study" (JGOFS), die hauptsächlich die biologischen Aspekte des marinen Kohlenstoffkreislaufs bearbeiten soll.

Die JGOFS-Untersuchungen konzentrieren sich vornehmlich auf den Kohlenstofffluß in der oberen durchmischten Zone des offenen Ozeans. Benthische Prozesse werden nur in außerordentlich geringem Umfang im JGOFS-Programm berücksichtigt. Das BIO-C-FLUX-Projekt war dagegen der Untersuchung des organischen Kohlenstoffumsatzes in der bodennahen Grenzschicht der Tiefsee gewidmet und trägt damit wichtige und neue Informationen zum Verständnis des globalen ozeanischen Kohlenstoffhaushalts bei.

Im Jahr 1989 wurde eine JGOFS-Pilot-Studie "The North Atlantic Bloom Experiment" (NABE) im Nordostatlantik durchgeführt (DUCKLOW & HARRIS 1993), an dem sich neben der Bundesrepublik Deutschland die USA, Kanada, Holland und Großbritannien beteiligten. Die Stationen des Pilot-Programmes lagen auf einem Nord/Süd-Transekt im NO-Atlantik von 30° N bis 60° N entlang des 20° W Längengrades und umfaßten damit Meeresgebiete mit unterschiedlicher Primärproduktion im Oberflächenwasser. Die Mitarbeiter von BIO-C-FLUX beteiligten sich noch im Rahmen des Vorläuferprojekts BIOTRANS (PFANNKUCHE et al. 1990) an dieser Kampagne. Die Auswertung der Reise erfolgte jedoch erst im Rahmen des BIO-C-FLUX-Projekts. Auch im weiteren Verlauf des Projektes blieb BIO-C-FLUX stets inhaltlich und räumlich mit den Vorhaben des internationalen und

deutschen JGOFS gekoppelt. Z.B. wurden die BIO-C-FLUX-Probennahmen in der Nähe der Sinkstoffallenverankerungen der JGOFS-Projekte durchgeführt, so daß die Sinkstoffallmessungen als Basisdaten für das Eintragsniveau von POC in das Abyssal genutzt werden konnten.

BIO-C-FLUX weitete 1993/94 seine Untersuchungen in Zusammenarbeit mit dem MAST-II Programm der EU OMEX (Ocean Margin Exchange) auf den Kontinentalrand des Westeuropäischen Beckens im Bereich der Keltischen See aus.

Die Arbeiten von BIO-C-FLUX schlossen die bodennahe Wasserschicht (entspricht etwa der Bodentrübungsschicht bis 500m über dem Boden), das Sedimentkontaktwasser (SKW, bis ca. 20cm über dem Boden), die Sedimentoberfläche und verschiedene Sedimenthorizonte bis zu 50cm Tiefe ein. Die bodennahe Wasserschicht und die oberen Sedimenthorizonte stellen ein vielfach miteinander vernetztes biologisches System dar und werden als BGS (benthische Grenzschicht) zusammengefaßt. Der Untersuchung der Organismen in der BGS kommt eine besondere Bedeutung zu, da sich in der Grenzschichtzone Wasser/Sediment die biologischen Umsatzprozesse innerhalb des Systems der Tiefsee intensivieren. Untersucht wurde ausschließlich die biologische Umsetzung des zum Meeresboden sedimentierten, partikulären organischen Kohlenstoffes. Der Kreislauf von anorganischem Kohlenstoff wurde nicht berücksichtigt.

Aufbauend auf den im Rahmen des BIOTRANS-Projektes (PFANNKUCHE et al. 1990) erarbeiteten Techniken und Ergebnissen verfolgte BIO-C-FLUX das Ziel, die Wege des organischen Kohlenstoffflusses in der benthischen Grenzschicht zu beschreiben und zu quantifizieren. Die Fragestellungen für die Arbeiten waren im wesentlichen:

- Welche Zusammensetzung und Quantität hat das partikuläre organische Material auf dem und im Sediment?
- Welches sind die wesentlichen Regionen des Abbaus organischer Substanz in der BGS (z.B. Bodentrübungsschicht, Bodenkontaktwasser, bestimmte Sedimenthorizonte)?
- Welche bodennahen vertikalen Gradienten existieren in der Menge und Zusammensetzung der pelagischen Fauna?
- Welche Nahrungsbeziehungen bestehen in der BGS?
- Wie hoch sind die Umsatzraten des sedimentierten POC in der Lebensgemeinschaft der benthischen Grenzschicht (Abbau von organischem Kohlenstoff, Respiration, Biomasseproduktion)?

2. VORAUSSETZUNG ZUR DURCHFÜHRUNG DES VORHABENS

Zur Durchführung des Projekts wurden am Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft der Universität Hamburg unter der Leitung von Prof. Dr. H. Thiel und am Institut für Meereskunde an der Universität Kiel unter Leitung von Prof. Dr. G.

Rheinheimer (bis 1993) und Prof. Dr. H.-G. Hoppe (1993-94) zwei Arbeitsgruppen etabliert. Die Arbeitsgruppen bestanden:

in Hamburg aus den Wissenschaftlern Prof. Dr. H. Thiel, Dr. B. Christiansen, Dipl. Biol. W. Beckmann, Dipl. Biol. R. Koppelman, Dr. H. Weikert, dem Ingenieur V. Nuppenau und den Technischen Assistentinnen B. Berghahn, K. Behrens, G. Gauger, K. Lampe und S. Peter;

in Kiel aus den Wissenschaftlern Prof. Dr. G. Rheinheimer, Prof. Dr. H.-G. Hoppe, Dr. K. Lochte (bis August 1990), Dr. O. Pfannkuche (bis September 1993), Dr. K. Poremba und der Technischen Assistentin K. Jeskulke.

Die Projektförderung erstreckte sich über den Zeitraum 1. Januar 1990 bis 31. Dezember 1994. Die Untersuchungen wurden vom Bundesminister für Forschung und Technologie als BIO-C-FLUX für den Zeitraum vom 1.1.1990 - 31.12.1992 (Förderkennzeichen 03F0565A / 03F0566A) und vom 1.1.1993 bis 31.12.1994 (FKZ 03F0094A / 03F00 B) gefördert.

3. PLANUNG UND ABLAUF DES VORHABENS

Die Planung der Untersuchungen wurde in enger Absprache mit dem Vorhaben JGOFS durchgeführt.

Hauptarbeitsgebiet war das schon im BIOTRANS-Vorhaben untersuchte BIOTRANS-Gebiet, das durch die Koordinaten 47° - $47^{\circ} 30'N$, 19° - $20^{\circ} W$ begrenzt wird (Abb.1). Die Wassertiefen liegen zwischen 3850m bis 4460m. Aus der Einbindung der Forschungsarbeiten von BIO-C-FUX in die Untersuchungen des internationalen JGOFS-Programmes wurde das Stationsnetz um zwei weitere Stationen im Madeira-Becken bei $34^{\circ} N/20^{\circ} W$ (Wassertiefe 5120m) und im Island-Becken bei $59^{\circ} N/20^{\circ} W$ (Wassertiefe 2900m) erweitert (Abb. 1). Diese Stationen wurden für das North Atlantic Bloom Experiment (NABE) im Jahre 1989 festgelegt (s.o.). Die BIO-C-FLUX-Arbeitsgruppe beprobte auf der METEOR-Reise 10/4 (Juli/August 1989), unmittelbar vor dem Ende des BIOTRANS-Projektes am 31. August 1989, zwei Stationen des JGOFS-Schnittes in $59^{\circ} N$ und $47^{\circ} N$ (ZEITZSCHEL et al. 1990). Diese Untersuchungen wurden im Jahre 1990 mit Arbeiten in $34^{\circ} N$ und $47^{\circ} N$ auf der METEOR-Reise Nr. 12/3 fortgesetzt (WEFER et al. 1991).

Eine weitere Reise diente der Erprobung von Meßmethoden für die Teilprojekte Benthologie und Mikrobiologie und dem Testeinsatz neuer Geräte und Geräteteilsysteme. Zu diesem Zweck wurde im Oktober 1991 eine Fahrt mit FS ALKOR in den Sognefjord unternommen, der mit 1300m Tiefe und ruhigen meteorologischen Bedingungen ideale Voraussetzungen zum Test von Tiefseegeräten bietet. Die Erprobungen dienten der Vorbereitung der METEOR-Expedition Nr. 21 (16.3. - 31.8.1992), an der die BIO-C-FLUX-Gruppe an vier Fahrabschnitten teilnahm (PFANNKUCHE et al. 1993).

Die Arbeiten von BIO-C-FLUX und der deutschen JGOFS-Gruppen waren als Prozeßstudien im Rahmen der Untersuchungen des internationalen JGOFS-Programms an den Stationen der JGOFS-Pilotstudie (1989, METEOR-Reise Nr. 10, s.o.) geplant. Ziel der Untersuchungen waren eine Quantifizierung der chemischen und biologischen Kohlenstoff-Fixierung und die Bestimmung der Flüsse kohlenstoffhaltiger Verbindungen und biologisch relevanter chemischer

Elemente innerhalb einer Produktionsperiode des Planktons. Dabei kam den Untersuchungen der ozeanischen Deckschicht und der Bodengrenzschicht, in denen neben den physikalischen und chemischen auch eine Intensivierung biologischer Prozesse stattfindet, eine besondere Bedeutung zu. Während die Untersuchungen der oberen Deckschicht durch JGOFS-Gruppen aus Kiel, Hamburg und Tübingen durchgeführt wurden, lag die Bearbeitung der BGS bei BIO-C-FLUX.

Die Beprobung eines mit Transpondern markierten Feldes von 3000 x 3000m Kantenlänge auf einer Tiefsee-Ebene bei 47° 10'N/ 19° 35'W (4560m Wassertiefe) wurde auf 4 Fahrabschnitten in den Monaten März bis Mai und August 1992 durchgeführt. Im März sollten die Verhältnisse vor der Planktonblüte (Nachwintersituation), im April und Mai während der Blüte und im August nach der Sedimentation der Blüte untersucht werden. Auf der Reise METEOR 21 konnten wiederum Probennahmen auch an den Stationen in 34° N und 59° N durchgeführt werden.

Die Reise METEOR Nr 27/2 (20.1. - 8.2.1994; PFANNKUCHE et al. 1994) diente der Vervollständigung der Datenserie der Reise METEOR Nr. 21. Ziel war es, die Prozesse in der BGS unter Winterbedingungen aufzunehmen.

Die Untersuchungen in Zusammenarbeit mit dem OMEX-Programm konzentrierten sich auf einen Transekt im Bereich des Goban Spur von der Great Sole Bank (Celtic Sea; 200m) bis in die Porcupine Seabight (4850m; Abb. 1). Für diese Untersuchungen wurde an Fahrten mit FS VALDIVIA (1993) und METEOR (1994) teilgenommen.

Schiffexpeditionen, die während des Antragszeitraums ausgewertet wurden:

METEOR-Reise 10/4,	15. Juli - 31. August 1989
METEOR-Reise 12/3,	27. Mai - 30. Juni 1990
ALKOR-Reise 22	22. Oktober - 04. November 1991
METEOR-Reise 21/1	16. März - 09. April 1992
METEOR-Reise 21/2	12. April - 06. Mai 1992
METEOR-Reise 21/3	09. Mai - 02. Juni 1992
METEOR-Reise 21/6	26. Juli - 31. August 1992
VALDIVIA Reise 137	23. Juni - 16. Juli 1993
METEOR-Reise 27/2	20. Januar - 08. Februar 1994
METEOR-Reise 30-1	7. September - 22. Oktober 1994

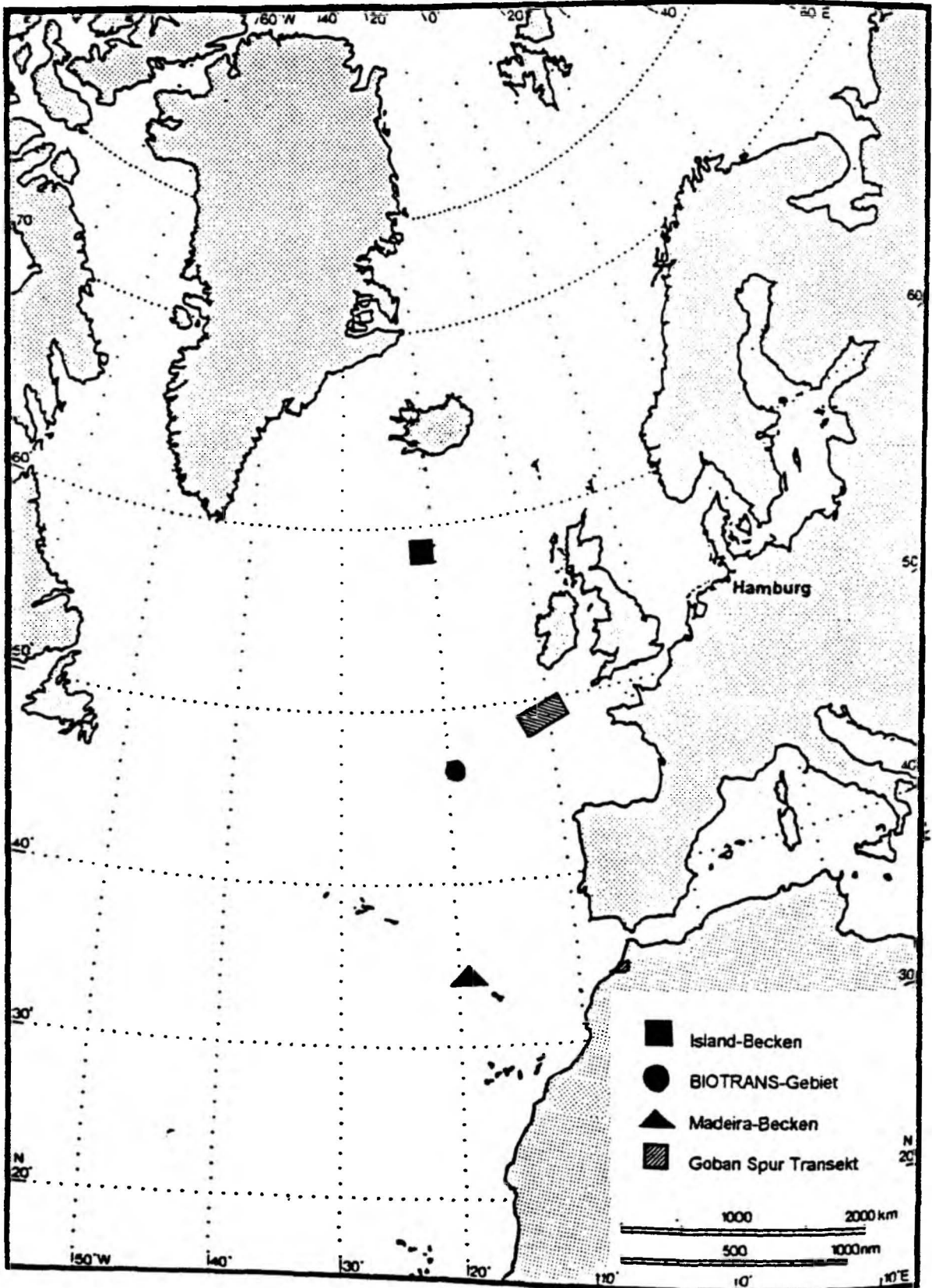


Abbildung 1: Untersuchungsgebiete des BIO-C-FLUX-Projekts im NO-Atlantik.

Figure 1: Investigation areas in the NE Atlantic sampled during the BIO-C-FLUX Project.

4. WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHER STAND, AN DEN ANGEKNÜPFT WURDE

Das Vorhaben BIO-C-FLUX schloß sich unmittelbar an das Projekt BIOTRANS an, das von demselben Wissenschaftlerkreis durchgeführt wurde. BIOTRANS (Biologischer Vertikaltransport und Energiehaushalt in der bodennahen Wasserschicht der Tiefsee - PFANNKUCHE et al. 1990), wurde an der zentralen Station des BIO-C-FLUX-Projekts in 47°N / 20°W durchgeführt. Die Ergebnisse von BIOTRANS legten die Grundvoraussetzung unseres Verständnisses über die Mechanismen der Biologie der bodennahen Wasserschicht und ermöglichten die Entwicklung technischer Methoden zur Bearbeitung des bodennahen Bereichs in der Tiefsee.

Der wissenschaftlich-technische Stand, an den angeknüpft wurde, war daher direkt aus den Ergebnissen von BIOTRANS gegeben.

5. ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN

Eine intensive Zusammenarbeit zur Frage der pelago-benthischen Kopplung wurde mit dem Institut für Meereskunde Kiel, Abt. Planktologie (Prof. Dr. B. Zeitzschel) und Abt. Meeresschemie (Prof. Dr. J.C. Duinker) durchgeführt. Hervorzuheben sind dabei die Untersuchungen auf den Reisen METEOR Nr. 10/4, 12/3, 21/1, 21/2, 21/3, 21/6 und 27/2.

LITERATUR 1 - 5

- DUCKLOW, H.W., & R.P. HARRIS, 1993: Introduction to the JGOFS North Atlantic Bloom Experiment. Deep-Sea Res. II, 40: 1-8.
- PFANNKUCHE, O., W. BECKMANN, B. CHRISTIANSEN, K. LOCHTE, G. RHEINHEIMER, H. THIEL & H. WEIKERT, 1990: BIOTRANS. Biologischer Vertikaltransport und Energiehaushalt in der bodennahen Wasserschicht der Tiefsee. Berichte aus dem Zentrum f. Meeres- und Klimaforschung der Universität Hamburg, 10: 159 pp.
- PFANNKUCHE, O., W. BALZER & F. SCHOTT, 1994: Carbon cycle and transport of water masses in the north Atlantic - the winter situation. Cruise No. 27; 29 December 1993 - 26 March 1994. METEOR-Ber., 94-6: 134pp.
- PFANNKUCHE, O., J.C. DUINKER, G. GRAF, R. HENRICH, H. THIEL & B. ZEITZSCHEL, 1993: NORDATLANTIK - 92; Reise Nr. 21; 16. März - 31. August 1992. METEOR-Ber., 93-4: 281pp.

- WEFER, G., W. WEIGEL & O. PFANNKUCHE, 1991: Ostatlantik 90-Expedition; Reise Nr. 12; 16. März - 30. Juni 1990. METEOR -Ber., 91-1: 166 pp.
- ZEITZSCHEL, B., J. LENZ, H. THIEL, R. BOJE, U. PASSOW & A. STUHR, 1990: Expedition Plankton '89 - Benthos '89; Reise Nr. 10; 19. März - 31. August 1989. METEOR Ber., 90-1: 216 pp.

6. DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE

6.1 Berichte und Ergebnisse aus der Arbeitsgruppe Benthopelagial und Plankton

6.1.1 Technische Entwicklungen

Die Erfassung der verschiedenen Gruppen innerhalb der benthopelagischen Fauna *sensu lato* vom Zooplankton bis zu den Fischen erfordert spezialisierte Probennahmetechniken. Im Rahmen des Projektes BIO-C-Flux konnten diese Techniken weiter optimiert werden. Damit gehört die benthopelagische Arbeitsgruppe des IHF mit den technischen Möglichkeiten und der Erfahrung im internationalen Vergleich zur Spitze bei der Erfassung der benthopelagischen Tiefseefauna. Vergleichbare Expertisen sind zur Zeit nur in den USA sowie, eingeschränkt, in Großbritannien und Frankreich vorhanden.

Benthopelagische Amphipoden („scavengers“) wurden mit einer beköderten Freifall-Reusenkeite gefangen, die eine Auflösung der Vertikalstruktur von 0 bis 500m über Grund ermöglicht. Ein Freifall-Amphipodenrespirometer, mit dem Amphipoden in Meßkammern gelockt werden, in denen ihr Sauerstoffverbrauch gemessen wird, wurde erfolgreich getestet.

Für den Fang von benthopelagischen Fischen wurde ein Ottertrawl (Scherbrettnetz) erfolgreich in Wassertiefen bis 4550m eingesetzt. Durch ein extrem langsames Hieven in den oberen 1000m konnte das Herausdrücken der Fischmägen durch die wegen der Dekompression expandierende Schwimmblase stark eingeschränkt werden. Darüberhinaus wurde zum Fang von benthopelagischen Fischen ein neu entwickeltes Freifall-Langleinensystem eingesetzt (Abb. 2). Dieses besteht aus einem akustischen Auslöser mit Auftrieb, einem Ballastgewicht sowie einer 20m langen Leine mit Scherkörper. An dieser Leine sind im Abstand von 1m Angelhaken mit jeweils ca. 1m Vorfach befestigt. Die Haken werden beködert. Dieses zeigen, daß mit der Langleine ein Größenspektrum von Fischen gefangen wird, das mit dem Ottertrawl nicht erfaßt wird (Martin 1994).

Für die quantitative Erfassung der epibenthischen Megafauna und der benthopelagischen Fische wurde das IHF-Fototrawl eingesetzt. Das Fototrawl wird am Boden geschleppt und ermöglicht gleichzeitig die fotografische Aufnahme und den Fang von epibenthischer Megafauna. Im Rahmen des Projektes BIO-C-Flux wurde das Fototrawl mit einer Fernsehanlage ausgerüstet (CHRISTIANSEN & NUPPENAU subm.). Damit können Fernsehbilder in Echtzeit über das Schleppkabel auf einen Bordmonitor übertragen werden.

Mit dieser Anlage wurde eine genaue Steuerung des Trawls auf dem Meeresgrund möglich. Außerdem konnten die Videoaufnahmen zur Bestandsabschätzung der benthopelagischen Fische herangezogen werden.

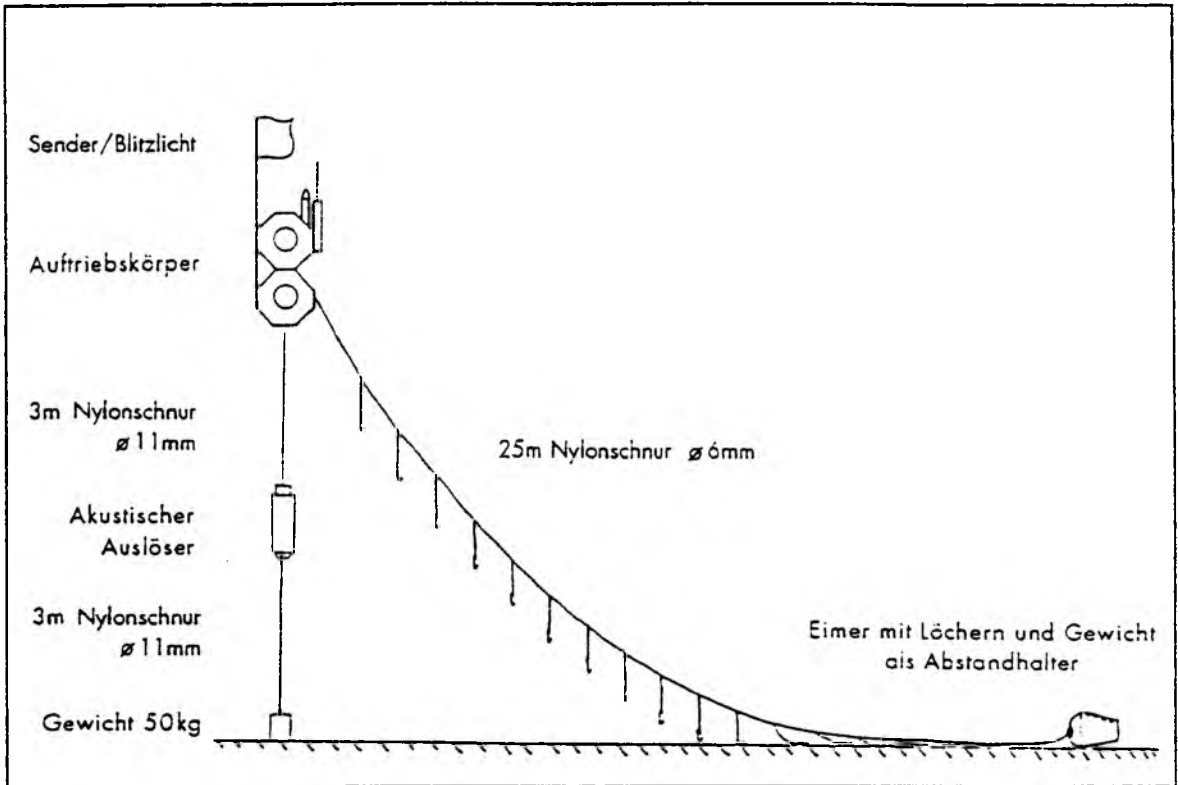


Abbildung 2: Das IHF-Freifall-Langleinensystem

Figure 2: The IHF free vehicle long line system

Die Tiefsee-Fernsehanlage wurde auch in einem im Rahmen des Projektes entwickelten Tiefsee-Beobachtungssystem (Deep-sea Observation System, DOS) eingesetzt. Das DOS besteht aus einem Rahmen, in den eine Fotokamera mit Blitz sowie die Fernsehkamera mit Scheinwerfern und Telemetrieinheit eingebaut sind (CHRISTIANSEN 1993). Die Kameras zeigen senkrecht nach unten. Das System wird in ca. 3m Höhe bei treibendem Schiff oder langsamer Fahrt über dem Boden gehalten und kann, im Gegensatz zum Fototrawl, auch über unebenem und felsigem Grund eingesetzt werden.

LITERATUR:

CHRISTIANSEN, B., 1993: A television and photographic survey of megafaunal abundance in central Sognefjorden, western Norway. *Sarsia*, 78: 1-8.

CHRISTIANSEN, B. & V. NUPPENAU (subm.): The IHF-Fototrawl: a television-controlled, deep-sea epibenthic sledge.

MARTIN, B., 1994: Vergleichende Untersuchungen zur Bestandsgröße und Nahrungsökologie benthopelagischer Tiefseefische auf zwei Stationen des NO-

Atlantiks (59°N/20°W und 47°N/20°W). Diplomarbeit Fachbereich Biologie, Universität Hamburg. 76pp.

6.1.2 Verlauf der Arbeiten

Ziel der Untersuchungen im Benthopelagial war eine Abschätzung der Bestände und des Kohlenstoffbedarfs der benthopelagischen Fauna im Vergleich zum Eintrag aus höheren Wasserschichten und im Vergleich zum Benthos. Die Untersuchungen basieren im wesentlichen auf dem Material, das auf den METEOR-Expeditionen M10 (1989), M12 (1990) und M21 (1992) gewonnen wurde. Die Arbeitsgruppe beteiligte sich auch an der Expedition M27 (1994), auf der aber wegen des extrem schlechten Wetters keine Proben genommen werden konnten.

6.1.3 Vertikalverteilung und Variabilität des Zooplanktons in der bodennahen Wasserschicht des BIOTRANS-Gebietes

B. CHRISTIANSEN, B. DRÜKE & R. KOPPELMANN

Auf der Expedition M21-6 konnten mit einem 1m²-Doppel-MOCNESS Fänge im bodennahen Bereich der Tiefsee durchgeführt werden, die erstmals eine Untersuchung der Variabilität des Zooplanktons auf verschiedenen Skalen ermöglichen und vertikale Gradienten statistisch abgesichert nachweisen können.

Jeweils drei Tiefenhorizonte (20 müG, 50 müG, 100 müG) wurden mit dem 1m²-Doppel-MOCNESS an 2 Stationen (Hol 4, Hol 10) befishet, die ca. 11 sm auseinanderlagen. In jeder Tiefenstufe wurden pro Hol 2 Doppelproben (2 Netze gleichzeitig geöffnet) direkt nacheinander genommen. Somit bekommt man Informationen über die Variabilität auf 3 verschiedenen Skalen: 1. Variabilität zwischen Parallelfängen (enthält methodische Fehler und kleinräumige Unterschiede), 2. Variabilität zwischen kurz nacheinander genommenen Proben (mittelskalige Unterschiede im Bereich von mehreren hundert Metern), 3. Variabilität zwischen Hols (großräumige bzw. zeitliche Unterschiede im Bereich von mehreren Kilometern bzw. mehreren Tagen).

Während die Unterschiede zwischen kurz nacheinander genommenen Proben nicht signifikant größer waren als die zwischen den Parallelfängen, wurde durch Unterschiede zwischen den Hols eine signifikante, über die klein- und mittelskalige Variabilität hinausgehende, zusätzliche Variabilität in der Gesamtindividuentichte und der Konzentration der meisten Taxa eingebracht. Fast alle untersuchten Gruppen hatten in Hol 10 signifikant höhere Individuentichten als in Hol 4. Nur die Metridinidae und die Lucicutiidae zeigten in Hol 4 höhere Konzentrationen, während für die Amphipoda, diverse Malacostraca, Poecilostomatoida, Aetidiidae und Heterorhabdidae keine Unterschiede nachgewiesen werden konnten.

Es deutet sich an, daß die klein- und mittelskalige Variabilität im bodennahen Bereich höher ist als in den darüberliegenden Wasserschichten des Bathypelagials. Mittelskalige regionale Unterschiede in der Planktonkonzentration, wie sie zwischen den beiden untersuchten Hols

auftraten, konnten bisher für bodennahe planktische Lebensgemeinschaften in der Tiefsee nicht nachgewiesen werden.

Unterschiede zwischen den Tiefenhorizonten in der bodennahen Wasserschicht konnten für die Biomasse nachgewiesen werden. Die Vertikalverteilung der Biomasse (Naßgewichte) zeigt Abbildung 3. In beiden Hols ist die Biomasse in der 20müG-Stufe signifikant ($p < 0.01$) höher als in den beiden darüberliegenden Tiefenhorizonten.

Dieser Unterschied läßt sich in der Organismenkonzentration nicht nachweisen. In Abbildung 4 ist die Abundanz des Zooplanktons in denselben Tiefenstufen dargestellt. In Hol 10 deutet sich eine leichte Abnahme der Individuendichte mit Annäherung an den Boden an. Es bestehen jedoch an beiden Stationen keine statistisch gesicherten Unterschiede zwischen den Tiefenstufen.

Die Zunahme der Zooplanktonbiomasse mit Annäherung an den Boden ist also nicht auf eine Zunahme der Individuendichte zurückzuführen, sondern die durchschnittliche Größe der Planktonorganismen nimmt zu.

Die zahlenmäßig vorherrschende Organismengruppe in allen 3 Tiefenstufen waren die Copepoden (Abb. 5). Ihr Anteil lag zwischen 48 und 78%, mit einem generell höheren relativen Anteil in Hol 10 als in Hol 4. Hohe relative Anteile hatten weiterhin die Ostracoden (8-33%) und die Chaetognathen (8-20%). Eine signifikante Zunahme der Individuendichte mit der Tiefe konnte für die Amphipoda, die harpacticiden Copepoda und die calanoide Copepodenfamilie Arietellidae nachgewiesen werden, während die Calanoidenfamilie Metridinidae signifikant geringere Individuendichten in der bodennächsten Fangstufe aufwies.

Die nachgewiesenen vertikalen und horizontalen bzw. zeitlichen Unterschiede zeigen, daß auch das Pelagial, wie bereits für das Benthos nachgewiesen (z.B. Pfannkuche 1990), im bodennahen Bereich der Tiefsee keinen einheitlichen Lebensraum darstellt. Dabei spielen neben vertikalen Gradienten physikalisch/chemischer Parameter u.U. auch Einflüsse der Topographie eine Rolle. Für das Bestreben, die Kohlenstoffdepotwirkung z.B. im Rahmen von JGOFS weiter aufzuklären, sind Daten über die benthopelagische bzw. pelagobenthische Kopplung von grundsätzlicher Bedeutung. Eine Beurteilung solcher Daten ist nur möglich, wenn Informationen über die Variabilität vorliegen.

LITERATUR:

- DRÜKE, B., 1993: Untersuchung zur Verteilung des bodennahen Zooplanktons und Mikronektons im Nordost-Atlantik. Diplomarbeit Fachber. Biologie Universität Hamburg. 62 + 15pp.
- PFANNKUCHE, O., 1990: Makro-, Meiobenthos, Sedimentchemie. In: PFANNKUCHE, O., W. BECKMANN, B. CHRISTIANSEN, K. LOCHTE, G. RHEINHEIMER, H. THIEL & H. WEIKERT (ed.): BIOTRANS - Biologischer Vertikaltransport und Energiehaushalt in der bodennahen Wasserschicht der Tiefsee. Berichte aus dem Zentrum für Meeres- und Klimaforschung der Universität Hamburg, 10: 16-51.

ZOOPLANKTON BIOMASS DISTRIBUTION

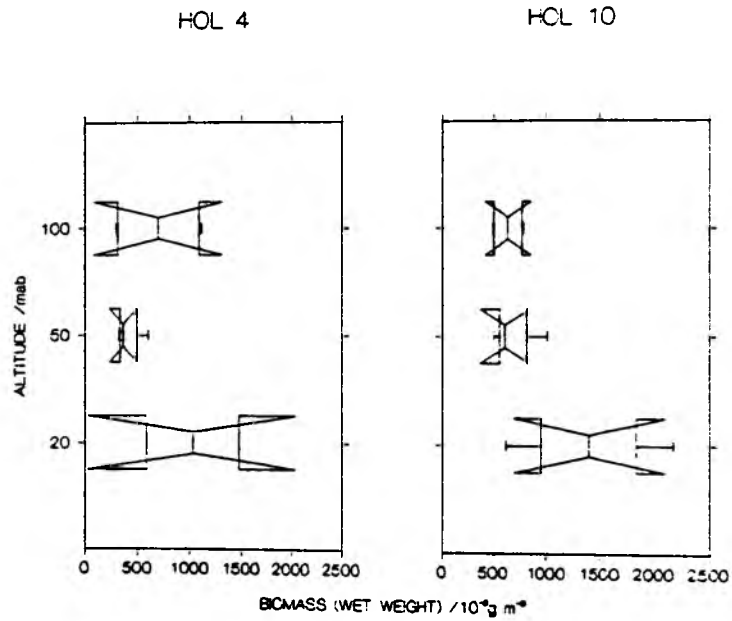


Abbildung 3: Vertikalverteilung der Zooplanktonbiomasse im BIOTRANS-Gebiet.

Figure 3: Vertical distribution of zooplankton biomass in the BIOTRANS area.

ZOOPLANKTON DENSITY DISTRIBUTION

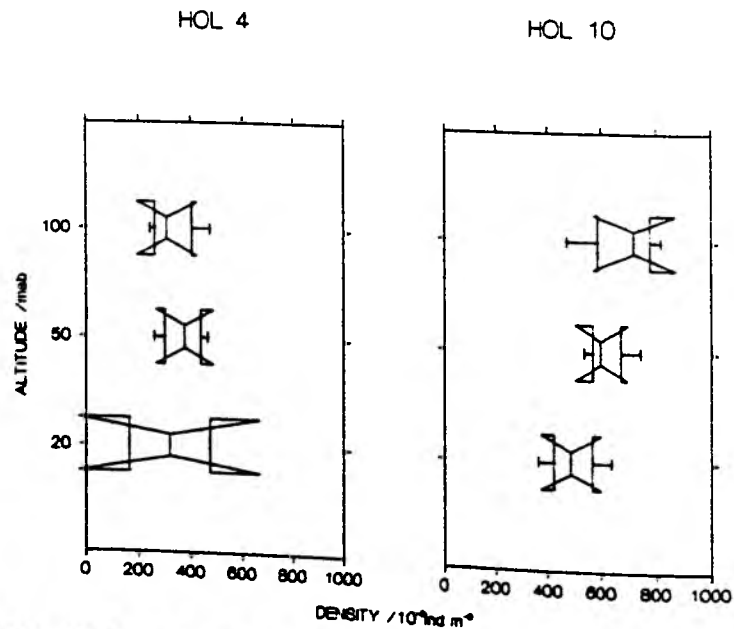


Abbildung 4: Vertikalverteilung der Zooplanktonabundanz im BIOTRANS-Gebiet.

Figure 4: Vertical distribution of zooplankton abundance in the BIOTRANS area.

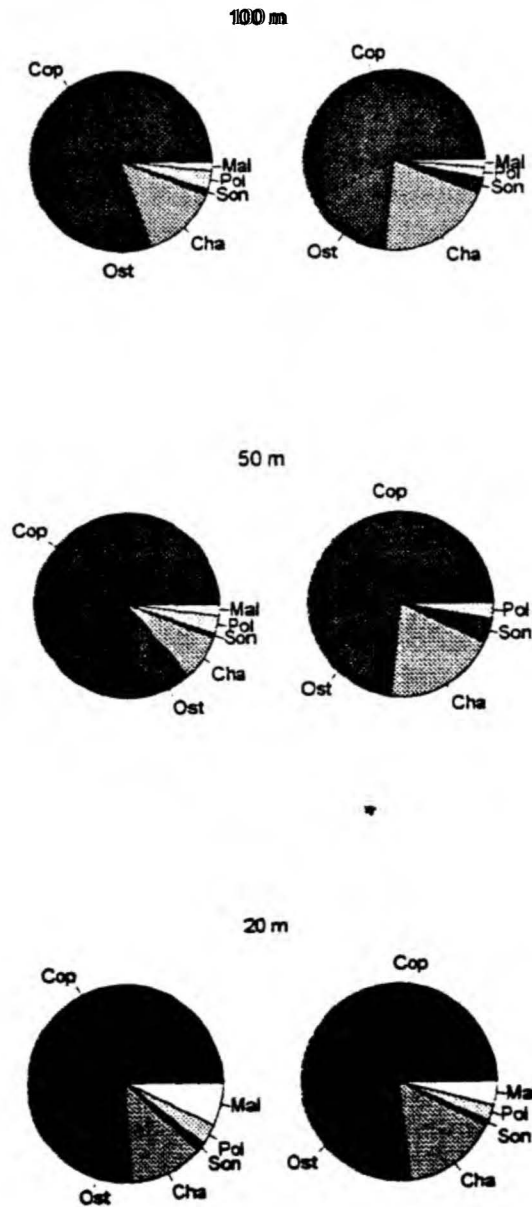


Abbildung 5: Relative Anteile der wichtigsten taxonomischen Gruppen an der Gesamtindividuenzahl.

Figure 5: The most important taxonomic groups and their proportional contribution to the total number of individuals.

6.1.4 Bestand und Kohlenstoffbedarf der benthopelagischen Tiefseefauna

B. CHRISTIANSEN

Aufgrund der wenigen Informationen über die Bestände und die Aktivität der benthopelagischen Fauna in der Tiefsee sind Untersuchungen über ihre Rolle im Kohlenstofffluß bisher sehr selten (z.B. SMITH 1992, CHRISTIANSEN 1994). Ziel der vorliegenden Untersuchung war ein Vergleich der Bestände und des Kohlenstoffbedarfs der benthopelagischen Fauna auf zwei JGOFS-Stationen im NO-Atlantik. Als „Benthopelagial“ wird hier der Bereich vom Meeresboden bis 100m über Grund definiert. Das in diesem Bereich lebende Zooplankton, Mikronekton, Nekton und die epibenthische Megafauna wird hier unter dem Begriff „benthopelagische Fauna *sensu lato*“ zusammengefaßt.

Die nördliche Untersuchungsstation lag im Island-Becken auf 59°N/20°W. Die Wassertiefe betrug hier 3000m. Die südliche Station im Westeuropäischen Becken (BIOTRANS-Gebiet, 47°N/19°W) hatte eine Wassertiefe von 4500m. Verschiedene Methoden wurden angewendet, um die einzelnen Kompartimente der benthopelagischen Fauna zu erfassen. Für den Fang von Zooplankton wurde ein 1m²-MOCNESS bzw. Doppel-MOCNESS eingesetzt, die in definierten Abständen über dem Grund horizontal geschleppt wurden. Die quantitative Bestimmung der Megafauna wurde mit einem Fototrawl durchgeführt. Die fotografischen Aufnahmen dienten dabei zur Abundanz- und Größenbestimmung, während mit Hilfe der Netzfänge die Biomasse berechnet wurde (CHRISTIANSEN & THIEL 1992). Mit Hilfe von Video- und Fotoaufnahmen des Foto-/Videotrawls, Ottertrawlfängen und Langleinen wurde das Ichthyonekton erfaßt. Beköderte Reusen dienten zum Fang nekrophager Amphipoden. Ihre Konzentration wurde aus den Fangzahlen nach einem Modell von SAINTE-MARIE & HARGRAVE (1987) bestimmt, das auf der Ausbreitung von Duftstoffen unter Berücksichtigung der Strömungsgeschwindigkeit, der turbulenten Austauschraten und der Schwimmgeschwindigkeit der Amphipoden beruht. Das Modell wurde dahingehend modifiziert, daß eine Anlockung der Amphipoden aus einem dreidimensionalen Raum angenommen wurde (CHRISTIANSEN, in press). Die Bestandsdichten des Zooplanktons und der Amphipoden wurden von 0 bis 100m über Grund integriert, um die Gesamtbestände innerhalb des Benthopelagials zu bestimmen.

Die Strukturanalyse des Benthopelagials zeigt, daß eine Akkumulation von Biomasse zum Boden hin stattfindet. Dies ist zum großen Teil auf die Megafauna zurückzuführen, die weitgehend auf die Sedimentoberfläche beschränkt ist. Bei den Fischen wird angenommen, daß sie im wesentlichen im Bereich wenige Meter über Grund konzentriert sind. Dies wird von den Foto- und Videoaufnahmen aus dem Untersuchungsgebiet bestätigt, obwohl Macrouriden auch schon in erheblichem Abstand vom Meeresboden gefangen wurden (HAEDRICH 1974).

Im BIOTRANS -Gebiet zeigt das Zooplankton im Horizont 20m über Grund eine signifikant höhere Biomassekonzentration als bei 50 und 100m über Grund (Abb. 6). Die Abundanz ist bei 20m aber geringer, so daß die Zunahme auf eine Erhöhung der Durchschnittsgröße zurückzuführen ist. Im Island-Becken konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Tiefenhorizonten nachgewiesen werden. (Abb. 7).

Das Mikronekton zeigt im BIOTRANS-Gebiet eine leicht erhöhte Biomassekonzentration im Bereich 10 und 20m über Grund, die Unterschiede zu den höheren Horizonten sind aber statistisch nicht signifikant.

ZOOPLANKTON BIOMASS DISTRIBUTION

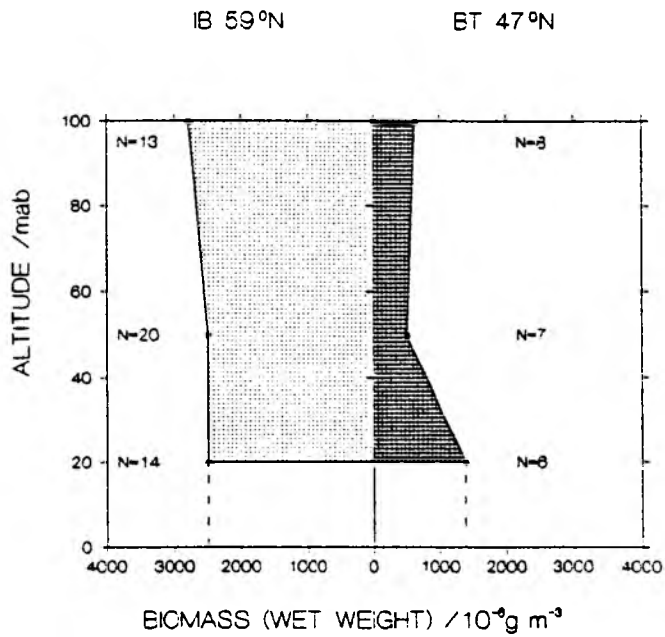


Abbildung 6: Verteilung des Zooplanktonbestandes (Biomasse/Nußgewicht).

Figure 6: Distribution of zooplankton standing stock (biomass/wet weight).

MICRONEKTON BIOMASS DISTRIBUTION 47°N

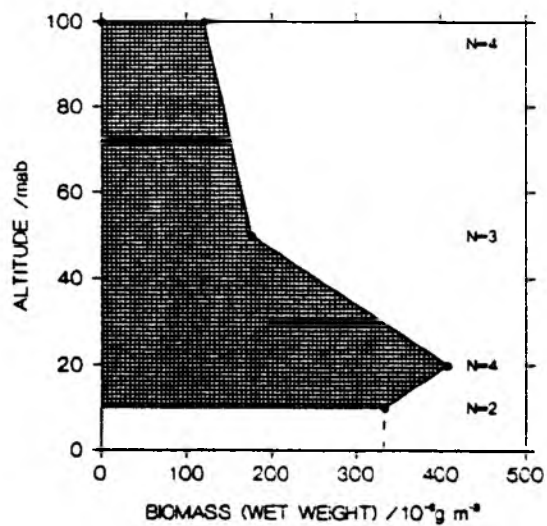


Abbildung 7: Verteilung des Mikronektonbestandes im BIOTRANS-Gebiet (Biomasse/Nußgewicht).

Figure 7: Distribution of micronekton standing stock in the BIOTRANS area (biomass/wet weight).

Die Biomasseverteilung der benthopelagischen Amphipoden weist eine klare Zunahme zum Boden hin auf (Abb. 8). Dies ist auf die hohe Anzahl kleiner Amphipodenarten direkt am oder über dem Grund zurückzuführen (CHRISTIANSEN, in press). Betrachtet man die große Art *Eurythenes gryllus*, differenziert sich das Bild. Im BIOTRANS-Gebiet liegt das Biomassemaximum zwischen 0 und 15m über Grund, während es sich im Island-Becken auf 100-300m verschiebt (Abb. 9).

Generell ist die Biomasse aller untersuchten benthopelagischen Faunenelemente, mit Ausnahme der nektischen Amphipoden, im BIOTRANS-Gebiet geringer als im Island-Becken. Innerhalb der einzelnen Gruppen der benthopelagischen Fauna gibt es aber Unterschiede (Abb. 10). Die Biomasse des Zooplanktons ist im Island-Becken mit 22 mgCm^{-2} ca. dreimal so hoch wie im BIOTRANS-Gebiet (7 mgCm^{-2}). Ähnlich ist der Unterschied im Bestand der Megafauna (240 bzw. 90 mgCm^{-2}), wobei im Island-Becken Holothurien und im BIOTRANS-Gebiet Aktinien dominieren. Der Bestand der benthopelagischen Fische ist dagegen im Island-Becken mit 330 mgCm^{-2} um mehr als eine Größenordnung höher als im BIOTRANS-Gebiet (11 mgCm^{-2}). Im Gegensatz zu diesen Gruppen deutet sich für die benthopelagischen Amphipoden mit 1 mgCm^{-2} im BIOTRANS-Gebiet eine höhere Bestandsdichte als im Island-Becken mit 0.3 mgCm^{-2} an.

Entsprechend ist die Bedeutung der einzelnen Faunenkomponenten für den Kohlenstofffluß in beiden Gebieten unterschiedlich. Der respiratorische Kohlenstoffbedarf der benthopelagischen Fauna *sensu latu* beträgt $1.2 \text{ mgC m}^{-2}\text{d}^{-1}$ im Island-Becken und $0.6 \text{ mgCm}^{-2}\text{d}^{-1}$ im BIOTRANS-Gebiet. Daran hat die Megafauna mit 83 bzw. 95% den weitaus höchsten Anteil (Abb. 11). Im Island-Becken ist der Anteil des Ichthyonektons (12%) höher als der des Zooplanktons (4%), während es im BIOTRANS-Gebiet umgekehrt ist (1% bzw. 3%). Der Anteil der Amphipoden ist in beiden Gebieten relativ gering, liegt aber im BIOTRANS-Gebiet in der gleichen Größenordnung wie der des Zooplanktons. Im zentralen Nordostpazifik wurden von SMITH (1992) ähnliche Verhältnisse wie im BIOTRANS-Gebiet gefunden.

Eine Bilanzierung des Kohlenstoffflusses und der Biomassen ist in Abbildung 12 noch einmal für beide Untersuchungsgebiete zusammenfassend dargestellt. Die Unterschiede in der relativen Bedeutung der einzelnen Komponenten des Benthopelagos für den Kohlenstofffluss weisen nicht nur auf eine verschieden hohe Oberflächenproduktion in den Gebieten hin, sondern auch auf eine unterschiedliche Struktur des Nahrungsnetzes. Der hohe Anteil von Nekton im Island-Becken deutet auf einen höheren Eintrag größerer Partikel oder ausgeprägtere Vertikalwanderung hin. Im BIOTRANS-Gebiet scheint dagegen die Sedimentation kleinerer Partikel eine größere Rolle zu spielen.

Angaben über den Kohlenstoffeintrag aus der euphotischen Zone und den Kohlenstofffluß im Benthos liegen nur aus dem BIOTRANS-Gebiet vor. Der Kohlenstoffbedarf des Benthos (basierend auf der Gemeinschaftsrespiration ohne Megafauna, PFANNKUCHE 1993) liegt hier um rund eine Größenordnung höher als der der benthopelagischen Fauna *sensu latu* (inklusive Megafauna). Allerdings sind beim Benthos die Bakterien enthalten, die den weitaus größten Teil der Aktivität ausmachen. Gemessen an der mit Hilfe von Sinkstoffallen bestimmten Sedimentationsrate (HONJO & MANGANINI 1993) von $4000 \mu\text{g C m}^{-1}\text{d}^{-1}$, würde die benthopelagische Fauna rund 15% des sedimentierenden partikulären Kohlenstoffs verbrauchen, unter Berücksichtigung des Bakterioplanktons sogar 18%.

Für das Island-Becken sind zwar keine Partikelflußdaten bekannt, die Primärproduktion ist jedoch 1-2mal so hoch wie im BIOTRANS-Gebiet. Unter Berücksichtigung der geringeren Wassertiefe kann man somit einen Wert von ca. $8000 \mu\text{g C m}^{-2}\text{d}^{-1}$ für den Partikelfluß

annehmen. Dies bedeutet, daß die benthopelagische Fauna wie im BIOTRANS-Gebiet rund 15% des sedimentierenden partikulären Kohlenstoffs verbrauchen würde. Der Bedarf des Benthos wird auf rund $9000 \mu\text{gCm}^{-1}\text{d}^{-1}$ geschätzt, so daß eine ähnliche Diskrepanz zwischen sedimentierendem Kohlenstoff und dem Kohlenstoffbedarf der Fauna in der bodennahen Grenzschrift besteht wie im BIOTRANS-Gebiet, wobei allerdings im Island-Becken der Anteil der benthopelagischen Fauna am Gesamtkohlenstoffbedarf der benthischen Grenzschrift etwas höher liegt.

Die sehr hohen Werte für den Kohlenstoffbedarf der benthopelagischen Fauna, die auf eher unterschätzten Gesamtrespirationswerten für das Benthopelagos beruhen, implizieren unter Berücksichtigung des benthischen Kohlenstoffbedarfs, daß Nahrung noch auf anderen Wegen verfügbar ist, z.B. in Form großer, schnell absinkender Partikel oder über aktive Vertikalwanderungen. Für die benthopelagischen Fische wurde nachgewiesen, daß sie sich u.a. von Tintenfischen ernähren, die im Epi- und Mesopelagial leben und sicherlich als Aas aufgenommen wurden (MARTIN 1994, s.u.). Damit ist ein zusätzlicher Eintrag von organischer Substanz in die Tiefsee gegeben, der in Sedimentfallen nicht erfaßt wird.

Auch im Pazifik wurde ein Defizit zwischen gemessenem Kohlenstoffeintrag und Kohlenstoffkonsum der BGS festgestellt (SMITH 1992). Er kann nicht allein auf methodisch bedingte Fehler in der Abschätzung des Vertikalfusses durch Sinkstoffallen zurückgeführt werden.

LITERATUR:

- CHRISTIANSEN, B., 1994: Bestand und respiratorischer Kohlenstoffbedarf der benthopelagischen Fauna in der Tiefsee des NO-Atlantiks. In: Giese, M. & G. Wefer (eds.): Bericht über den 2. JGOFS-Workshop 18./19. November 1993 in Bremen. Berichte, Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen, Nr. 45, Bremen, 23-24.
- CHRISTIANSEN, B. (in press): Bait-attending amphipods in the deep sea: A comparison of 3 localities in the NE Atlantic. J. mar. biol. Ass. U.K.
- CHRISTIANSEN, B. & H. THIEL, 1992: Deep-sea epibenthic megafauna of the northeast Atlantic: Abundance and biomass at three mid-oceanic locations estimated from photographic transects. In: Rowe, G.T. & V. Pariente. (eds.): Deep-sea food chains and the global carbon cycle. NATO ASI Series Kluwer Academic Publishers, 125-138.
- HAEDRICH, R.L., 1974: Pelagic capture of the epibenthic rattail *Coryphaenoides rupestris*. Deep-Sea Res. 21: 977-979.
- HONJO, S. & S.J. MANGANINI, 1993: Annual biogenic particle fluxes to the interior of the North Atlantic Ocean; studied at 37°N 21°W and 48°N 21°W. Deep-Sea Res. 40: 1323-1344.
- MARTIN, B., 1994: Vergleichende Untersuchungen zur Bestandsgröße und Nahrungsökologie benthopelagischer Tiefseefische auf zwei Stationen des NO-Atlantiks (59°N/20°W und 47°N/20°W). Diplomarbeit Fachbereich Biologie, Universität Hamburg. 76pp.
- PFANNKUCHE, O., 1993: Benthic response to the sedimentation of particulate organic matter at the BIOTRANS station, 47°N, 20°W. Deep-Sea Res. II 40: 135-149.

SAINTE-MARIE, B., & B.T. HARGRAVE, 1987: Estimation of scavenger abundance and distance of attraction to bait. *Mar. Biol.* 94: 431-443.

SMITH JR., K.L., 1992: Benthic boundary layer communities and carbon cycling at abyssal depths in the central North Pacific. *Limnol. Oceanogr.* 37: 1034-1056.

AMPHIPOD BIOMASS DISTRIBUTION

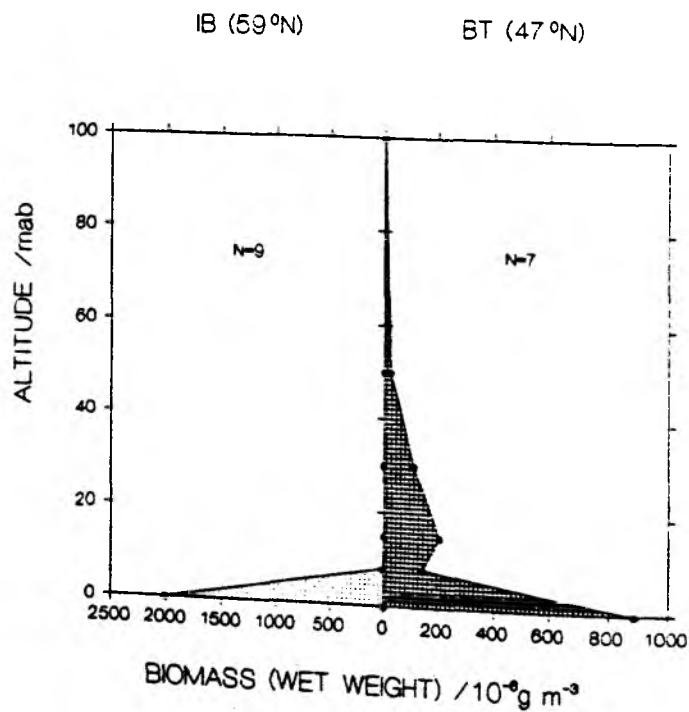
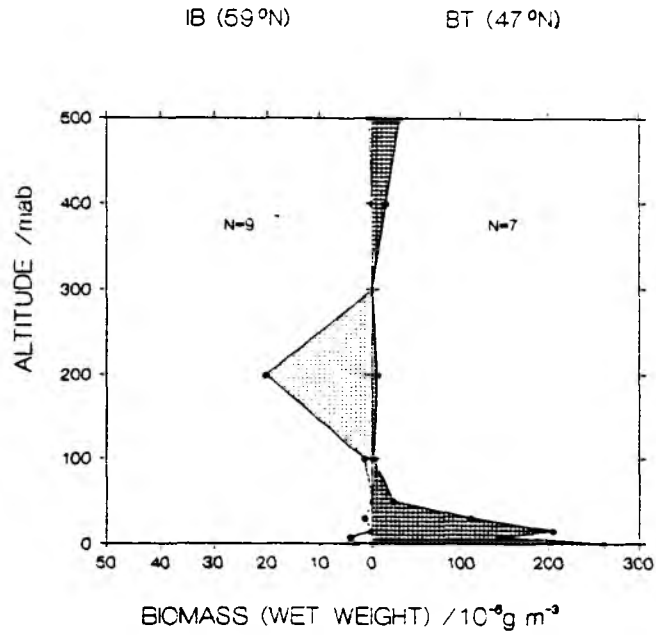


Abbildung 8: Verteilung des Amphipodenbestandes (Biomasse/Naßgewicht)

Figure 8: Distribution of amphipoda standing stock (biomass/wet weight).

EURYTHENES BIOMASS DISTRIBUTION



EURYTHENES BIOMASS DISTRIBUTION

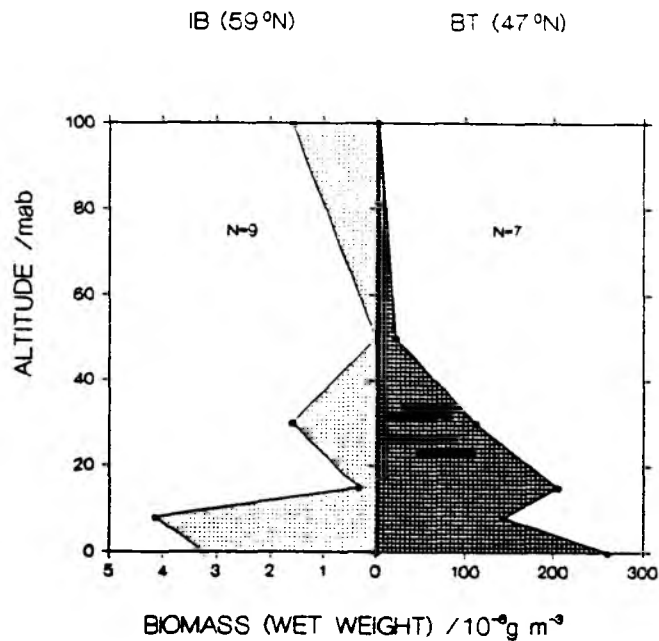


Abbildung 9 a, b: Verteilung des Bestandes von *Eurythenes gryllus* (Biomasse/Naßgewicht). a) 0-500m b) 0-100 m

Figure 9 a, b: The distribution of *Eurythenes gryllus* (biomass/wet weight. a) 0-500m above ground, b) 0-100m above ground.

STANDING STOCK (BIOMASS)

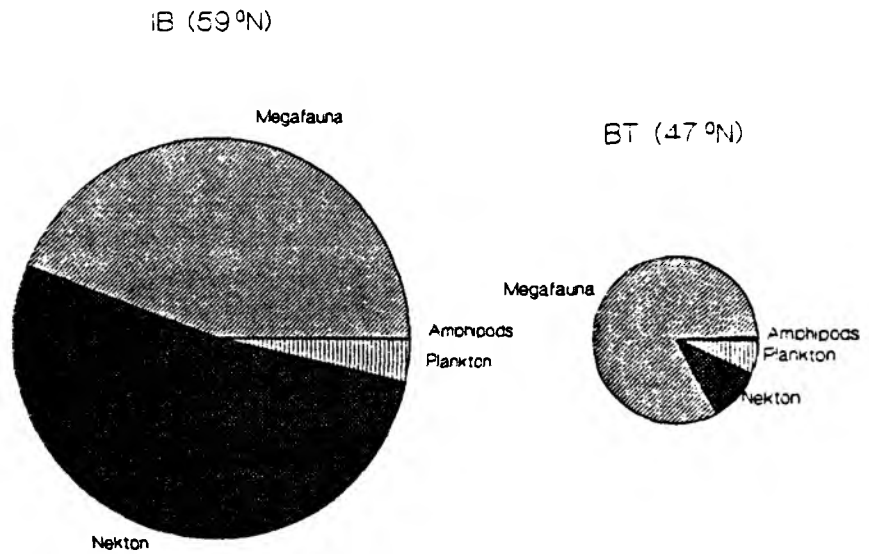


Abbildung 10: Relative Anteile der Großgruppen an der Gesamtbiomasse

Figure 10: Proportional contributions of the large faunal groups to the total biomass.

CARBON DEMAND

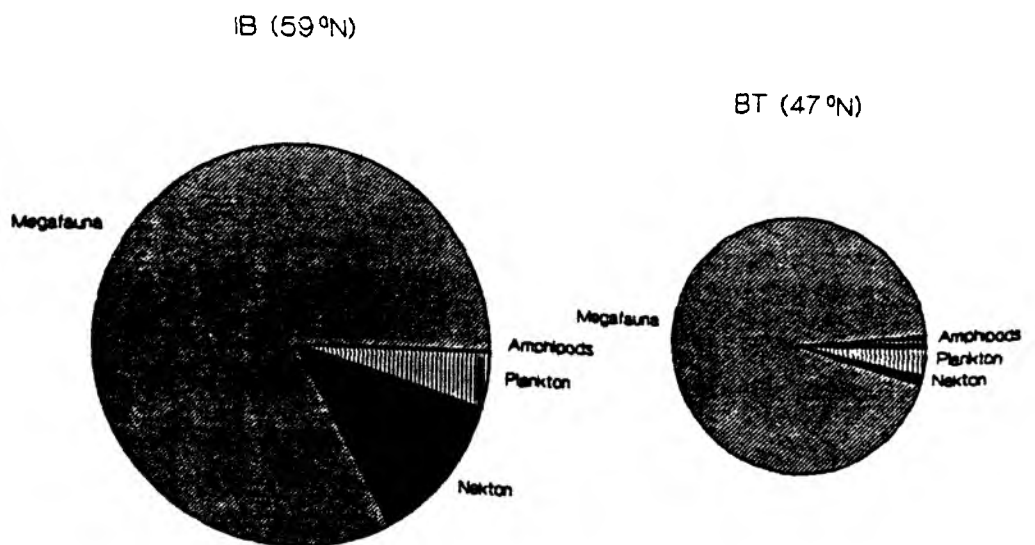


Abbildung 11: Relative Anteile der Großgruppen am Kohlenstoffbedarf

Figure 11: Proportional contributions of the large faunal groups to the carbon consumption.

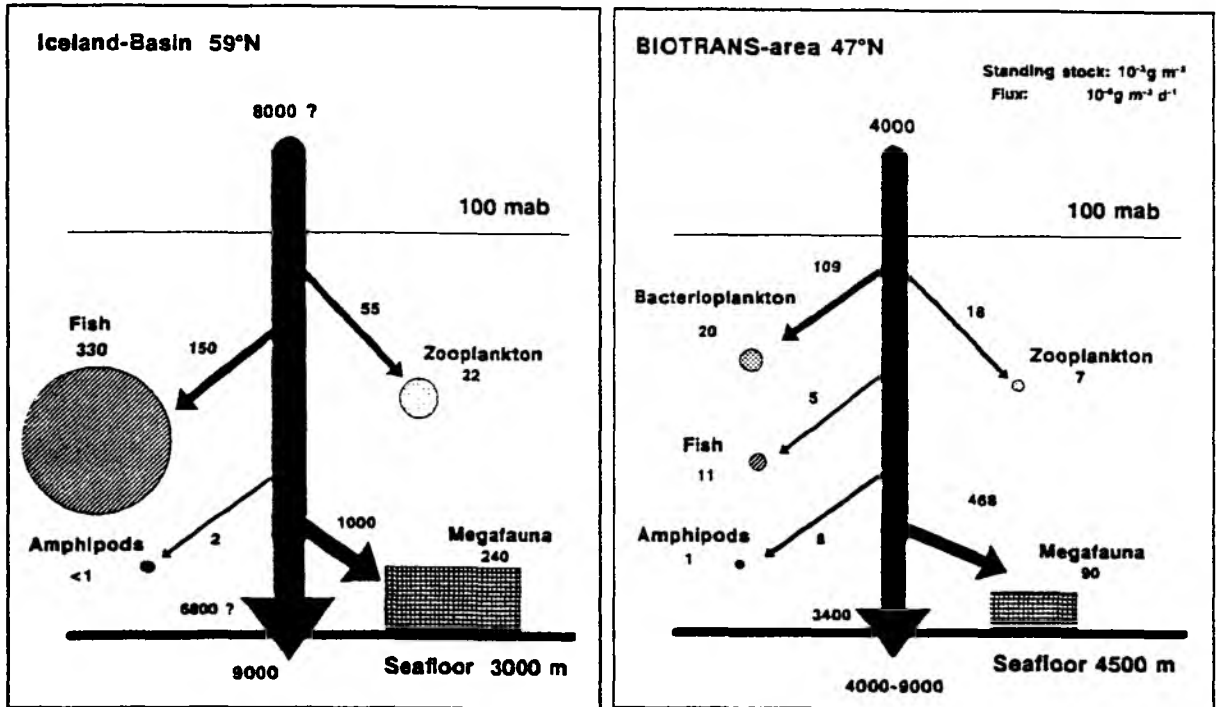


Abbildung 12: Biomasse und Kohlenstoffbedarf der benthopelagischen Fauna im Island-Becken und im BIOTRANS-Gebiet. Die Pfeile geben nicht die tatsächlichen Wege des Kohlenstoffflusses an, sondern veranschaulichen nur die Menge des verbrauchten C im Verhältnis zum Eintrag. Zahlen unter den Gruppen: auf Kohlenstoff bezogene Biomassebestände in mg m^{-2} . Zahlen unter den Pfeilen: respiratorischer Kohlenstoffbedarf in $\mu\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Figure 12: Biomass and carbon consumption of the benthopelagic fauna in the Iceland Basin and in the BIOTRANS-area. The arrows do not indicate the actual pathways of carbon flux but illustrate the relation between total carbon consumption and carbon import. Numbers below faunal groups: biomass standing stock in terms of carbon in mg m^{-2} . Numbers below arrows: respiratory carbon consumption in $\mu\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

6.1.5 Bestand, Zusammensetzung und Nahrung benthopelagischer Tiefseefische

B. MARTIN & B. CHRISTIANSEN
(siehe auch MARTIN 1994)

Benthopelagische Fische können wegen ihres großen Nahrungsaufnahmevermögens und ihrer hohen Mobilität eine wichtige Rolle im Stoffumsatz und in der Verteilung von Nahrungspartikeln in der Tiefsee spielen. Außerdem wird angenommen, daß sie zum aktiven Vertikaltransport organischer Substanz beitragen, denn es gibt Hinweise darauf, daß die Larvalentwicklung in oberflächennahen Wasserschichten stattfindet (PRIEDE 1994). Wegen der methodischen Schwierigkeiten, größere Fische mit Netzen in Wassertiefen von über 2000m zu fangen, sind Untersuchungen über benthopelagische Fische aus dem Bathyal relativ selten.

Benthopelagische Fische wurden im BIOTRANS-Gebiet und im Island-Becken mit Hilfe eines Ottertrawls und mit Freifall-Langleinen gefangen. Das Ottertrawl, ein 45 Fuß-Scherbrettnetz, wurde an einfacher Kurrleine vom Forschungsschiff METEOR aus gefahren. Um ein Öffnen des Netzes durch die Anströmung der Scherbretter zu ermöglichen, wurde ein 50m langer Hahnepot zwischen Scherbrettern und Kurrleine verwendet. Für die im BIOTRANS-Gebiet vorhandenen Wassertiefen von 4500m mußte die gesamte vorhandene Schleppdrahtlänge von fast 11000m gesteckt werden. Die gefangenen Fische wurden bestimmt, gemessen und gewogen und ihr Mageninhalt analysiert. Darüberhinaus wurde eine Abundanzabschätzung für die benthopelagischen Fische mit Hilfe von Foto- und Videoaufnahmen des DOS und Fototrawls durchgeführt.

Bestand

Der Bestand der benthopelagischen Fische (berechnet aus der mit dem Ottertrawl abgefischten Fläche) lag im Island-Becken mit $3.86 \cdot 10^{-6}$ ind m^{-2} um rund eine Größenordnung höher als im BIOTRANSgebiet ($0.36 \cdot 10^{-6}$ ind m^{-2}). Bezogen auf die Biomasse (Naßgewicht) unterschieden sich beide Gebiete um den Faktor 5.5 (1.1 gm^{-2} bzw. 0.2 gm^{-2}). Ähnliche Ergebnisse lieferte die Abundanzabschätzung mit Hilfe der Foto- und Videoaufnahmen, wobei die Werte für das Island-Becken rund dreimal so hoch lagen wie die aus den Trawlfängen berechneten, während die Übereinstimmung für das BIOTRANS-Gebiet sehr gut war.

Zusammensetzung

Auch die Zusammensetzung der Fische unterschied sich deutlich in beiden Gebieten. Es wurden nur Fische aus den beiden Familien Synphobranchidae und Macrouridae gefangen. Drei Arten (*Histiobranchus bathybius*, *Nematomurus armatus* und *Chalinura leptolepis*) wurden in beiden Gebieten gefangen. *Chalinura brevibarbis*, *Chalinura* sp. A und *Liomurus carapinus* wurden nur im Island-Becken gefangen, während *Chalinura profundicula* auf die Fänge im BIOTRANS-Gebiet beschränkt war.

Im Island-Becken domierte die Art *Nematomurus armatus* mit 60% aller Individuen (Abb. 13). Nichtidentifizierte Macrouriden erreichten 25% und *Histiobranchus bathybius* 8%. Die übrigen Arten wurden nur in wenigen Exemplaren gefangen.

Im BIOTRANS-Gebiet war *Chalinura leptolepis* mit 49% die häufigste Art, während *Nematomurus* auf einen Anteil von 31% kam. 18% aller Fische waren *Histiobranchus*. Nur ein Exemplar von *Chalinura profundicula* wurde gefunden. Mit der Langleine wurden im BIOTRANS-Gebiet nur *Nematomurus armatus* gefangen.

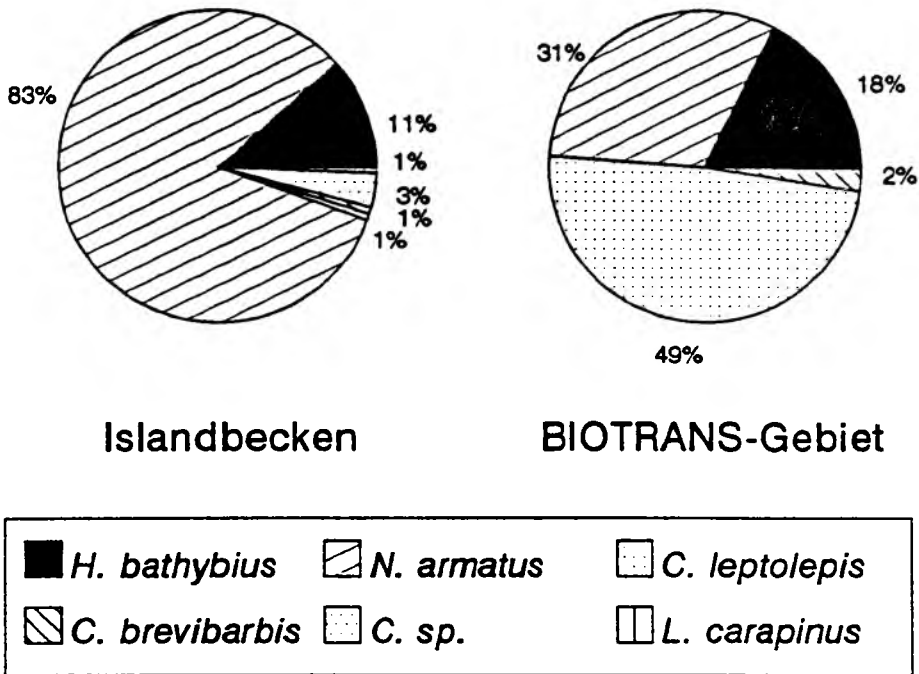


Abbildung 13: Relative Zusammensetzung der benthopelagischen Fischfauna im Island-Becken und im BIOTRANS-Gebiet.

Figure 13: Relative composition of the benthopelagic fish fauna in the Iceland Basin and in the BIOTRANS area.

Die Fänge deckten einen Größenbereich von 12 - 91cm ab. *Nematomurus armatus* war im BIOTRANS-Gebiet größer als im Island-Becken, dabei waren die mit der Langleine gefangenen Exemplare generell größer als die aus den Ottertrawlfängen.

Nahrungsanalysen

Histiobranchus bathybius

Insgesamt wurden 66 Individuen aus dem Island-Becken und 8 aus dem BIOTRANS-Gebiet untersucht. Die meisten Fische aus dem Island-Becken hatten einen Füllungsgrad von 1, der Verdauungsgrad der Nahrung war generell hoch. Im BIOTRANS-Gebiet waren 50% der Mägen leer, während der Rest geringe Reste stark verdauter Nahrung enthielt.

40% der Mageninhalte aus dem Island-Becken waren nicht identifizierbar. Crustaceen-Fragmente machten 9% aus. Der identifizierbare Teil der Nahrung wurde sowohl nach Anzahl als auch nach Biomasse von malacostracen Crustaceen dominiert, im wesentlichen Mysidacea der Gattung *Gnathophausia* (einige als *G. zoea* bestimmt) und Decapoda Caridea (Abb. 14).

Die zweithäufigste Organismengruppe in den Mägen waren Cephalopoden, die als Schnäbel und Augenlinsen zu erkennen waren. Soweit sie anhand der Schnäbel identifiziert werden konnten, gehörten sie zur pelagischen Unterordnung Theutoidea. Zwei Exemplare konnten bis zur Art als *Gonatus fabricii* und *Teuthowenia megalops* identifiziert werden. Die Rückberechnung ihrer Mantellänge ergab 250 bzw. 253mm, entsprechend einem Naßgewicht von 315 bzw. 132g.

Die übrigen Nahrungsorganismen, darunter Fischreste und Nematoden, machten weniger als 1% der Gesamtnahrungsmenge aus.

Nematonurus armatus

Die Mägen von *N. armatus* waren in der Regel gut gefüllt, leere Mägen traten nicht auf. Die Nahrung war meistens stark verdaut. Die Fische aus dem Island-Becken konnten in 2 Größenklassen getrennt analysiert werden.

In der Klasse bis 30cm dominierten die Crustaceen, die mehr als 90% aller identifizierbaren Nahrungsorganismen ausmachten (Abb. 15). Die meisten waren lysianassoide Amphipoden, wahrscheinlich *Abyssorchomene* spp. und *Orchomenella* spp.. Weiterhin wurden Decapoden, Tanaidaceen, Isopoden, Copepoden und Ostracoden in geringen Anzahlen gefunden. Die übrigen Nahrungsorganismen gehörten zu den Fischen, Cephalopoden, Nematoden und Polychaeten, wobei die Fische, bezogen auf das Gewicht, den größten Teil der Gesamtnahrungsmenge ausmachten.

In der Größenklasse über 30cm (Abb. 16) dominierten wiederum numerisch die lysianassoiden Amphipoden mit 84%, bezogen auf die Biomasse machten aber Fische (46%) und Cephalopoden (27%) den größten Teil der Nahrung aus. 90% der Cephalopoden waren Theutoidea, von denen die Hälfte als *Gonatus fabricii* und 7% als *Mastigoteuthis* sp. identifiziert werden konnten. Einer der 2 gefundenen Octobranchia wurde als *Alloposus mollis* bestimmt. Die rückberechneten Mantellängen reichten von 3-330mm, entsprechend einem Naßgewicht von 1-864g.

Als weitere Nahrungsorganismen wurden in geringen Mengen Holothurien, Polychaeten, Nematoden, Bivalvii, Gastropoden, Ophiuriden und Actinarien gefunden.

Im BIOTRANS-Gebiet wurden nur Exemplare größer als 45cm gefangen. Bezogen auf das Gewicht waren Cephalopoden mit 48% die wichtigsten Nahrungsorganismen (Abb. 17). Fische machten 39% der Nahrungsmenge aus. Weiterhin wurden Amphipoden, Echiuriden, Nematoden, Polychaeten und Porifera gefunden. Ein Magen war komplett mit einer halben Apfelsine ausgefüllt.

Chalinura leptolepis

3 Mägen aus dem Island-Becken und 20 Mägen aus dem BIOTRANS-Gebiet konnten analysiert werden. Die meisten Mägen waren gut gefüllt (Füllungsgrad 3). Die Nahrung war relativ stark verdaut (Verdauungsgrad 2-3).

Amphipoden (hauptsächlich *Abyssorchomene* spp.), Copepoden (*Neoscolecithrix* sp. nov.) und Isopoden waren die häufigsten Nahrungsorganismen von *Chalinura leptolepis* im Island-Becken (Abb. 18). Bezogen auf das Gewicht dominierten unidentifizierbare Malacostracen mit 75% und Fische mit 22%.

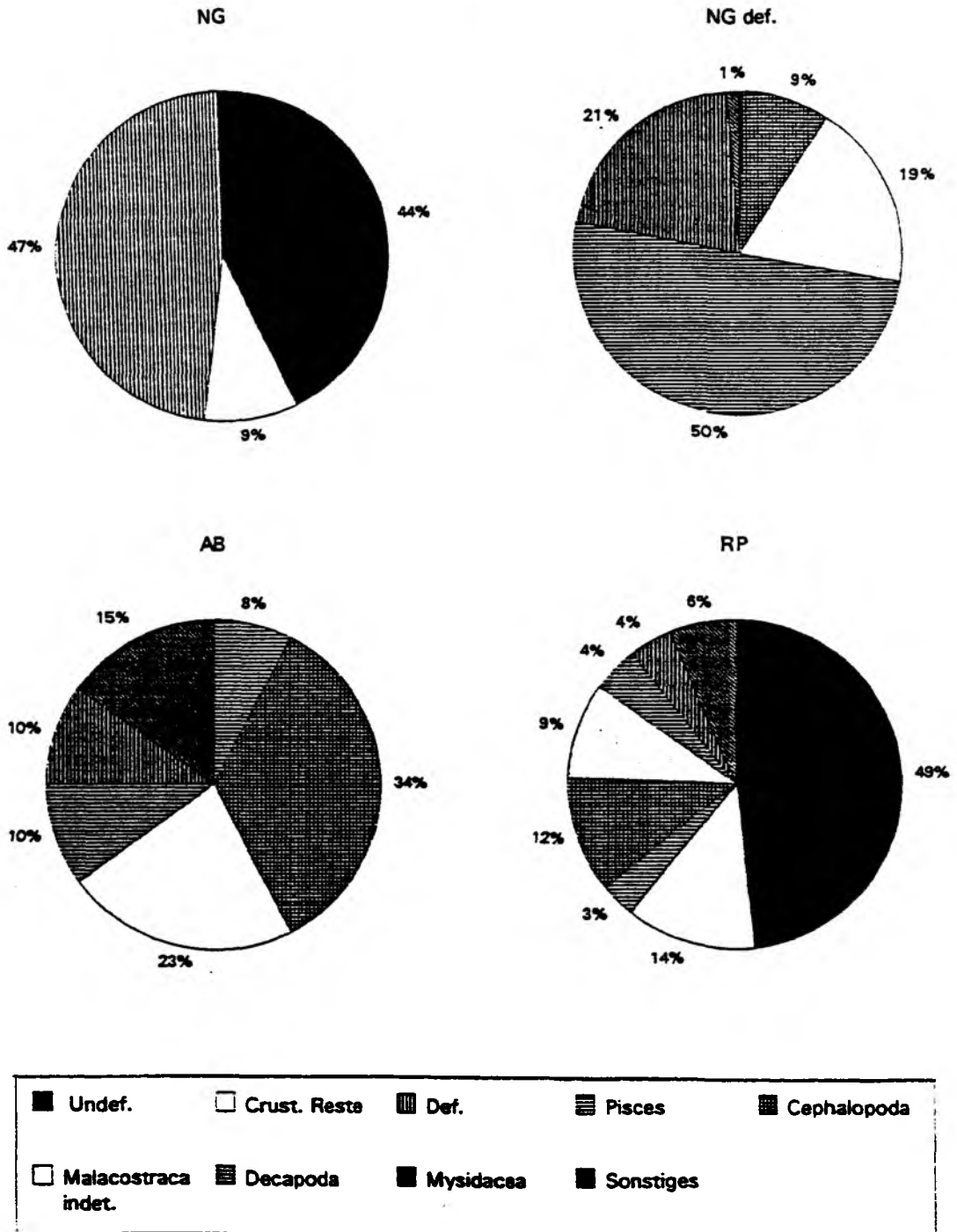


Abbildung 14: Nahrung von *Histiobranchius bathybius* im Island-Becken. NG: Relative Anteile am Gesamtmaßgewicht. NG def: Relative Anteile am Naßgewicht der bestimmaren Nahrung. AB: relative Anteile an der Gesamtzahl der bestimmaren Nahrungsorganismen. RP: Relative Präsenz.

Figure 14: Diet of *Histiobranchius bathybius* in the Iceland Basin. NG: proportional share to total wet weight. NG def: proportional share to wet weight of the identifiable food. AB: proportional share to the total number of identifiable food organism. RP: proportional presence.

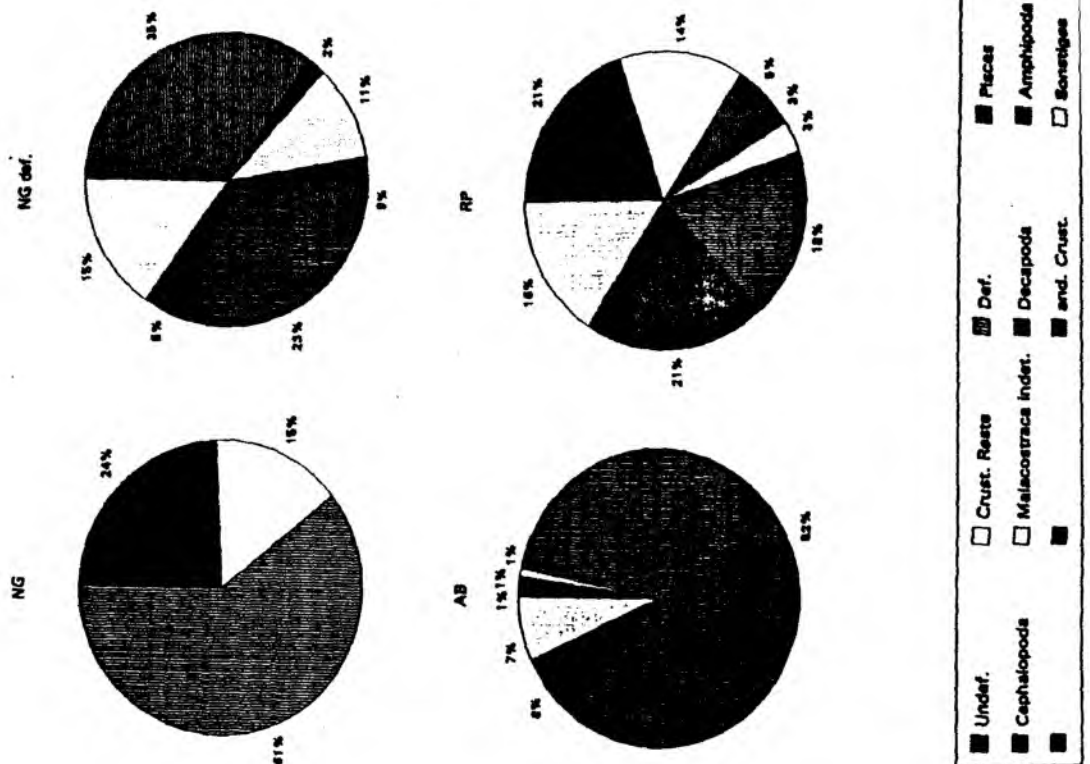


Abbildung 15: Nahrung von *Nematonurus armatus* bis 30cm im Island-Becken.

Figure 15: Diet of *Nematonurus armatus* ≤ 30cm in the Iceland Basin.

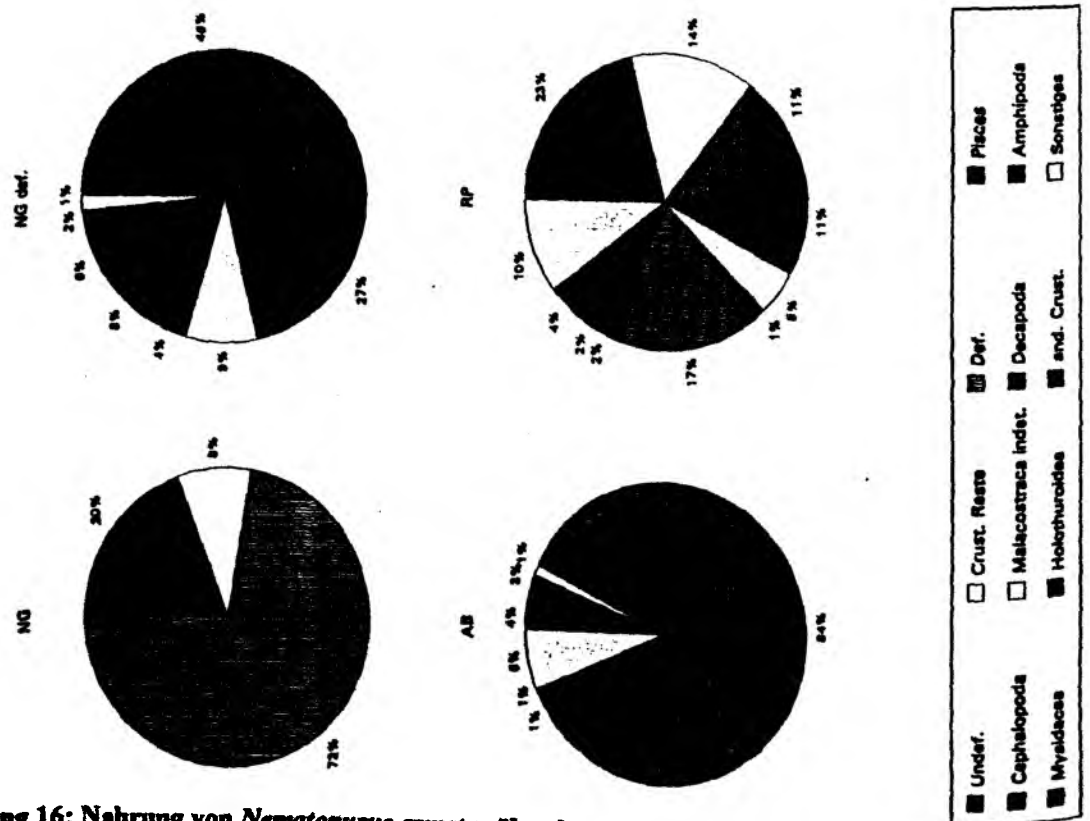


Abbildung 16: Nahrung von *Nematonurus armatus* über 30cm im Island-Becken.

Figure 16: Diet of *Nematonurus armatus* > 30cm in the Iceland Basin.

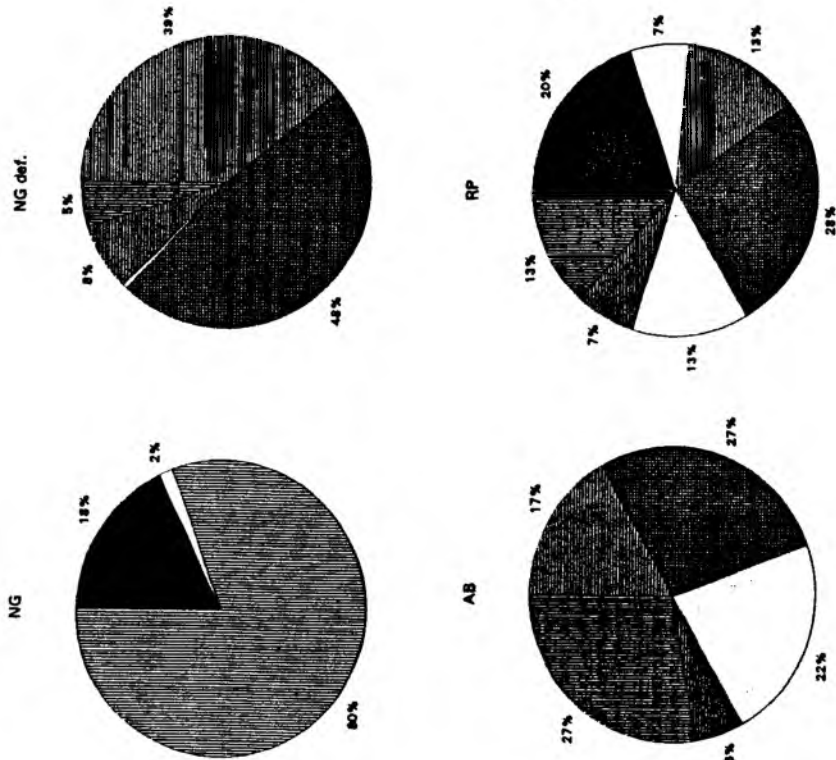


Abbildung 17: Nahrung von *Nematonurus armatus* im BIOTRANS-Gebiet.
 Figure 17: Diet of *Nematonurus armatus* in the BIOTRANS area.

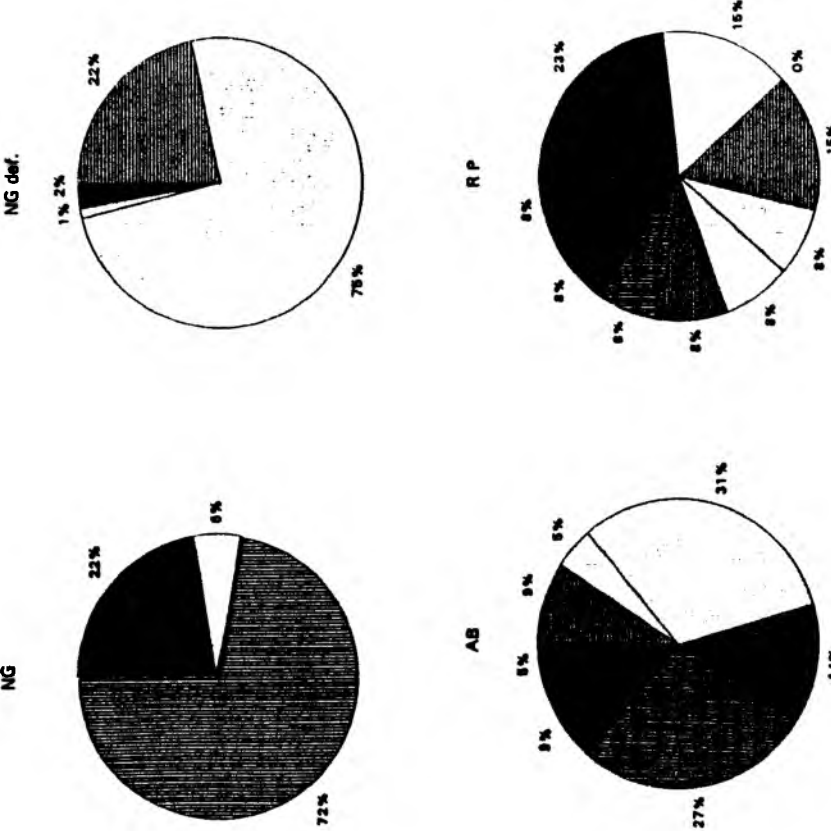


Abbildung 18: Nahrung von *Chalinura leptolepis* im Island-Becken.
 Figure 18: Diet of *Chalinura leptolepis* in the Iceland Basin.

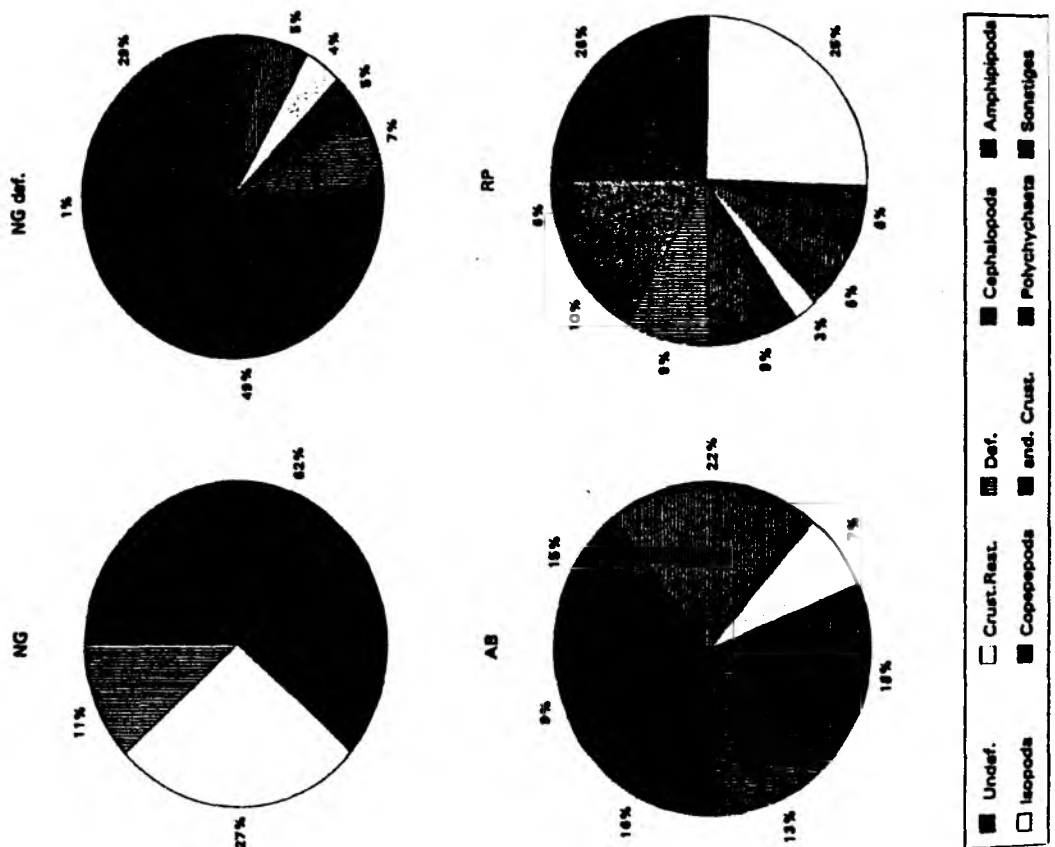


Abbildung 19: Nahrung von *Chalinura leptolepis* im BIOTRANS-Gebiet.

Figure 19: Diet of *Chalinura leptolepis* in the BIOTRANS area.

Im BIOTRANS-Gebiet waren ebenfalls Amphipoden der Gattung *Abyssorchomene*, Isopoden und Copepoden am häufigsten (Abb. 19), bezogen auf das Gewicht dominierten aber Polychaeten und Cephalopoden (49 bzw. 29%).

Chalinura brevibarbis

Nur 3 Mägen aus dem Island-Becken wurden analysiert. Die identifizierbaren Nahrungsorganismen waren hauptsächlich Amphipoden (93% der Gesamtzahl, 21% des Naßgewichts) und Polychaeten (7 bzw. 79%).

Diskussion

Unsere Fänge aus beiden Untersuchungsgebieten bestätigen die Ergebnisse anderer Autoren, daß die benthopelagische Fischfauna in der Tiefsee hauptsächlich von Macrouriden bestimmt wird. Bis zu 80% der Fischbiomasse in Tiefen von 2000–4000m der nördlichen Ozeane wird von der kosmopolitischen Art *Nematomus armatus* eingenommen (SMITH 1978), die in unseren Untersuchungen allerdings nur im Island-Becken mit 60% der Gesamtbiomasse

dominierte. Dagegen war im 4500m tiefen BIOTRANS-Gebiet *Chalimura leptolepis* die dominante Art.

Eine Änderung der relativen Zusammensetzung der benthopelagischen Fischfauna von Nord nach Süd und mit der Tiefe wurde auch von MERRETT (1987) festgestellt.

Die Nahrungsanalysen an den benthopelagischen Fischen zeigen, daß alle untersuchten Arten ein breites Nahrungsspektrum aufnehmen und somit als Opportunisten einzustufen sind. Dabei deutet sich aber ein ontogenetischer Wechsel in der relativen Bedeutung der einzelnen Nahrungskomponenten an. Die jüngeren Exemplare ernähren sich hauptsächlich von kleineren benthischen und benthopelagischen Organismen wie Amphipoden, Isopoden, Tanaidaceen und Polychaeten. Die gefressenen Amphipodenarten wurden auch in großen Mengen in Reusen am Boden gefangen (CHRISTIANSEN, in press). Die Hauptnahrung der größeren Fische besteht aus Cephalopoden und Fischen, die hauptsächlich pelagischen Ursprungs sind. Der Erhaltungszustand der Cephalopodenschnäbel erlaubte zum Teil eine Identifikation der Cephalopoden und eine Rückberechnung ihrer Mantellängen. Die erhebliche Größe eines großen Teils der gefressenen Cephalopoden, die zum Teil die des jeweiligen Fisches übertraf, weist darauf hin, daß die Tiere nicht in lebendem Zustand gefressen, sondern als Aas aufgenommen wurden. Die identifizierten Theutoidea kommen hauptsächlich im Epi- und Mesopelagial vor. Sie bilden große Laichschwärme und sterben nach dem Laichen ab. Es ist also sehr wahrscheinlich, daß sie nach dem Absinken auf den Grund von den Fischen gefressen wurden. Dies bedeutet einen direkten Eintrag von größeren Nahrungspartikeln in die Tiefsee, der z.B. von Sinkstoffallen nicht erfaßt wird.

LITERATUR:

- CHRISTIANSEN, B. , in press: Bait-attending amphipods in the deep sea: A comparison of 3 localities in the NE Atlantic. J. mar. biol. Ass. U.K.
- MARTIN, B., 1994: Vergleichende Untersuchungen zur Bestandsgröße und Nahrungsökologie benthopelagischer Tiefseefische auf zwei Stationen des NO-Atlantiks (59°N/20°W und 47°N/20°W). Diplomarbeit Fachbereich Biologie, Universität Hamburg. 76pp.
- MERRETT, N.R. , 1987: A zone of faunal change in assemblages of abyssal demersal fish in the Eastern North Atlantic: A response to seasonality in production? Biological Oceanog. 5: 137-151.
- PRIEDE, I.G., 1994: Tracking of scavenging fishes in the abyss. Endeavour, New Series 18: 74-79.
- SMITH Jr., K.L., 1978: Metabolism of the abyssopelagic rattail *Coryphaenoides armatus* measured *in situ*. Nature, 274: 362-364.

6.1.6 Zur benthopelagischen Copepodenfauna

B. CHRISTIANSEN, W. BECKMANN & B. MARTIN

Der unmittelbare bodennahe Bereich, d.h. die Wasserschicht von wenigen Dezimetern über dem Grund, ist methodisch sehr schwierig zu erfassen. Die wenigen bisher vorhandenen Untersuchungen, die mit Tauchbooten durchgeführt wurden, geben Hinweise auf eine spezialisierte, auf diesen Lebensraum beschränkte Fauna (GRICE 1972, FLEMINGER 1983).

Im Rahmen der Projekte BIOTRANS und BIO-C-FLUX wurden im BIOTRANS-Gebiet beköderte kleine Fallen („Minireusen“) mit 5 Millimetern Eingangsdurchmesser eingesetzt. Neben kleinen Amphipoden wurden in diesen Fallen, die ca. 10cm über dem Grund verankert waren, auch calanoide Copepoden gefunden, die bisher nie mit Netzen gefangen wurden und einer neuen Art der Gattung *Tharybis* angehören.

Auch die im Rahmen des Projektes BIO-C-FLUX untersuchten Fischmägen, sowohl aus dem Island-Becken als auch aus dem BIOTRANS-Gebiet, enthielten zum Teil größere Anzahlen von Copepoden. Die vorläufige Identifikation ergab, daß es sich um bisher ebenfalls nicht beschriebene Scolecitrichiden der Gattung *Neoscolecithrix* handelt. Auch diese Art wurde in den in beiden Untersuchungsgebieten wenige Meter über dem Grund geschleppten MOCNESS-Netzen nicht gefangen.

Diese Ergebnisse bestätigen den bisher nur aus Tauchbootuntersuchungen bekannten Befund, daß wenige Dezimeter über Grund ein Faunenwechsel stattfindet, und es spezialisierte Arten gibt, deren Existenz auf den Bereich unmittelbar über dem Sediment beschränkt ist. Über die Bestandsgrößen dieser Fauna und ihre ökologische Rolle können bisher keine Aussagen gemacht werden. Es ist daher anzustreben, weitere Untersuchungen in diesem Bereich durchzuführen. Die dafür notwendigen technischen Entwicklungen könnten zum Beispiel den Einsatz von ROVs und ferngesteuerten Kameras einschließen.

LITERATUR:

- FLEMINGER, A., 1983: Description and phylogeny of *Isaacsicalanus paucisetus*, n.gen., n.sp., (Copepoda: Calanoida: Spinocalanidae) from an East Pacific hydrothermal vent site (21°N). *Proc. Biol. Soc. Wash.*, 96: 605-622.
- GRICE, G.D., 1972: The existence of a bottom-living calanoid copepod fauna in deep water with descriptions of five new species. *Crustaceana*, 23: 219-242.

6.2 BERICHTE UND ERGEBNISSE AUS DER ARBEITSGRUPPE BENTHOS

6.2.1 Standing stock, Aktivität und Respirationsraten des Tiefseebenthos im NO-Atlantik

O. PFANNKUCHE & H. THIEL

Einleitung

Die benthischen Lebensgemeinschaften des offenen Ozeans werden bis auf die Biocoenosen der Hydrothermalquellen und „Cold Seeps“ von Detritusfressern dominiert, ökologischen Gruppen, die auf den Eintrag von partikulärer Substanz (POM) angewiesen sind. POM sedimentiert aus dem ozeanischen Epipelagial im Gefolge von Planktonblüten. Die Qualität und Quantität der sedimentierenden Partikel ist äußerst variabel in der Herkunft, im Größenspektrum und in der saisonalen Zusammensetzung und reflektiert die verschiedenen Vorgänge im Plankton (FOWLER & KNAUER 1986, ALLREDGE & SILVER 1988), aber auch die Abbau- und Modifikationsvorgänge im Meso- und Bathypelagial. Während im offenen Ozean vertikale Sedimentationsvorgänge vorherrschen, können mit zunehmender Annäherung an den Kontinentalhang advective Transportprozesse von POM eine wichtige Rolle spielen. Die Sedimentation von POM ist auch im offenen Ozean, besonders in Gebieten mit saisonaler Planktonproduktivität, großen jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen, wie Sinkstoffallenuntersuchungen zeigten (DEUSER et al., 1981; HONJO 1984; HONJO & MANGANINI 1993; TAKAHASHI 1986). Direkte Beweise für das Auftreten von saisonalen Sedimentationspulsen am Tiefseeboden lieferten verankerte Kamerasysteme (LAMPITT 1985; HECKER 1990), Sedimentprobennahmen mit dem Multiple Corer (BILLETT et al. 1983; RICE et al. 1986; THIEL et al. 1988/1989) und die Messungen chloroplastischer Pigmente in Tiefseesedimenten (PFANNKUCHE 1993; PFANNKUCHE & LOCHTE 1993). Der größte Teil des am Tiefseeboden deponierten POM wird weitgehend remineralisiert (SMITH & BALDWIN 1984; NORIKI & TSUNOGAI 1986; COLE et al. 1987; JAHNKE & JACKSON 1987; LOCHTE & TURLEY 1988; PFANNKUCHE 1992), was die direkte Koppelung des Tiefseebenthos an die Prozesse im Epipelagial demonstriert und zeigt, daß Stoffflüsse im Benthos durch die Deposition von POM gesteuert werden. Individuelle Sedimentationspulse, wie z.B. der Sedimentationspuls von Salpenkotpillen, und eine spezifische Reaktion benthischer Organismen konnten verfolgt werden (PFANNKUCHE & LOCHTE 1993). Die Reaktionszeiten des Benthos auf Sedimentationsereignisse sind erstaunlich kurz. Sie liegen im Bathyal bei weniger als einer Woche (GRAF 1989) und im Abyssal bei ca. einer Woche (siehe PFANNKUCHE et al., dieser Bericht Kapitel 6.2.2). Die oben kurz umrissenen Ergebnisse zeigen, daß eine dynamische Koppelung zwischen dem Epipelagial und dem abyssalen Benthos besteht und daß der „Zustand“ einer benthischen Lebensgemeinschaft das unmittelbar vor der jeweiligen Untersuchung aufgetretene Sedimentationsgeschehen von POM reflektiert.

Der vorliegende Bericht vergleicht den standing stock, die Aktivität und die Respirationsraten des Benthos an den Stationen des internationalen North Atlantic Bloom Experiments (NABE; DUCKLOW & HARRIS 1993), an dem BIO-C-FLUX mit benthischen Untersuchungen an 3 Stationen teilnahm. Bei den untersuchten Stationen handelte es sich um das

- Madeira-Becken in 34° N/20° W (Wassertiefe 5120m),
- BIOTRANS-Gebiet in 47° 10'N/19°35'W (Wassertiefe 4460m),
- Island-Becken in 59°15'N/21°04'W (Wassertiefe 2900m).

Die Untersuchungen im Island-Becken wurden im Juli 1989, im Madeira-Becken im Mai 1990 und im BIOTRANS-Gebiet im Juni 1990 und im August 1989 durchgeführt. Die NABE-Studie im Rahmen der Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS) verfolgte als übergreifendes Ziel die Quantifizierung der Prozesse, die im Epipelagial des offenen Ozeans für die primäre Bildung biogener Partikel und gelöster Substanzen verantwortlich sind, die Verfolgung des Schicksals dieser autotrophen Primärprodukte, sowie die Abschätzung der Bedeutung der Planktonblüte für die biogeochemischen Kreisläufe des Ozeans. BIO-C-FLUX untersuchte im Rahmen der Studie die Auswirkungen der sedimentierenden Frühlingsblüte auf das Benthos. Abbildung 20 zeigt die wesentlichen, die Entwicklung von saisonalen Planktonblüten bestimmenden ozeanographischen Faktoren. Tiefe Winterkonvektion im Nordatlantik versorgt die ozeanische Deckschicht mit $2\text{--}14\mu\text{Mol}$ Nitrat, das die wesentliche limitierende Größe für die Frühlingsblüte des Phytoplanktons nach Wiederstratifizierung der Wassersäule bildet. Der Süd-Nord Gradient der Winternitratwerte von $2\mu\text{Mol}$ bei 40°N bis $12\text{--}14\mu\text{Mol}$ bei 65°N bewirkt einen entsprechenden Nord-Süd Gradienten in der Höhe der Primärproduktion.

Methoden

Die benthischen Untersuchungen wurden in allen drei Untersuchungsgebieten jeweils in einem mit Transpondern markierten Feld durchgeführt. Das Transponderfeld war als Quadrat mit $3000\text{m} \times 3000\text{m}$ Kantenlängen ausgelegt. Die Sedimentproben wurden um den Feldmittelpunkt in einem Radius von 1000m vorgenommen.

Für die Benthosprobennahmen wurden zwei Geräte eingesetzt: Ein Kastengreifer (Probengröße $50\text{cm} \times 50\text{cm}$) in einer von uns weiterentwickelten Version des „USNEL-spade corers“ (THIEL 1980) und ein Multicorer (BARNETT et al. 1984). Mit dem Multicorer gewonnene Sedimentproben wurden zur Bearbeitung der Meio- und Nanofauna, der Bakterien im Sediment und im Bodenkontaktwasser und für biochemische Sedimentanalysen verwendet. Kastengreiferproben dienten dem Fang von Makrofauna (Organismen im Siebrest bis 1mm) und größerer Meiofauna (Organismen im Siebrest 1mm bis $0,5\text{mm}$).

Aus den Greiferserien wurde der Kasteninhalt bis in eine Sedimenttiefe von 20cm gesiebt. Für die Makrofauna wurde ein Sieb der Maschenweite 1mm verwendet. Ein Viertel einer jeden Kastengreiferprobe wurde zur Analyse der größeren Meiofauna zusätzlich durch ein Sieb der Maschenweite $0,5\text{mm}$ gespült. Der Siebrest wurde an Bord in 4% -igem Formalin fixiert. Die Proben wurden später nach höheren Taxa sortiert und deren Abundanz und Biomasse bestimmt.

Proben für Meiofaunaorganismen (Siebklasse $\leq 0,5\text{mm}$) und Proben für biochemische Sedimentanalysen wurden einem randomisierten Satz von 12 Multicorerrohren entnommen. Meiofaunateilproben wurden mit Kleinstechrohren (Oberfläche $3,5\text{cm}^2$) bis in eine Tiefe von maximal 10cm entnommen. Die Sedimentkerne wurden in 1cm -Abschnitte unterteilt und jeweils in 4% -igem Formalin konserviert. Die Proben wurden später unter dem Stereomikroskop nach höheren Taxa sortiert.

Sediment zur Analyse chemischer Summenparameter wurde ebenfalls mit Kleinstechrohren bis in eine Sedimenttiefe von 10cm genommen, in 1cm -Abschnitte untergliedert und direkt an Bord gemessen. Folgende Parameter wurden an jeweils 3-5 Parallelproben gemessen (die Methodik wurde in PFANNKUCHE & THIEL 1987 und in THIEL et al., 1986, beschrieben):

- partikuläres Gesamtadenylat (ATP/ADP/AMP) als Biomasseparameter,
- partikuläre Proteine als Biomasseparameter in gamma-Globulinäquivalenten,
- Chlorophyll a und Phäopigmente als Maß für das Sedimentationspotential primärorganischer Substanzen.

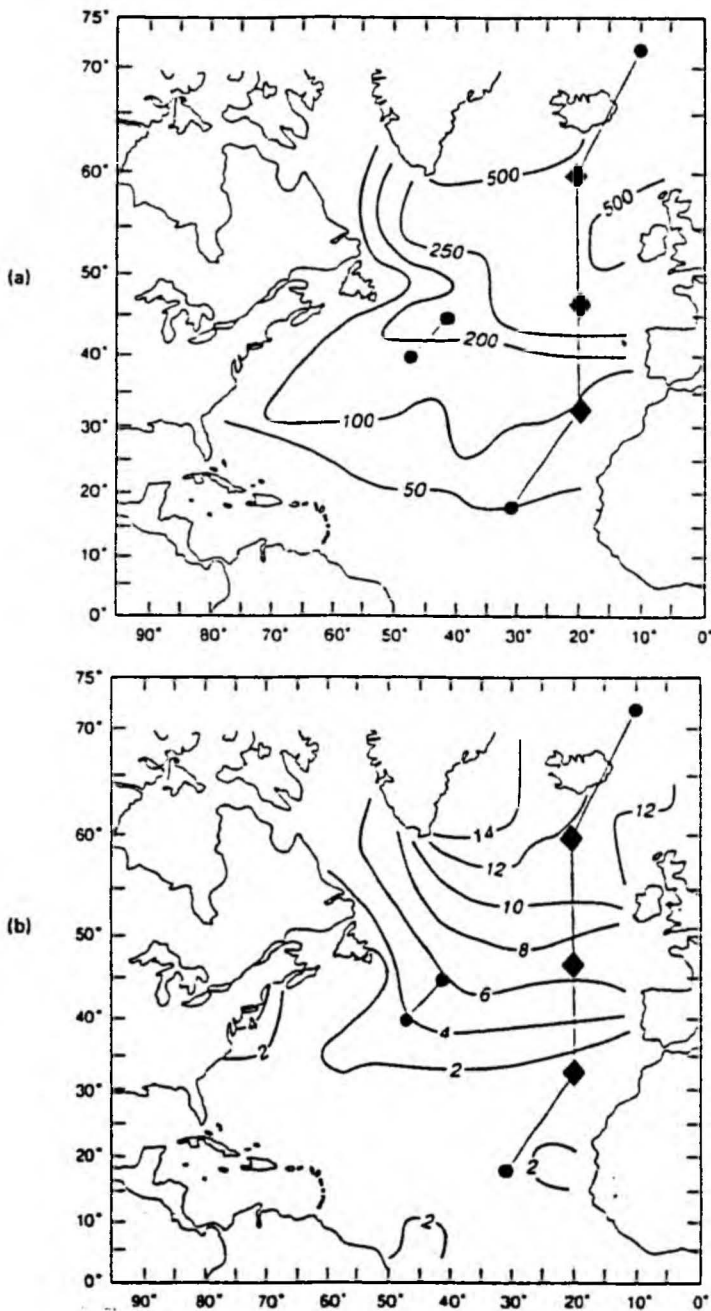


Abbildung 20: Karte der Untersuchungsstationen der NABE-Studie im Nordatlantik. Die BIO-C-FLUX-Stationen sind mit einer Raute gekennzeichnet. (a) maximale Durchmischungstiefen durch die Winterkonvektion; (b) geschätzte Winterwerte der Nitratkonzentration im Epipelagial in $\mu\text{Mol/l}$. Karte aus DUCKLOW & HARRIS (1993).

Figure 20: Map of sampling stations during the NABE study in the N Atlantic. The BIO-C-FLUX stations are marked by a rhombus. (a) maximum depth of water body mixed by winter convection; (b) estimated winter values of nitrate concentration ($\mu\text{MOL/l}$) in the epipelagial. Map quoted from DUCKLOW & HARRIS (1993).

Die Aktivität der benthischen Lebensgemeinschaft wurde durch Messung des ATP-Gehalts und der Aktivität des Elektronen-Transport-Systems (ETS) erfaßt. Mit dieser Methode wird auf Grund des Probenvolumens insbesondere die Aktivität der Bakterien, Nanofauna und Meiofauna gemessen. Die Messung von bakterieller exoenzymatischer Aktivität wurde durch Spaltung von Fluoreszeindiacetat (FDA) durchgeführt. Da in Tiefseesedimenten organisches Material vorwiegend als partikuläres Material zugeführt wird (LOCHTE 1993), müssen diese Makromoleküle zunächst durch extrazelluläre Enzyme zu Mono- oder Oligomeren hydrolysiert werden, bevor sie von Bakterien aufgenommen werden. Dieser enzymatische Schritt bestimmt die Geschwindigkeit des Abbaus von POM durch Mikroorganismen (BILLEN 1991) und spielt besonders für Tiefseesedimente eine Schlüsselrolle (MEYER-REIL & KÖSTER 1992). Bei Metazoen erfolgt eine entsprechende Mobilisierung von Verdauungsenzymen. Die Aktivität von Enzymen wird mit Hilfe von Modellsubstraten bestimmt, die bei hydrolytischer Spaltung fluoreszente Farbstoffe freisetzen (MEYER-REIL 1990). Das allgemeine hydrolytische Enzympotential im Sediment wurde mit einem unspezifischen Substrat (Fluoreszeindiacetat, FDA) gemessen. Da in den Messungen das Modellsubstrat in Sättigungskonzentration zugesetzt wird, entspricht die gemessene Enzymaktivität dem hydrolytischen Potential, das proportional zur Menge der Enzyme ist.

Die *in situ* Remineralisationsraten der Sedimentlebensgemeinschaft wurde über die Messung des Sauerstoffverbrauchs erfaßt (PFANNKUCHE 1992). Für die Messung der *in situ* Respirationsraten der Sedimentlebensgemeinschaft wurde das Freifall-Greifer-Respirometer (FFGR) eingesetzt (PFANNKUCHE & LOCHTE 1990, TENGBERG et al. 1995).

Ergebnisse

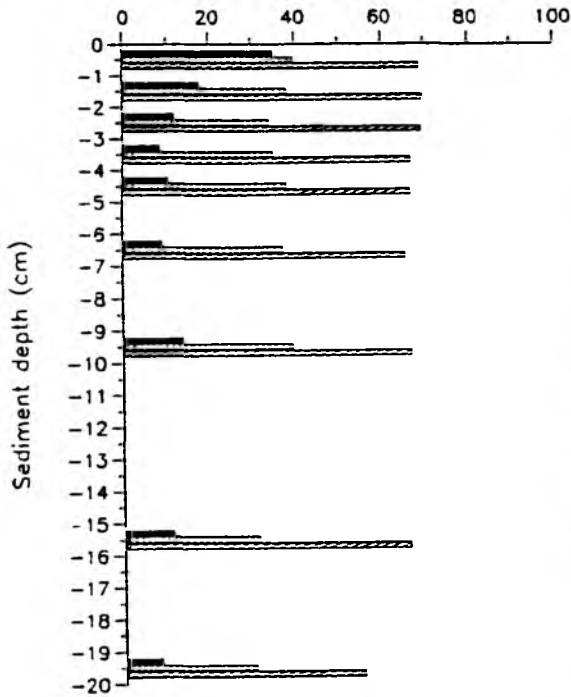
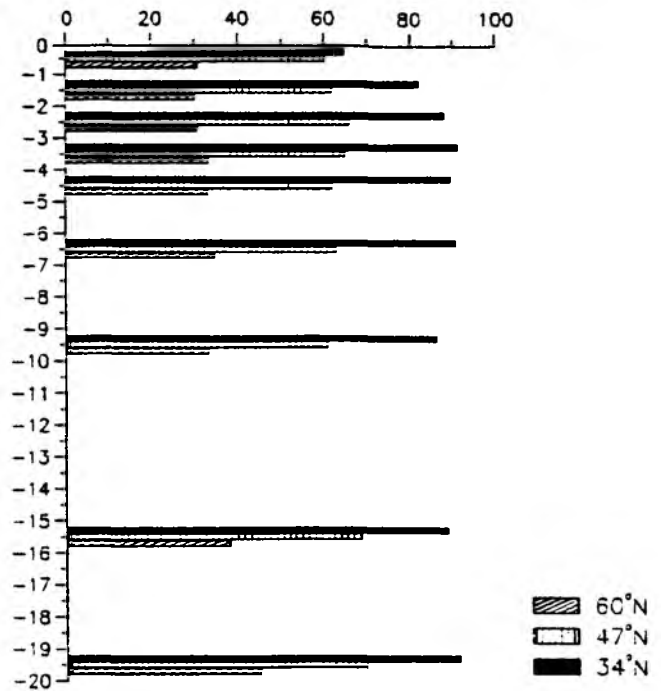
Sedimentstruktur der Probenorte

Die Zusammensetzung der Sedimente im Island-Becken (Abb. 21a,b) zeigt ein Vorherrschen von Fein- und Mittelsanden. Die Korngrößenfraktion $\geq 63\mu\text{m}$ erreicht einen Anteil bis zu 70%. Mit zunehmender Sedimenttiefe nimmt der Anteil dieser Fraktion bis auf 60% ab. Im BIOTRANS-Gebiet überwiegen die Anteile der Siltfraktion ($\leq 63\mu\text{m}$, Schluff und Tone); der Anteil der Fraktion $\geq 63\mu\text{m}$ (Sande) ist deutlich geringer als im Island-Becken. Er liegt maximal bei 40% und nimmt mit zunehmender Sedimenttiefe bis auf 30% ab. Die Sedimentstruktur im Madeira-Becken ist deutlich von den beiden anderen Stationen unterschieden. Der Anteil der Fraktion $\leq 63\mu\text{m}$ liegt mit Ausnahme des ersten Zentimeters zwischen 80-90%.

Ein Vergleich der Wassergehalte in den Sedimenten zeigte ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den Probenorten (Abb. 21c). Die Sedimente des Madeira-Beckens haben deutlich höhere Wassergehalte mit über 70% in den oberen drei Zentimeter. Dieser Wert nahm in tieferen Sedimentschichten bis auf 60% ab. Die Wassergehalte im Island-Becken lagen gegenüber dem BIOTRANS-Gebiet um etwa 5% höher, mit einem Maximumwert von 63%. Mit zunehmender Sedimenttiefe nahm der Wert auf 58% ab. Im BIOTRANS-Gebiet waren die Wassergehalte nur im obersten Zentimeter über 60%, darunter war eine Abnahme mit zunehmender Sedimenttiefe bis auf 50% festzustellen. Eine signifikante saisonale Differenz der Wassergehalte an der BIOTRANS-Station konnte nicht festgestellt werden.

Chloroplastische Pigmente

Der Gehalt an sedimentgebundenen chloroplastischen Pigmenten wird als Maß für das Sedimentationspotential von Phytodetritus angesehen. Mit der angewendeten Analytik wurden Chlorophyll *a* und Phaeopigmente *a* bestimmt. Während der Untersuchungen im Madeira-Becken wurde in vielen Multicorer-Röhren auf dem Sediment Phytodetritus gefunden. Das Vorkommen von

A%—Sediment fraction $\geq 63\mu\text{m}$ **B**%—Sediment fraction $\leq 63\mu\text{m}$ **C**

%—Sediment water content

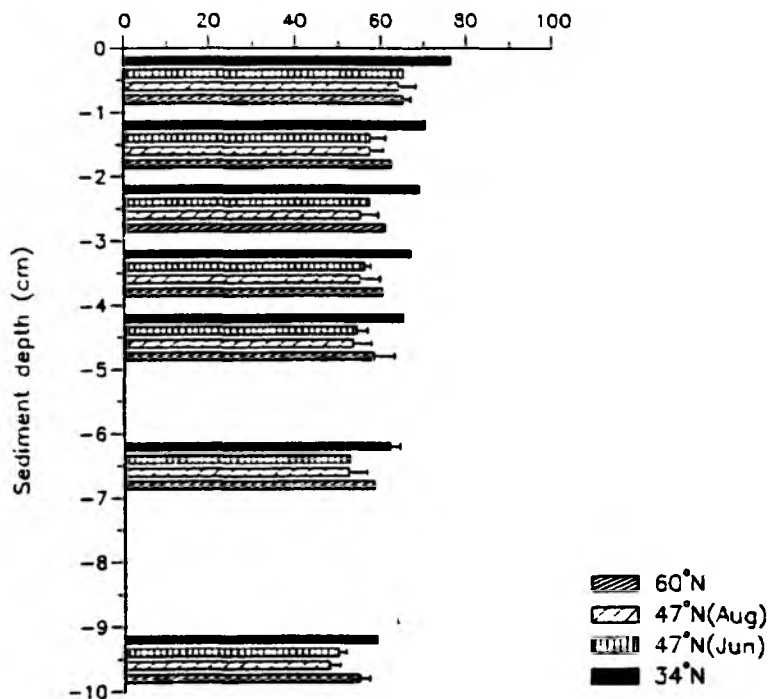


Abbildung 21a-c: (A) Korngrößenanteile der Fraktionen $\geq 63\mu\text{m}$; (B) Korngrößenanteile der Fraktionen $\leq 63\mu\text{m}$; (C) Wassergehalte in % an den Sedimenten der Untersuchungstationen.

Figure 21 (a-c): (A) Proportion of grain size $\geq 63\mu\text{m}$; (B) proportion of grain size $\leq 63\mu\text{m}$; water contents in % in the sediments at the sampled stations.

Phytodetritus konnte auch mit der im Fototrawl installierten Kamera dokumentiert werden (CHRISTIANSEN & THIEL 1992). Im BIOTRANS-Gebiet wurden im Juni 1990 erste Spuren einer einsetzenden Sedimentation von Phytodetritus in Form von vereinzelt Aggregaten in den Multicorer-Röhren gefunden. Im August 1989 wurde im BIOTRANS-Gebiet kein sichtbarer Phytodetritus gefunden, während 20-30sm nördlich vom Transponderfeld die Sedimente in den Probenrohren mit einer Phytodetritusauflage bis zu 1cm Dicke bedeckt waren. Im Island-Becken wurde im Juli 1989 ebenfalls kein Phytodetritus beobachtet. Das Gebiet weist jedoch starke bodennahe Strömungen auf, so daß sedimentiertes Material wieder leicht resuspendiert werden kann.

Die Pigmentmessungen an den 3 Stationen (Abb. 22a-b) zeigten im Madeira-Becken unmittelbar zurückliegende Sedimentationsereignisse mit relativ hohen Pigmentwerten im obersten Sedimenthorizont an. Unterhalb 1cm gingen die Werte stark zurück. Im BIOTRANS-Gebiet war der beginnende Sedimentationspuls im ersten Zentimeter im Juni 1989 mit leicht erhöhten Werten gegenüber den Augustwerten des nächsten Jahres ablesbar. Im August waren jedoch die Pigmentwerte unterhalb von 1cm höher, was auf einen Transport durch Bioturbation nach einem Sedimentationsereignis schließen läßt. Die Pigmentwerte im Island-Becken waren generell etwas höher als an den anderen Stationen. Auffällig ist, daß auch in den Sedimenthorizonten 1-5cm relativ hohe Pigmentwerte auftraten, was auf eine verstärkte Bioturbation durch Makrofauna schließen läßt.

Makro- und Meiofauna

Die Abundanz und Zusammensetzung der Makrofauna unterschied sich deutlich zwischen den untersuchten Stationen (Abb. 23a, 24a, 25a). Im Madeira-Becken wurden im Durchschnitt 57 Individuen/m² gezählt. Der Anteil der Protozoen (hauptsächlich Foraminifera) betrug 37,6%, der der Metazoa 62,4%. Die quantitativ bedeutendsten Taxa der Metazoa waren Mollusca (32,4%) und Polychaeta (25,1%). Der relativ geringe Polychaetenanteil und das Vorherrschen der Mollusca waren der wesentliche Unterschied zu den anderen Stationen.

Im BIOTRANS-Gebiet war die Abundanz der Makrofauna mit 131 Individuen/m² mehr als doppelt so hoch wie im Madeira-Becken (Abb. 25 (A): Der Protozoenanteil stieg auf 45%). Bei den Metazoa waren die Polychaeta mit 53,8% das vorherrschende Taxon. Der Anteil der Mollusca war gegenüber dem Madeira-Becken deutlich reduziert (5,5%), dagegen traten verstärkt Crustacea (Isopoda, Tanaidacea, Amphipoda, Cumacea) mit einem Anteil von 11% auf.

Das Island-Becken wies mit einer mittleren Besiedlungsdichte von 403/Individuen/m² deutlich die höchsten Abundanzen auf. Der Protozoenanteil lag mit 52,7% höher als der Metazoenanteil. Polychaeta waren mit 48% das vorherrschende Taxon. Der Anteil der Crustacea steigerte sich auf 23%. Auffällig war der relativ geringe Anteil der Sipunculida (1%) im Gegensatz zum BIOTRANS-Gebiet (8,3%) und dem Madeira-Becken (5,4%).

Beim Vergleich der Abundanzen der Meiofauna der Größenklasse 0.5-1mm (Abb. 23b) wurden, wie auch bei der Makrofauna, die höchsten Individuendichten im Island-Becken (1877 Individuen/m²) gezählt, gefolgt vom BIOTRANS-Gebiet mit 947 Individuen/m² und dem Madeira-Becken mit 771 Individuen/m². Auffällig war die relativ geringe Differenz von 23% zwischen dem Madeira-Becken und dem BIOTRANS-Gebiet, die bei der Makrofauna noch 130% betrug.

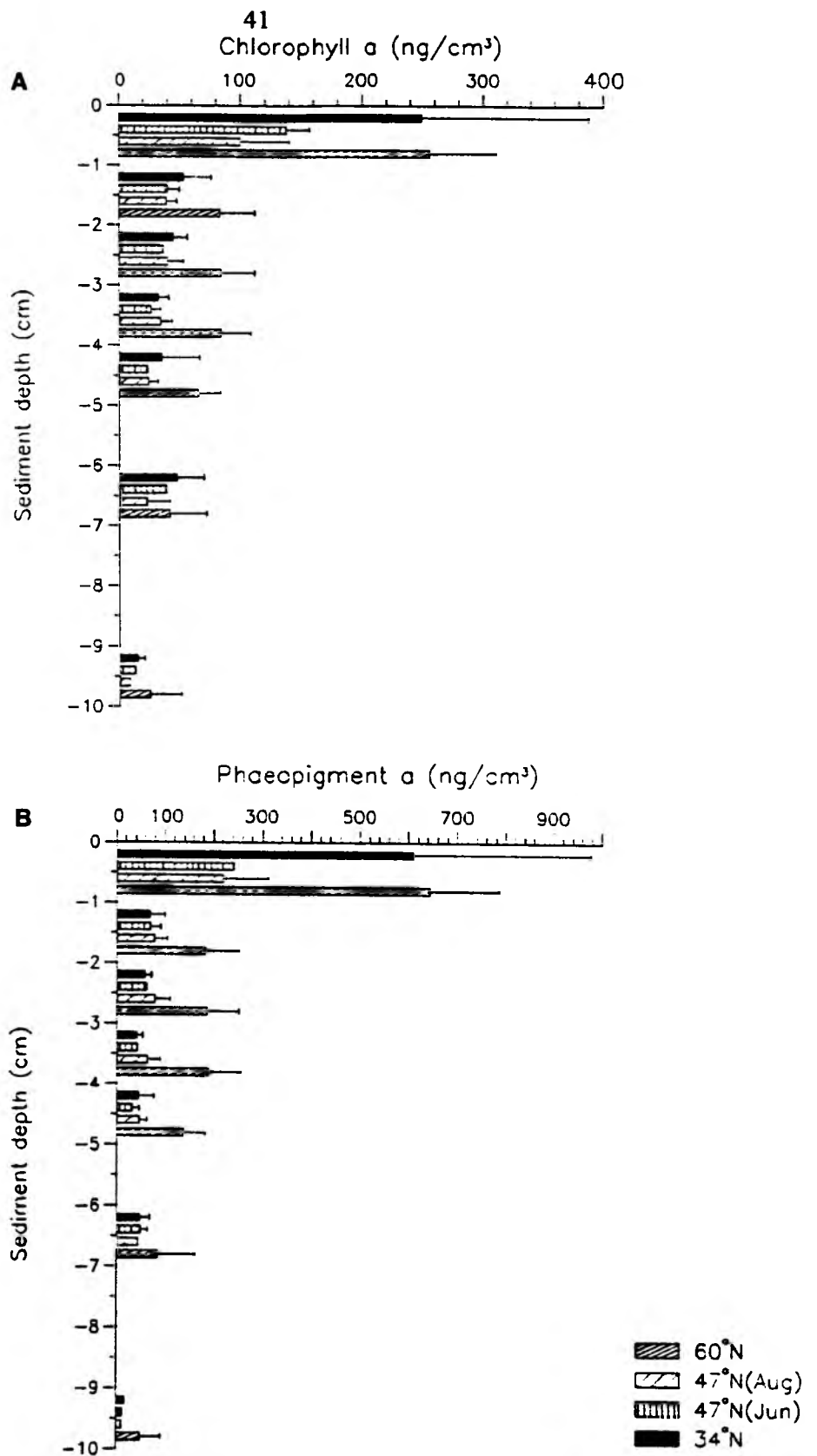


Abbildung 22 a, b: Vertikalprofile von Chlorophyll a (A) und Phäopigment a (B) in den Sedimenten der Untersuchungsstationen.

Figure 22 a, b: Vertical profiles of Chlorophyll a (A) and Phaeopigment a (B) in the sediments at the sampled stations.

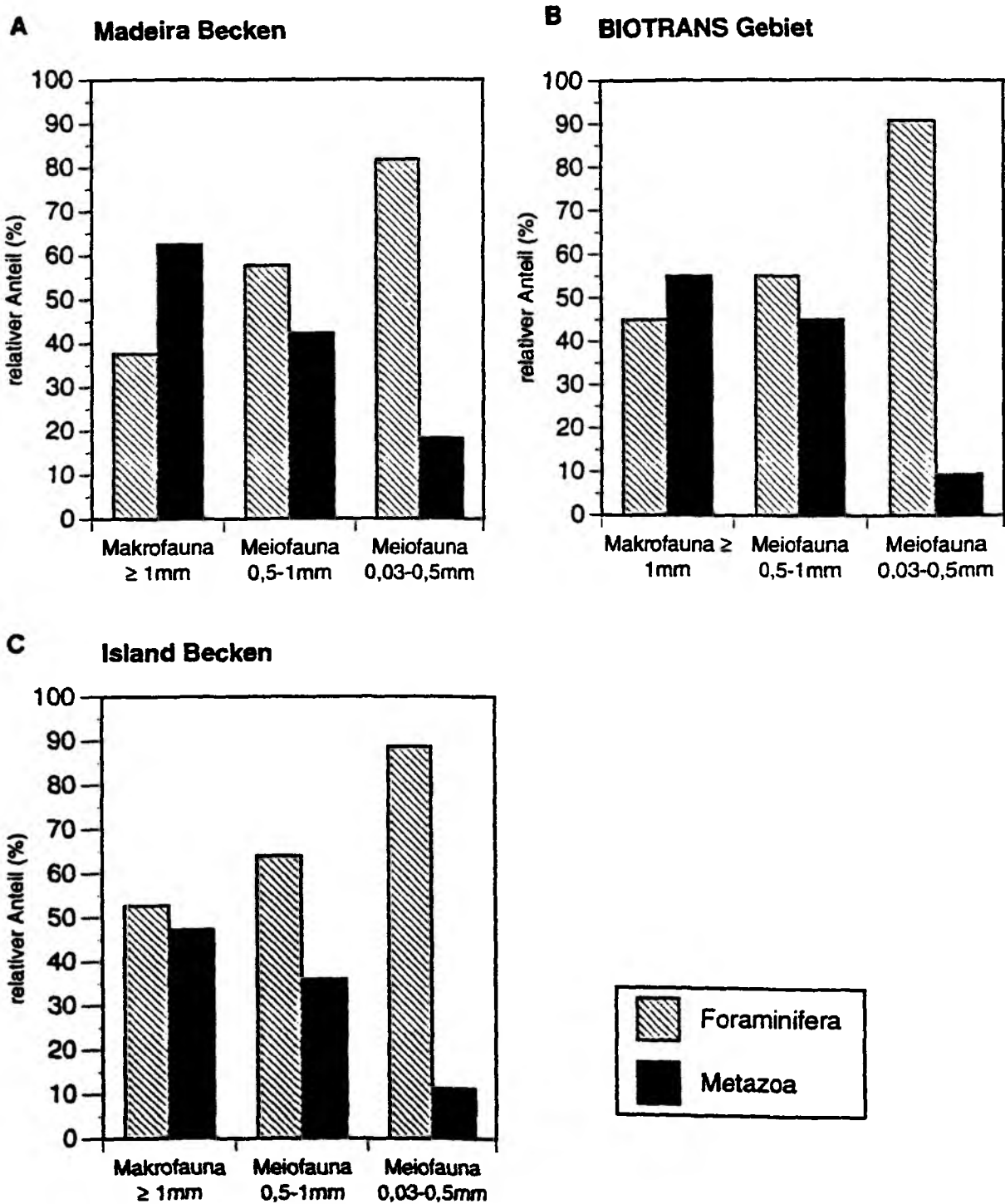


Abbildung 25 a-c: Anteile von Protozoa und Metazoa an der Makrofauna, größeren Meiofauna und der Meiofauna $\leq 0,5\text{mm}$ im Island-Becken (A), BIOTRANS-Gebiet (B) und Madeira-Becken (C).

Figure 25 a-c: Proportion of Protozoa and Metazoa in the macrofauna, larger meiofauna and meiofauna $\leq 0.5\text{mm}$ in the Iceland Basin (A), BIOTRANS area (B) and Madeira Basin (C).

An allen drei Stationen waren die Protozoen die vorherrschende Gruppe (Abb. 25a-c). Ihren höchsten Anteil erreichten sie mit 64% im Island-Becken. Bei den Metazoa waren Polychaeta das vorherrschende Taxon mit 42-46,4% (Abb. 24b). Der Polychaetenanteil stieg auch im Madeira-Becken in dieser Größenklasse deutlich an. Häufige Taxa waren außerdem die Nematoda und Crustacea.

Die Meiofauna der Größenklasse 0,03-0,5mm zeigte ebenfalls mit 4014 Individuen/10cm² die höchsten Individuendichten im Island-Becken (Abb. 23c). Im Madeira-Becken wurden 814 Individuen/10cm², im BIOTRANS-Gebiet im Juni 1990 1376 Individuen/10cm² sowie im August 1989 2101 Individuen/10cm² ermittelt. Diese Differenz deutet auf einen saisonalen Anstieg der Abundanz im BIOTRANS-Gebiet hin. An allen untersuchten Stationen waren die Protozoen die mit großem Abstand dominierende Gruppe mit einem Anteil von 80-90% (Abb. 25a-c). Bei den Metazoa sind die Nematoda das vorherrschende Taxon (Abb. 26). Ihr Anteil war jedoch im BIOTRANS-Gebiet und im Madeira-Becken deutlich höher. Im Island-Becken waren Harpacticoidea und Nauplii relativ häufig im Vergleich zu den anderen Stationen.

Die Verteilungsmuster der Meiofauna in der Sedimentsäule waren zwischen den Probenorten verschieden (Abb. 27a-c). Während im Madeira-Becken für die Taxa Foraminifera, Nematoda (Abb. 27a) und Harpacticoidea (incl. Nauplii, Abb. 27c) generell eine Abnahme der Abundanz mit zunehmender Sedimenttiefe erfolgte, konnten im BIOTRANS-Gebiet bei den Foraminifera (Abb. 27b) und im Island-Becken bei den Foraminifera und Harpacticoidea Abundanzmaxima in tieferen Sedimentschichten festgestellt werden.

Gesamtadenylate und Proteine

Partikuläre Gesamtadenylate werden als Summenparameter zur Quantifizierung der Biomasse der Organismen der Größenklasse $\leq 0.5\text{mm}$ herangezogen. Bei den Organismengruppen handelt es sich hauptsächlich um Bakterien, Protozoen und Meiofauna, die in der Hauptsache kleiner als 125 μm ist. Die Gesamtadenylate im Vergleich der 3 Stationen (Abb. 28) zeigten relativ hohe Werte im Madeira-Becken (0 - 2cm), die mit zunehmender Sedimenttiefe abnahmen. Im BIOTRANS-Gebiet kam es im Vergleich zum Juni im August zu einem Anstieg der Werte um den Faktor 2-3. Die Augustwerte im BIOTRANS-Gebiet entsprachen den Meßwerten aus dem Island-Becken.

Die Messung von partikulärem Protein erfaßt sowohl an Biomasse gebundene als auch refraktäre Proteine, während die leicht abbaubaren Adenylate an das Vorhandensein von Biomasse gebunden sind. Die Proteinwerte im Island-Becken waren 2-3 Mal so hoch wie im Madeira-Becken, während die Augustwerte im BIOTRANS-Gebiet zwischen den beiden anderen Stationen lagen (Abb. 29). Die Madeirawerte übertrafen jedoch die Juniwerte im BIOTRANS-Gebiet. Im BIOTRANS-Gebiet kam es wie bei den Adenylaten zu einer saisonalen Steigerung der Proteinwerte. Im BIOTRANS-Gebiet und im Island-Becken zeigte sich eine Ausbildung von Maxima in den Horizonten 2-3cm. Die Maxima lagen im gleichen Tiefenhorizont wie die Tiefenmaxima der Foraminifera (Abb. 27b). Mehrfache Hydrolysen von Sedimenten aus dem BIOTRANS-Gebiet zeigten, daß mit einer Hydrolyse nur ca. 15 - 25% des partikulären Proteins erfaßt werden (Abb. 30). Während mit der ersten Hydrolyse weitgehend an Biomasse gebundenes Protein und frisches detritisches Material erfaßt wird, scheinen weitere Hydrolysen einen Pool von Eiweißverbindungen aufzuschließen, der eine komplexe Verbindung mit den Sedimentpartikeln eingeht (z.B. Huminstoffe).

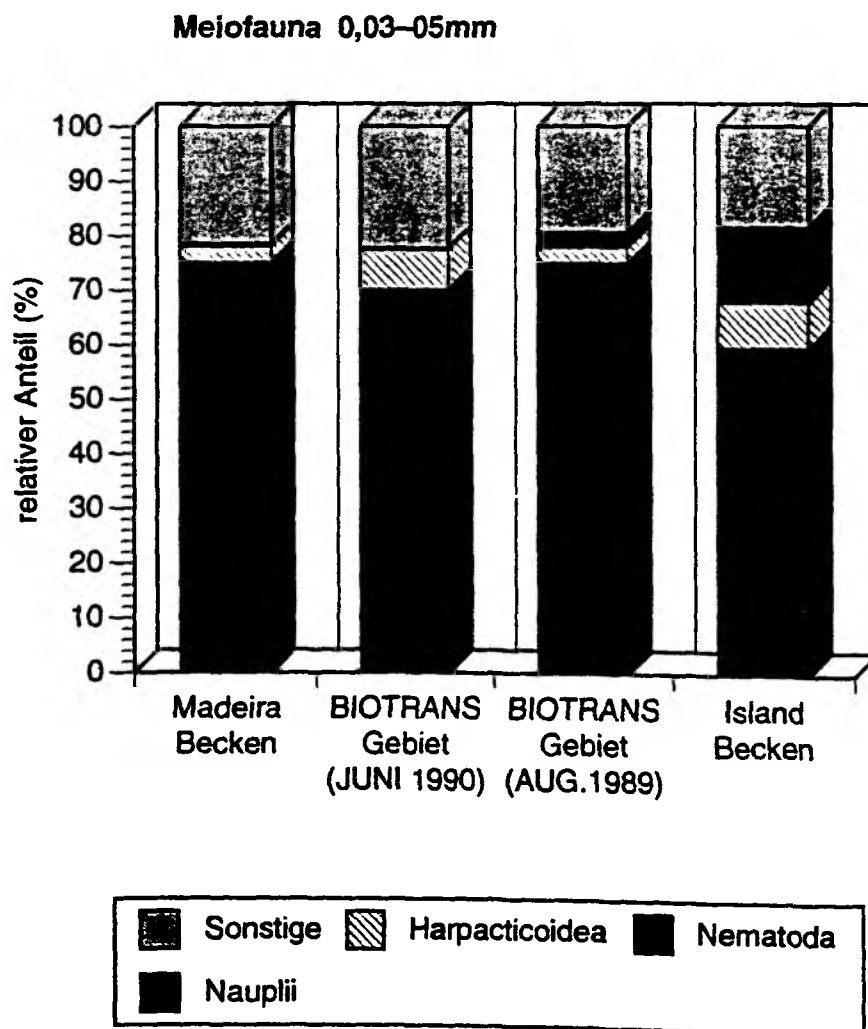


Abbildung 26: Prozentuale Häufigkeit der wesentlichen Metazoen-Taxa der Meiofauna 0,03–0,5mm.

Figure 26: Relative abundance of the main metazoan taxa of the meiofauna sized 0.03–0.5mm.

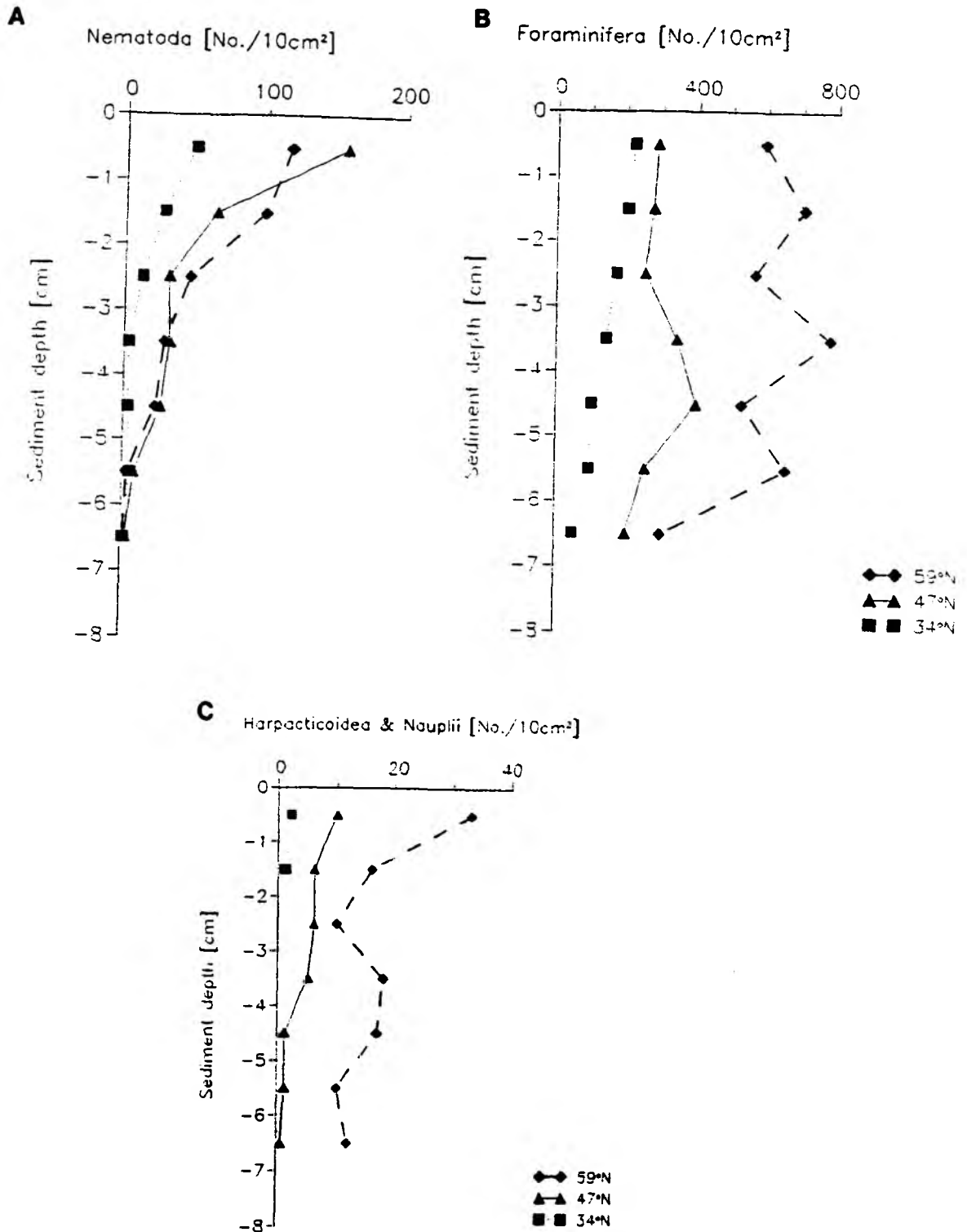


Abbildung 27 a-c: Vertikalprofile der Verteilung von Nematoda (A), Foraminifera (B) und Harpacticoidea und Nauplii (C) an den untersuchten Stationen.

Figure 27 a-c: Vertical distribution of Nematoda (A), Foraminifera (B) and Harpacticoidea and Nauplii (C) at the sampled stations.

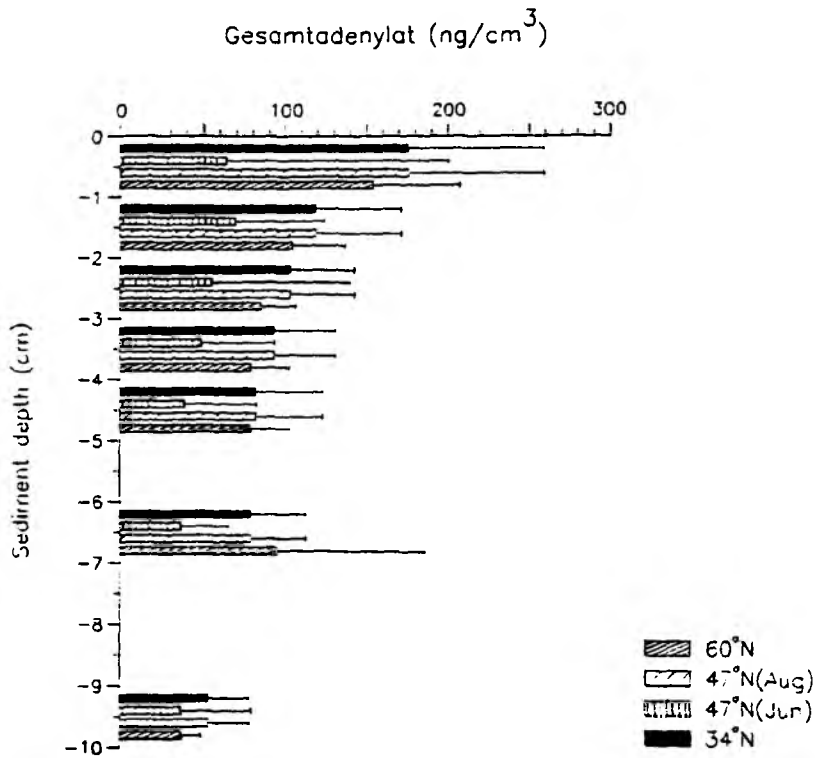


Abbildung 28: Vertikalprofile der Verteilung von Gesamtadenylat an den untersuchten Stationen.

Figure 28: Vertical profile of total adenylates at the sampled stations.

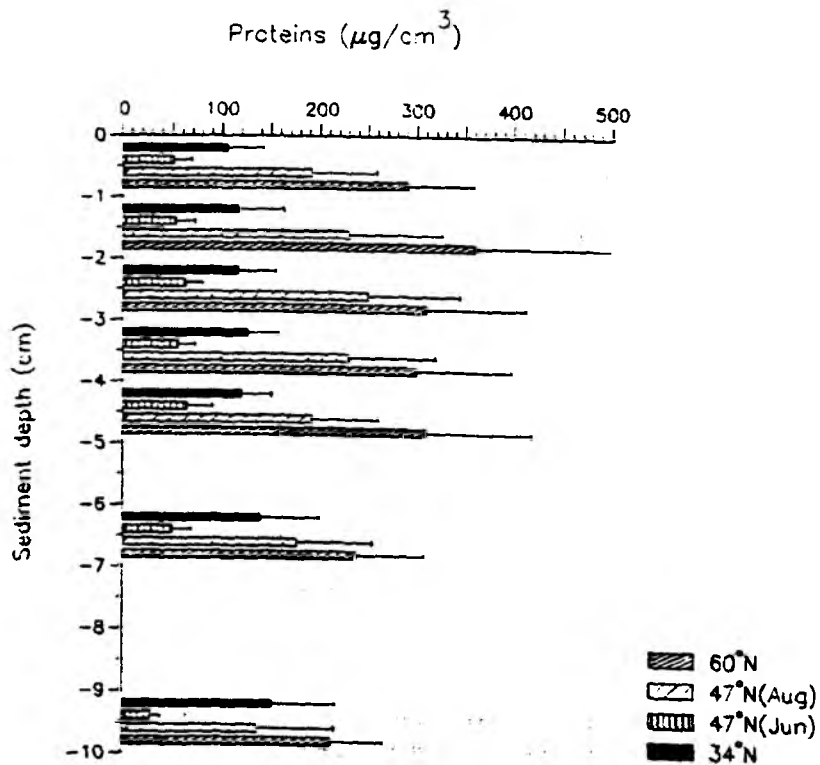


Abbildung 29: Vertikalprofile von Proteinen an den untersuchten Stationen.

Figure 29: Vertical profile of protein at the sampled stations.

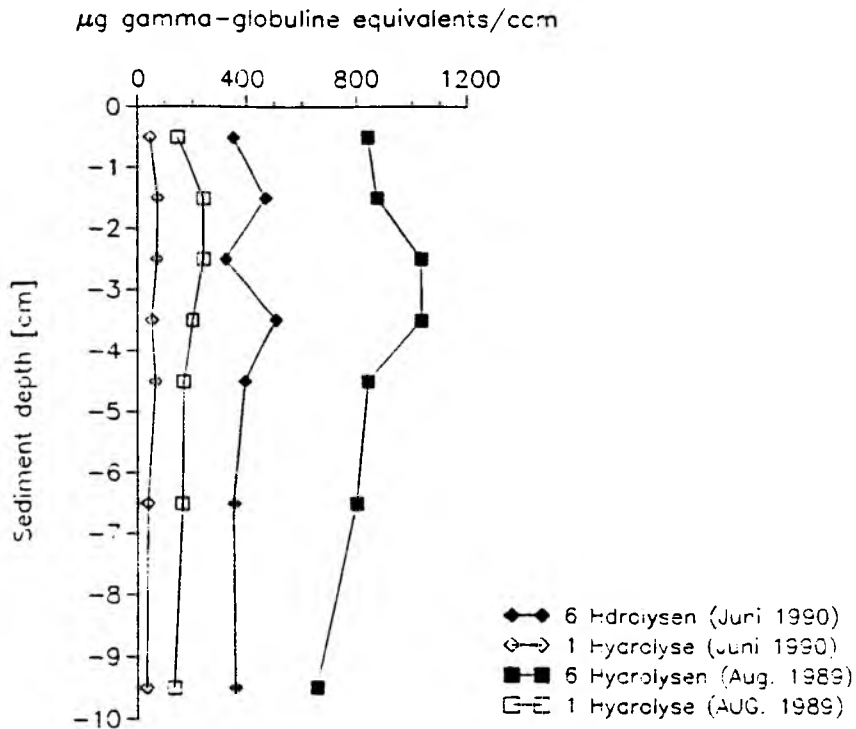


Abbildung 30: Vertikalprofile von Proteinen nach 1 Hydrolyse und 6 Hydrolysen im Sediment des BIOTRANS-Gebiet.

Figure 30: Vertical profiles of proteins after one hydrolysatation and after 6 hydrolysatations in sediments from the BIOTRANS area.

Aktivität

Die ETS-Aktivität unterschied sich ebenfalls an den drei Probenorten (Abb. 31). Die höchsten Werte wurden im Island-Becken gemessen. Die ETS-Aktivität im Madeira-Becken lag unter den Juniwerten im BIOTRANS-Gebiet. Im BIOTRANS-Gebiet lagen die Augustwerte wiederum niedriger als die Juniwerte.

Bei den ATP-Werten (Abb. 32) war eine relativ hohe Aktivität im Madeira-Becken festzustellen, die jedoch unter den Augustwerten im BIOTRANS-Gebiet lag, wo sich ein deutlicher saisonaler Anstieg zeigte. Im Gegensatz zur ETS-Aktivität, die sich unmittelbar nach der Sedimentation von POM zu steigern scheint, schien das Auftreten von ATP-Maxima zeitlich verzögert zu sein.

Die Tiefenprofile von FDA zeigten unterschiedliche Enzymaktivitäten an den Untersuchungsstationen. Die höchsten Aktivitäten wurden im BIOTRANS-Gebiet und auf dem Porcupine Abyssal Plain gemessen. Bei beiden Stationen ist auch ein ähnlicher Verlauf der Aktivitätskurven mit zunehmender Sedimenttiefe festzustellen. Nach Maximumwerten im ersten Zentimeter fällt die Aktivität stark ab, während sie dann im Bereich 2-5cm wieder leicht ansteigt. Unterhalb von 5cm kommt es zu einem kontinuierlichen Abfall. Im Island-Becken nehmen die Werte zwischen der Oberfläche und dem Horizont 2-3cm gleichmäßig ab, unterhalb 3cm bleiben die Werte auf dem gleichen Niveau. Die Enzymaktivität im Madeira-Becken war deutlich geringer im Vergleich mit den anderen Stationen.

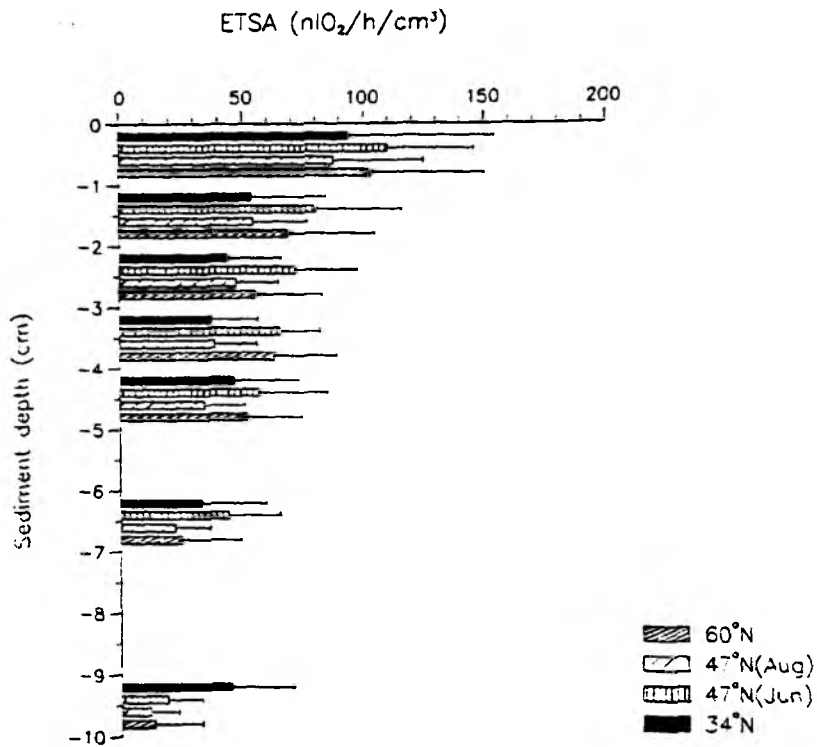


Abbildung 31: Vertikalprofile der ETS Aktivität an den untersuchten Stationen.

Figure 31: Vertical profile of ETS activity in sediments from the sampled stations.

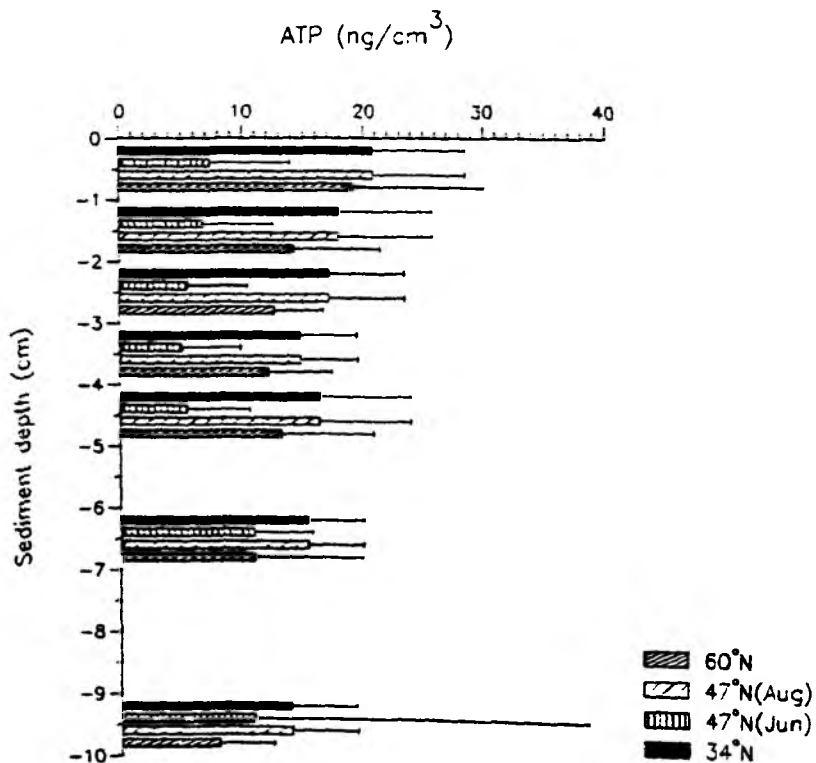


Abbildung 32: Vertikalprofile des ATP-Gehalts an den untersuchten Stationen.

Figure 32: Vertical profile of ATP contents in sediments from the sampled stations.

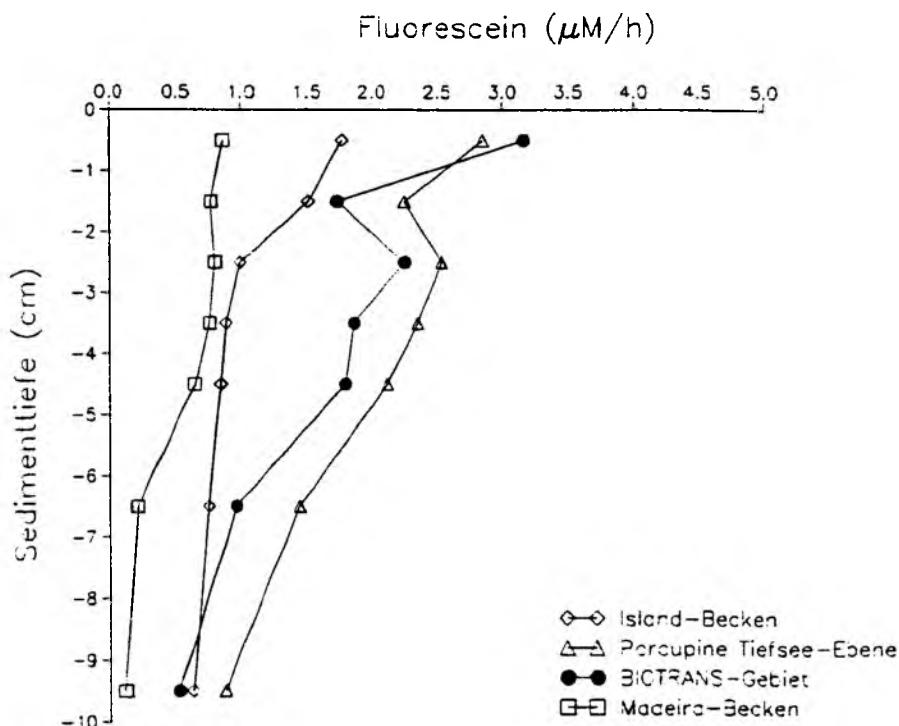


Abbildung 33: Profile der Umsatzraten von Fluoresceindiaceat (FDA) zur Bestimmung der Aktivität von Exoenzymen an den untersuchten Standardstationen sowie einer Station auf dem Porcupine Abyssal Plain in 49°N, 16°30'W.

Figure 33: Profiles of turnover rates of Fluoresceindiaceat (FDA) applied to evaluate the exoenzymatic activity at the sampled standard stations as well as at a station on the Porcupine Abyssal Plain in 49°N, 16°30'W.

Ratenmessungen

Die Respirationsraten der benthischen Lebensgemeinschaft wurden *in situ* mit dem Freifall-Greifer-Respirometer (FFGR) gemessen (PFANNKUCHE & LOCHTE 1990, TENBERG et al., in press). Tabelle 1 gibt die Werte der Untersuchungsgebiete im Vergleich zu anderen Meßpunkten im Nord- und Nordostatlantik wieder, die ebenfalls im Rahmen von BIOTRANS und BIO-C-FLUX untersucht wurden. Im Madeira-Becken konnte das FFGR nicht eingesetzt werden, da das Gerät wegen der weichen Sedimente zu tief eingesunken wäre. Die Respirationswerte im Island-Becken lagen im Bereich der Sommerwerte im BIOTRANS-Gebiet. Für das BIOTRANS-Gebiet ergibt sich im Vergleich der Monate April und Juli/August ein deutlicher saisonaler Anstieg.

Zusammenfassung und Diskussion

Bei dem Vergleich der drei Stationen wurde von der Hypothese ausgegangen, daß die Primärproduktion einer ozeanischen Region die Höhe des benthischen standing stock und der Umsatzraten von C_{org} bestimmt. Ein Vergleich von *in situ* Respirationsraten (SCOC), sedimentgebundenen chloroplastischen Pigmenten (CPE) und Adenylat-Biomassen aus dem Nord- und Nordost-Atlantik (Tab. 2) zeigt, daß signifikante statistische Korrelationen (Tab. 3) zwischen Respirationsraten und chloroplastischen Pigmenten, sowie zwischen der geographischen Breite und chloroplastischen Pigmenten besteht. Verschiedene biogeochemische Provinzen mit unterschiedlicher Primärproduktivität sind auch in den Respirationsraten des Tiefseebenthos dokumentiert.

Tabelle 1: Benthische *in situ* Respirationsraten (SCOC) in der östlichen Hälfte des Nordatlantiks zwischen 6° N und 68° N.

Table 1: Benthic *in situ* respiration rates (SCOC) in the eastern N Atlantic between 6°N and 68°N.

SCOC $\mu\text{IO}_2/\text{m}^2/\text{Std}$	Monat	Wassertiefe (m)	geograph. Breite & Gebiet
72,6	Dez.	4264	6°N, Sierra Leone Becken
61,8	Dez.	4394	11°N, Kapverden Becken
15.1-20.3	Apr.	4560	47°N, BIOTRANS-Gebiet
38,4	Jul.	4560	47°N, BIOTRANS-Gebiet
36,3	Aug.	4560	47°N, BIOTRANS-Gebiet
52,7	Mai	1200	49°N, Goban Spur
22,3	Mai	4850	49°N, Porcupine Abyssal Plain
31,4	Jul.	2900	59°N, Island-Becken
24,5-47,3	Aug.	1300	68°N, Vøring Plateau
37,1	Aug.	3000	68°N, Lofoten Becken

Tabelle 2: Chloroplastische Pigmentäquivalente (CPE = Summe Chlorophyll *a* + Phäopigmente), *in situ* Respirationsraten der benthischen Lebensgemeinschaft (SCOC = sediment community oxygen consumption), partikuläres Gesamtadenylat (Summe ATP+ADP+AMP) aus allen untersuchten Stationen in der Tiefsee des östlichen Nordatlantiks zwischen 6°N und 68°N.

Table 2: Chloroplastic pigment equivalents (CPE = sum of Chlorophyll *a* + phaeopigments), *in situ* respiration rates of the benthic community (SCOC = sediment community oxygen consumption), total particulate adenylates (sum of ATP+ ADP + AMP) from all sampled stations in the deep sea of the NE Atlantic between 6°N and 68°N.

E ng/cm ²	Geograph. Breite °N	Wassertiefe (m)	S C O C $\mu\text{IO}_2/\text{m}^2/\text{Std}$	Gesamtadenylat ng/cm ³
6,90	06°	4264	72,6	169,7
4,90	11°	4934	61,8	133,2
1,09	47°	4560	18,3	33,0
3,01	47°	4560	38,4	144,0
1,90	47°	4560	36,3	103,8
3,60	49°	1200	52,7	166,5
1,10	49°	4850	22,3	46,3
2,9	59°	2900	31,3	157,2
0,65	68°	1300	32,5	129,6
0,50	68°	3000	37,1	112,0

Tabelle 3: Korrelationsmatrix (multiple Regression der Daten aus Tabelle 1 von chloroplastischen Pigmenten (CPE), Respirationsraten (SCOC), geographischer Breite, Wassertiefe und Gesamtadenylaten (signifikant 1% Bereich, *signifikant 5% Bereich).**

Table 3: Correlation matrix (multiple regression of dates from Table 1: chloroplastic pigments (CPE), respiration rates (SCOC), geographic latitude, water depth and total adenylates (significant at the 1% level, * significant at the 5% level).**

CPE	1,000				
SCOC	0,888**	1,000			
Breite	-0,873*	-0,754	1,000		
	0,205	-0,014	-0,541	1,000	
Adenylate	0,718	0,618	-0,075	-0,537	1,000
	CPE	SCOC	Breite	Tiefe	Adenylate

Der direkte Vergleich der drei untersuchten Stationen, die ein Nord-Süd-Gefälle in der jährlichen Primärproduktion aufweisen, ergibt ein vielfältiges Bild, das im direkten Vergleich von Parametern nicht immer einen Nord-Süd-Gradienten aufweist. Für den Vergleich muß zwischen sich langfristig manifestierenden Parametern und kurzfristig stark schwankenden Parametern unterschieden werden. Ein langfristiger Parameter ist der standing stock der Makrofauna, da nach Ergebnissen aus dem BIOTRANS-Gebiet nur geringe saisonale Schwankungen auftreten (PFANNKUCHE 1992). Alle anderen Parameter wie Respirationsraten, Aktivitätspotentiale und biochemische Biomasse-Summenparameter, die auf Grund ihrer Probengröße die kleinen Größengruppen des Benthos (Bakterien, Nano- und kleine Meiofauna) erfassen, unterliegen kurzzeitigen Schwankungen, die an Sedimentationsereignisse gekoppelt sind (GOODAY & TURLEY 1990; GRAF 1989; LOCHTE 1992; PFANNKUCHE 1992, 1993; PFANNKUCHE & LOCHTE 1993; PFANNKUCHE et al., dieser Berichtsband, Kap. 6.2.2; TURLEY & LOCHTE 1990).

Physikalische Parameter wie Windstreß während der Frühjahrsblüte (PFANNKUCHE et al., dieser Berichtsband, Kap. 6.2.2), das Auftreten von ozeanographischen Strukturen wie z.B. Eddies (BECKMANN et al., 1987; LOCHTE & PFANNKUCHE 1987) sowie benthischen Stürmen (KLEIN & MITTELSTAEDT 1992) können besonders im mesoskaligen Bereich zu bedeutenden Variationen im Partikelfluß und in der Deposition von Partikeln führen.

Der Nordostatlantik nördlich von 45° N ist ein meteorologisch und hydrographisch unruhiges Gebiet, in dem mesoskalige Ereignisse bedeutend sind. So wurde im August 1989 im Transponderfeld des BIOTRANS-Gebiets keine Phytodetritusauflage auf dem Sediment gefunden, während 20 - 30sm nördlich relativ frischer, bräunlicher Phytodetritus auftrat. Sowohl an der BIOTRANS-Station als auch im Island-Becken können benthische Stürme auftreten, die deponierten POM wieder resuspendieren und somit bereits eingetretene Reaktionen benthischer Organismen beenden können. Die relativ groben Sedimente im Island-Becken zeigen relativ starke Bodenströmungen an. Die Konzentration resuspendierten Materials in der Nepheloidschicht war hier 1989 eine Größenordnung höher als im BIOTRANS-Gebiet (GODET & NYFELLER 1990). 1989 wurde bei Sinkstoffallenmessungen von POM kein wesentlicher Unterschied zwischen den Verankerungen in 48°N und 34°N festgestellt (HONJO & MANGANINI 1993).

Während die standing stock-Daten der Makrofauna im Vergleich der drei untersuchten Stationen die Hypothese einer Zunahme benthischer Biomasse mit zunehmender jährlicher Primärproduktion

bestätigen, liefert der Vergleich der anderen Parameter mehr ein Zustandsbild der benthischen Lebensgemeinschaft, die durch die aktuelle Deposition von POM bestimmt wird. Die Aktivitätswerte und biochemischen Summenparameter im Madeira-Becken repräsentieren mehr oder weniger Maximumwerte, die sich im Gefolge eines starken Sedimentationspulses ergeben. Der Datensatz für das Island-Becken, der in vielen Parametern das gleiche Niveau wie im Madeira-Becken aufweist, entspricht Werten ohne einen aktuellen Sedimentationspuls. Die Maximumwerte dürften daher höher als im Madeira-Becken liegen. Die Juniwerte im BIOTRANS-Gebiet beschreiben den Beginn der benthischen Reaktion auf einen einsetzenden Puls. Im Vergleich mit den Augustwerten des folgenden Jahres kann die saisonale Variation im Sommer abgeschätzt werden. Der Vergleich der drei Stationen zeigt, daß eine dynamische Kopplung zwischen dem Epipelagial und dem abyssalen Benthos besteht und daß die Aktivitäts- und Umsatzraten der benthischen Lebensgemeinschaft weitgehend das unmittelbar vor der jeweiligen Untersuchung aufgetretene Sedimentationsgeschehen von POM reflektieren. Veränderungen in der Biomasseproduktion und im Stoffumsatz werden hauptsächlich durch Bakterien, Protozoen und im beschränkten Maße auch durch kleine Meiofaunaorganismen hervorgerufen, da diese Gruppen, sowohl durch die Aktivierung von dormanten Zellen oder anderen Ruhestadien, als auch durch ihre kurzen Fortpflanzungszyklen, in sehr kurzer Zeit auf Sedimentationsereignisse reagieren können. Entscheidend für die Stärke der benthischen Reaktion ist die Qualität und Quantität der Sedimentationspulse. Sie entscheiden darüber, ob die benthische Reaktion in einer kurzfristigen Aktivitätserhöhung besteht oder ob es zu einem Zuwachs an Biomasse kommt.

LITERATUR:

- ALLDREDGE, A.L., & M.W. SILVER, 1988: Characteristics, dynamics and significance of marine snow. *Progr. Oceanog.*, **20**: 41-82.
- BARNETT, P.R.O., J. WATSON & D. CONELLY, 1984: A multiple corer for taking virtually undisturbed samples from shelf, bathyal and abyssal sediments. *Oceanologica Acta*, **7**: 399-408.
- BECKMANN, W., A. AURAS & Ch. HEMLEBEN, 1987: Cyclonic cold core eddy in the eastern North Atlantic. III. Zooplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **30**: 165-173.
- BILLEN, G., 1991: Protein degradation in aquatic environments. In: *Microbial enzymes in aquatic environments*. R.J. CHROST (ed): Springer Verlag, Berlin, New York: 123-143.
- BILLETT, D.M.S., R.S. LAMPITT, A.L. RICE & R.F.C. MANTOURA, 1983: Seasonal sedimentation of phytoplankton to the deep-sea benthos. *Nature (London)*, **302**: 520-522.
- CHRISTIANSEN, B., & H. THIEL, 1992: Deep-sea epibenthic megafauna of the Northeast Atlantic: Abundance and biomass at three mid-oceanic locations estimated from photographic transects. In: *Deep-sea food chains and relation to the global carbon cycle*, G. ROWE & V. PARIENTE (eds.), NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 125-138.
- COLE, J.J., S. HONJO & J. EREZ, 1987: Benthic decomposition of organic matter at a deep-water site in the Panama Basin. *Nature*, **327**: 703-704.
- DUCKLOW, H.W., & R.P. HARRIS, 1993: Introduction to the JGOFS North Atlantic Bloom Experiment. *Deep-Sea Res. II*, **40**: 1-8.

- DEUSER, W.G., E.H. ROSS & R.F. ANDERSON, 1981: Seasonality in the supply of sediment to the deep Sargasso Sea and implications for the rapid transfer of matter to the deep ocean. *Deep-Sea Res.*, **28**: 495-505.
- FOWLER, S.W., & G.A. KNAUER, 1986: Role of large particles in the transport of elements and organic compounds through the oceanic water column. *Prog. Oceanog.*, **16**: 147-194.
- GODET, C.H., & F. NYFFELER, 1990:: CTD Registrierung und Trübungsmessungen. In: ZEITZSCHEL, B., J. LENZ, H. THIEL, R. BOJE, U. PASSOW & A. STUHR, Expedition Plankton '89 - Benthos '89; Reise 10; 19. März - 31. August 1989. *METEOR-Ber.*, **90-1**: 216pp.
- GOODAY, A.J., & C.M. TURLEY, 1990: Response by benthic organisms to input of organic material to the ocean floor. *Philosophical Transactions of the Royal Society London, A*, **331**: 119-138.
- GRAF, G., 1989: Benthic-pelagic coupling in a deep-sea benthic community. *Nature (London)*, **341**: 437-439.
- HECKER, B., 1990: Photographic evidence for the rapid flux of particles to the sea floor and their transport down the continental slope. *Deep-Sea Research*, **37**: 1773-1782.
- HONJO, S., & S.J. MANGANINI, 1993: Annual biogenic particle fluxes to the interior of the North Atlantic Ocean; studied at 34 °N 21°W and 48 °N 21°W. *Deep-Sea Res. II*, **40**: 587-607.
- JAHNKE, R.A., & G.A. JACKSON, 1987: Role of sea floor organisms in oxygen consumption in the deep North Pacific Ocean. *Nature (London)*, **329**: 621-623.
- KLEIN, H., & E. MITTELSTAEDT, 1992: Currents and dispersion in the abyssal Northeast Atlantic. Results from the NOAMP field program. *Deep-Sea Res.*, **39**: 1727-1745.
- LAMPITT, R.S., 1985: Evidence for the seasonal deposition of detritus to the deep-sea floor and its subsequent resuspension. *Deep-Sea Res.*, **32**: 885-897.
- LOCHTE, K., 1992: Bacterial standing stock and consumption of organic carbon in the benthic boundary layer of the abyssal North Atlantic. In: *Deep-sea food chains and relation to the global carbon cycle*, G. ROWE & V. PARIENTE (eds), NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 1-10.
- LOCHTE, K., 1993: Mikrobiologie von Tiefseesedimenten. In: *Mikrobiologie des Meeresbodens*. L.-A. MEYER-REIL & M. KÖSTER (eds), Gustav Fischer Verlag, Stuttgart: 258-282.
- LOCHTE, K., & O. PFANNKUCHE, 1987: Cyclonic cold core eddy in the eastern North Atlantik. II. Nutrients, phytoplankton and bacterioplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **30**: 153-164.
- LOCHTE, K., & C.M. TURLEY, 1988: Bacteria and cyanobacteria associated with phytodetritus in the deep sea. *Nature (London)*, **333**: 67-69.
- MEYER-REIL, L.-A., 1990: Microorganisms in marine sediments: considerations concerning activity measurements. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, **34**: 1-6.

- MEYER-REIL, L.-A., & M. KÖSTER, 1992: Microbial life in pelagic sediments: the impact of environmental parameters on enzymatic degradation of organic material. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **81**: 65-72.
- NORIKI, S., & S. TSUNOGAI, 1986: Particulate fluxes and major components of settling particles from sediment trap experiments in the Pacific Ocean. *Deep-Sea Res.*, **33**: 903-912.
- PFANNKUCHE, O., 1992: Organic carbon flux through the benthic community in the temperate abyssal Northeast Atlantic. In: *Deep-sea food chains and relation to the global carbon cycle*, G. ROWE & V. PARIENTE (eds.), NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 183-198.
- PFANNKUCHE, O., 1993: Benthic response to the sedimentation of particulate organic matter at the BIOTRANS station, 47°N, 20°W. *Deep-Sea Res. II*, **40**: 135-149.
- PFANNKUCHE, O., & K. LOCHTE, 1990: Metabolismus und Energiefluß im Benthos. In: PFANNKUCHE, O., W. BECKMANN, B. CHRISTIANSEN, K. LOCHTE, G. RHEINHEIMER, H. THIEL & H. WEIKERT, 1990: BIOTRANS - Biologischer Vertikaltransport und Energiehaushalt in der bodennahen Wasserschicht der Tiefsee. *Berichte aus dem Zentrum für Meeres- und Klimaforschung, Universität Hamburg*, **10**: 131-154.
- PFANNKUCHE, O., & K. LOCHTE, 1993: Open ocean pelago-benthic coupling: cyanobacteria as tracers of sedimenting salp faeces. *Deep-Sea Res. I*, **40**: 727-737.
- PFANNKUCHE, O., & H. THIEL, 1987: Meiobenthic stocks and benthic activity on the NE-Svalbard Shelf and in the Nansen Basin. *Polar Biology*, **7**: 253-266.
- RICE, A.L., D.S.M. BILLET, J. FRY, A.W.G. JOHN, R.S. LAMPITT, R.C.F. ANTOURA & R.J. MORRIS, 1986: Seasonal deposition of phytodetritus to the deep-sea floor. *Proceedings of the Royal Society Edinburgh, B*, **88**: 265-279.
- SMITH, K.L.jr., & R.J. BALDWIN, 1984: Seasonal fluctuations in the deep-sea sediment community oxygen consumption: central and eastern North Pacific. *Nature (London)*, **307**: 624-626.
- TENGBERG, A., F. de BOVEE, P. HALL, W. BERELSON, G. CICCERI, P. CRASSOUS, A. DEVOL, S. EMERSON, R. GLUD, F. GRAZIOTTIN, J. GUNDERSEN, D. HAMMOND, W. HELDER, R. JAHNKE, A. KHRIPOUNOFF, V. NUPPENAU, O. PFANNKUCHE, C. REIMERS, G. ROWE, A. SAHAMI, F. SAYLES, M. SCHUSTER, B. WEHRLI & P. de WILDE: Benthic chamber and profile landers in oceanography - A review of design, technical solutions and functioning. *Prog. Oceanogr.* in press.
- THIEL, H., 1980: Benthic investigations of the deep Red Sea. Cruise reports: R.V. „Sonne“ - MESEDA I (1977), R.V. „Valdivia“ - MESEDA II (1979). *Courier Forschungs-Institut Senckenberg*, **40**: 1-35.
- THIEL, H., & Fahrtteilnehmer, 1986: 1. Fahrtabschnitt Bremerhaven - Vigo/Las Palmas (ANT-IV/1a). *Berichte zur Polarforschung*, **32**: 9-42.
- THIEL, H., O. PFANNKUCHE, G. SCHRIEVER, K. LOCHTE, A.J. GOODAY, Ch. HEMLEBEN, R.F.G. MANTOURA, C.M. TURLEY, J.W. PATCHING & F. RIEMANN, 1988/89: Phytodetritus on the deep-sea floor in a central oceanic region of the Northeast Atlantic. *Biol. Oceanogr.*, **6**: 203-239.

TURLEY, C.M., & K. LOCHTE, 1990: Microbial response to the input of fresh detritus to the deep-sea bed. In: Geochemical variability in the oceans, ice and sediments. L.D. LABEYRIE & C. JEANDEL (eds.), Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Global and Planetary Change Section), 89: 3-23.

6.2.2 Benthische Reaktionen auf die Sedimentation von Phytodetritus

O. PFANNKUCHE, K. LOCHTE & A. BOETIUS

Während der METEOR-Reise Nr. 21 wurden Benthosuntersuchungen während der Monate März - Mai und im August durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war es, die Reaktionen der Sedimentlebensgemeinschaft auf Sedimentationsereignisse während einer Produktionsperiode des Phytoplankton zu verfolgen. Frühere Untersuchungen zeigten, daß es im Gefolge von saisonalen Sedimentationsmaxima (THIEL et al., 1988/1989) im Spätfrühling bis Frühsommer zu einem Anstieg der benthischen Biomasse (Abb. 34) und zu einer signifikanten Steigerung benthischer Aktivitätsraten kommt (PFANNKUCHE 1993). PFANNKUCHE (1992) konnte eine Verdopplung der *in situ* Respirationsraten der Sedimentlebensgemeinschaft zwischen den Monaten März/April und Juli/August messen. TURLEY et al. (1988) und TURLEY & CARSTENS (1991) beschrieben einen Anstieg des standing stocks von Protozoen im Gefolge von Sedimentationsereignissen. GOODAY (1988) und GOODAY & LAMBSHEAD (1989) fanden einen starken Anstieg in der Abundanz von benthischen Foraminiferen nach einer Deposition von Phytodetritus im BIOTRANS-Gebiet. Die stärkste Reaktion auf die Deposition von Phytodetritus zeigten im BIOTRANS-Gebiet die Bakterien. LOCHTE (1992) fand eine Verdopplung der bakteriellen Biomasse zwischen März und Juli/August (Abb. 34). PFANNKUCHE (1992) berechnete, daß 60 - 80% des saisonalen Anstiegs der benthischen Respirationsrate auf die Aktivität von Bakterien und Protozoen zurückzuführen ist. Die kleinen Größenklassen der benthischen Lebensgemeinschaft sind offensichtlich diejenigen Gruppen, die auf Sedimentationspulse sehr schnell reagieren. Dies gilt besonders für einzellige Organismen (Bakterien, Protozoen). Diese Gruppen können sowohl durch die Aktivierung von dormanten Zellen oder anderen Ruhestadien als auch durch ihre kurzen Fortpflanzungszyklen in sehr kurzer Zeit auf Sedimentationsereignisse reagieren.

Die Untersuchungen wurden im BIOTRANS-Gebiet in einem mit Transpondern markierten Feld durchgeführt. Das Transponderfeld maß 3000m x 3000m, die Wassertiefe betrug 4560m. Die Aufsammlungen wurden um den Feldmittelpunkt in einem Radius von 1000m vorgenommen (Abb. 35).

Die Messungen der chloroplastischen Pigmente zeigten besonders im ersten Sedimentzentimeter schon im März erhöhte Werte, die mit Mai-Werten vorhergehender Jahre vergleichbar waren (Abb. 36). Auf der Sedimentoberfläche waren in den Multicorer-Proben grünliche Aggregate zu erkennen, die auch im Vorderdarm von Polychaeten zu finden waren. Offensichtlich war es im März zu einem Sedimentationspuls von Phytoplankton gekommen, ein Phänomen, das zu dieser Jahreszeit bisher für den tiefen NO-Atlantik noch nicht beschrieben wurde. Im April nahmen die Pigmentwerte wieder ab, während sie im Mai und August erneut deutlich anstiegen. Im August wurde in einigen Sedimentproben weißer, stark abgebauter Phytodetritus gefunden. Da unsere Methodik nicht zwischen dem Abbau in der Wassersäule und dem Abbau nach der Deposition unterscheiden kann, wissen wir nicht, ob das Material im August schon in einem relativ "gealterten" Zustand am Meeresboden ankam. Wir haben auch keinen Anhaltspunkt über den Zeitpunkt der Deposition.

Die gleichzeitig durchgeführten Nährstoffmessungen im Epipelagial durch die Kieler JGOFS-Gruppen (KOEVE, pers. Mitt.) zeigten eine offensichtliche Abnahme gegenüber den Winterwerten und eine

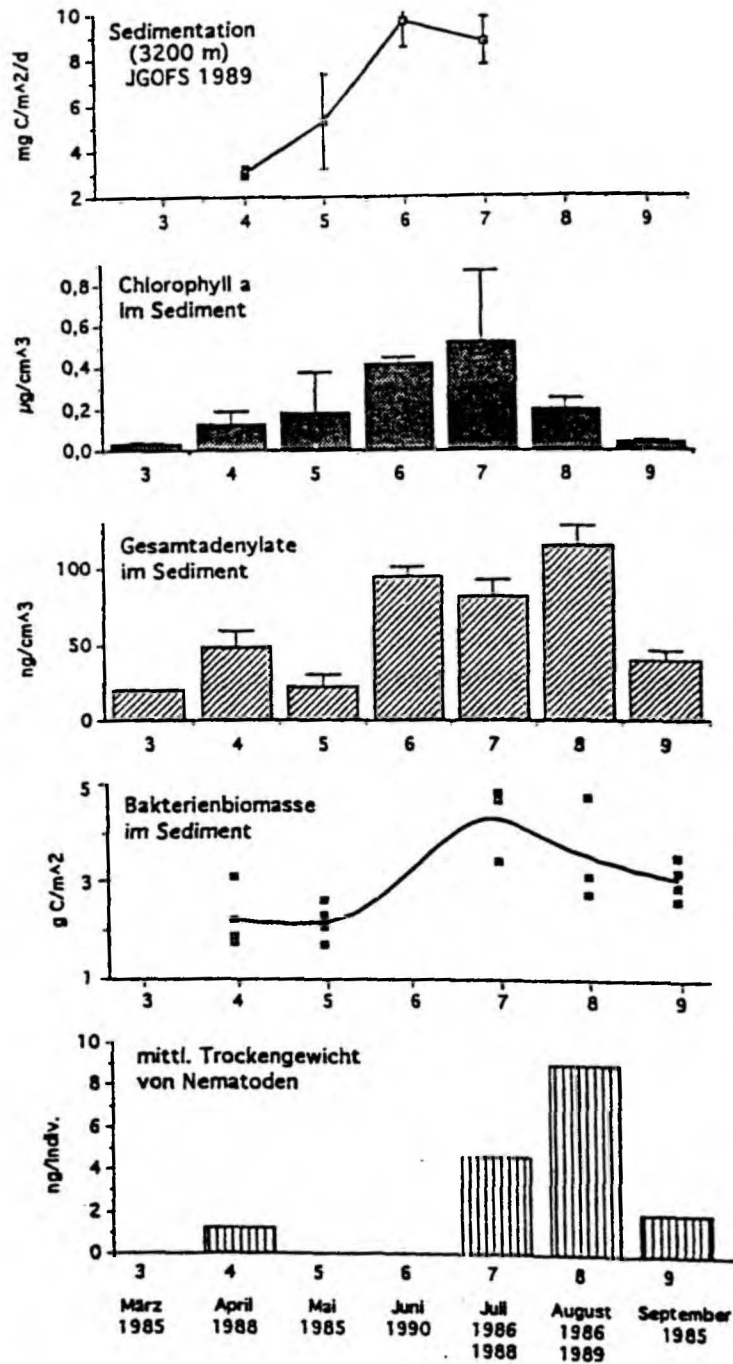


Abbildung 34: Saisonaler Verlauf der Sedimentation von POM nach Sinkstoffallenergebnissen, Chlorophyll *a* Gehalt im Sediment und benthischer Biomasse (Gesamtadenylate, Bakterienbiomasse, Nematodenbiomasse) im BIOTRANS-Gebiet.

Figure 34: Seasonality in the course of the sedimentation of POM according to particle sink traps records, Chlorophyll *a* contents in the sediments, and benthic biomass (total adenylates, bacterial biomass, Nematoda biomass) in the BIOTRANS area.

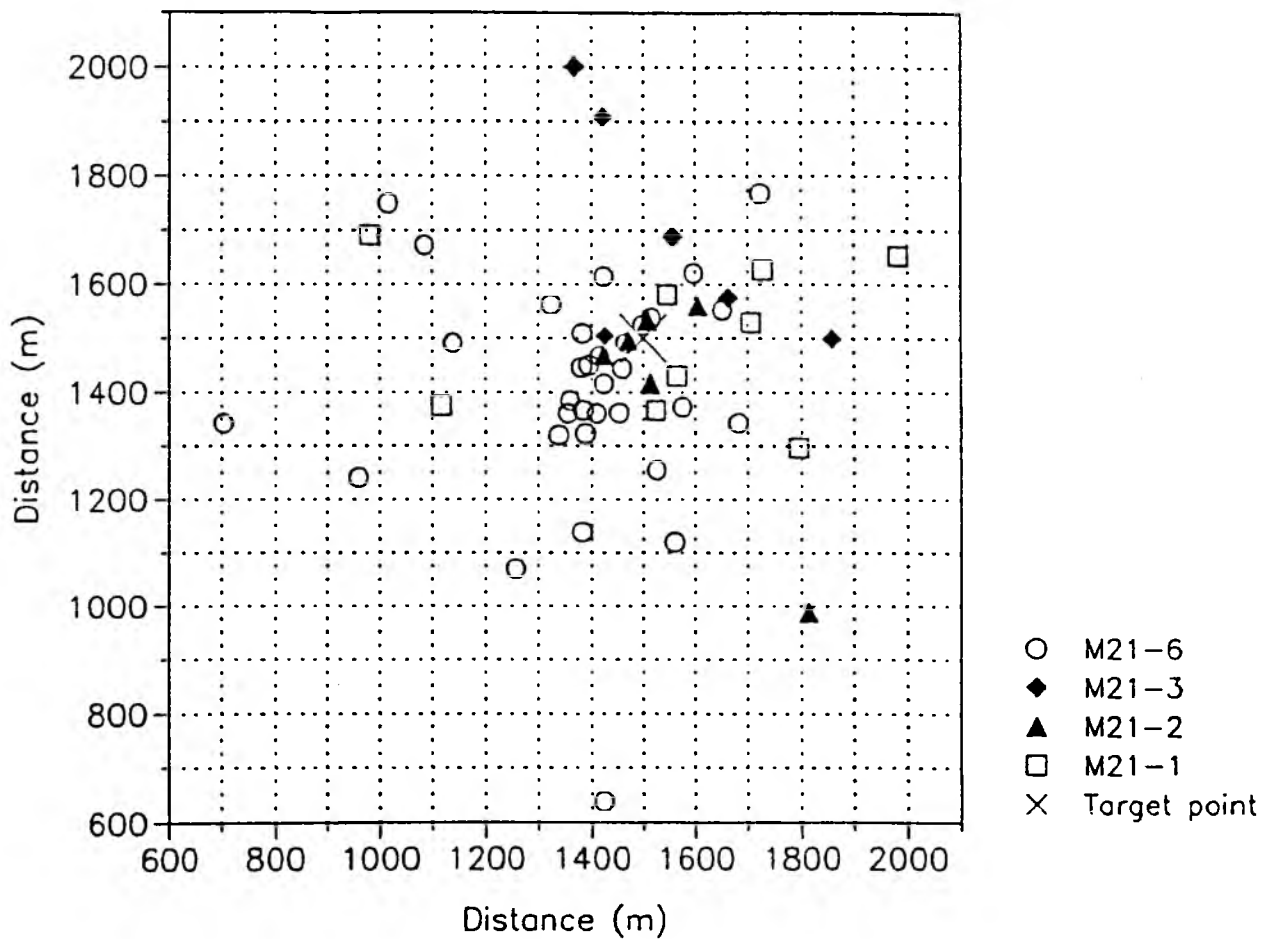


Abbildung 35: Positionen der Multicorer im Transponderfeld bei 47°10'N/19°35'W (Kreuz = Transponderfeldmittelpunkt).

Figure 35: Positions of multiple corer deployments in the transponder field at 47°10'N/19°35'W (cross = central point of transponder field).

Chloroplastic Pigments (ng Chlorophyll *a* equivalents cm^{-3} sediment)

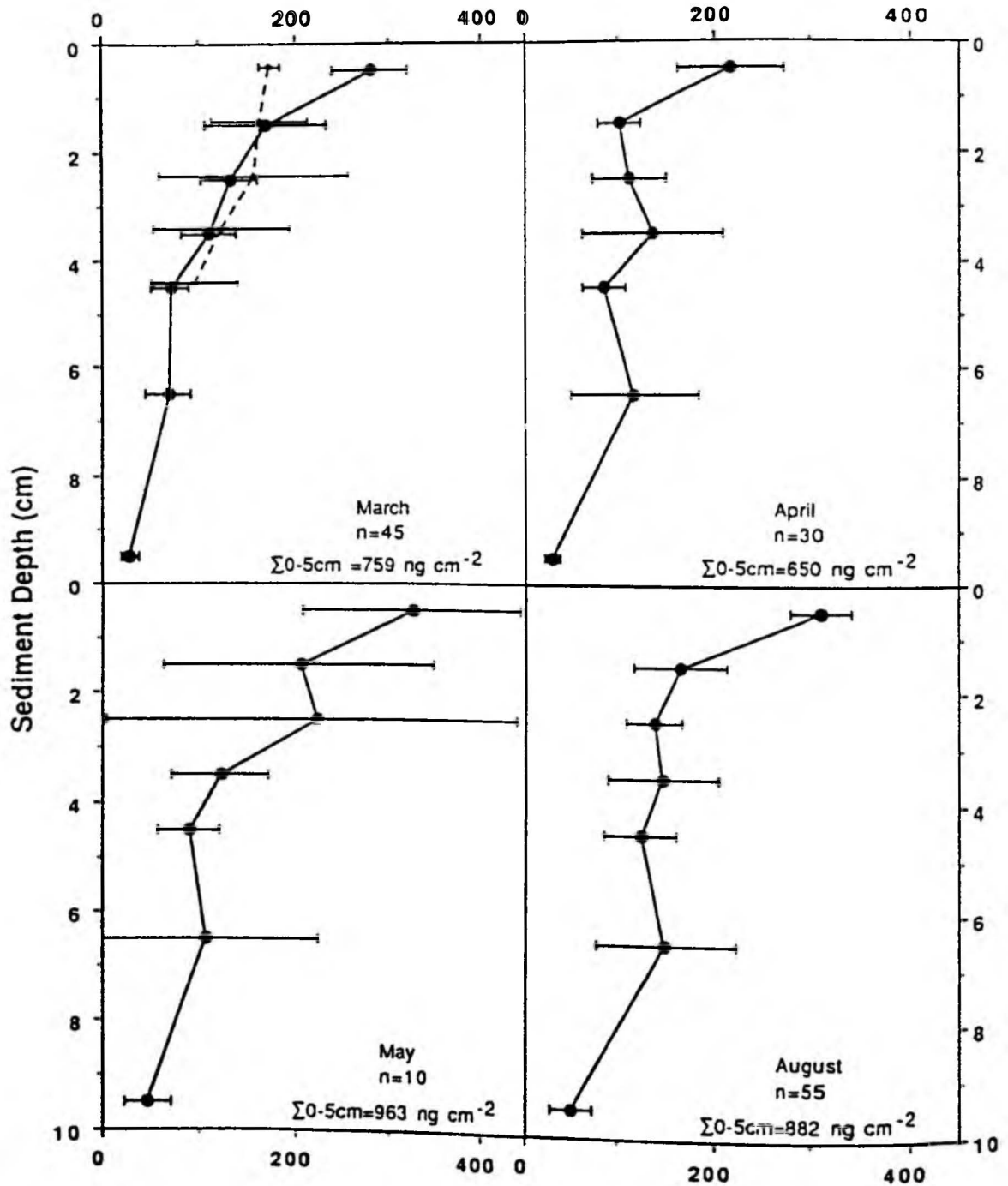


Abbildung 36: Konzentrationen von Chlorophyll *a*-Äquivalenten im Sediment (Sedimenttiefe bis 10cm; horizontale Balken = 95% Signifikanzbereich; n = Anzahl der Stichproben; I = integrierter Wert für den Sedimenthorizont 0 - 5cm).

Figure 36: Concentration of Chlorophyll *a*-equivalents in sediments (sediment depth down to 10cm; the horizontal lines give the confidence limits at the 95% probability level; n = number of samples per data point; $\Sigma 0-5\text{cm}$ = integrated values over the reactive 0 - 5 cm sediment layer).

Schichtung, also deutliche Hinweise auf eine Planktonblüte. Ende März wurde diese Schichtung durch starke Stürme zerstört. Diese Sturmperiode hielt bis Ende April an, danach kam es zu einer erneuten Schichtung und einer Planktonblüte, die ihren Niederschlag in den erhöhten Pigmentwerten im Mai fand. Über die planktologischen Ursachen des Sedimentationspulses im Sommer können keine Aussagen gemacht werden, da sich das Schiff zwischen Anfang Mai bis Anfang August in anderen Seegebieten aufhielt. Aus den benthischen Pigmentmessungen sowie den Befunden aus dem Epipelagial ist für das Jahr 1992 eine Reihe von Sedimentationspulsen in das Abyssal festzustellen, die einerseits ungewöhnlich früh begannen und andererseits relativ geringe Mengen von POM am Meeresboden deponierten, da kein Jahresmaximum der Pigmentwerte gemessen wurde. Ein Vergleich der Chlorophyll *a* und Phaeopigmentwerte zwischen Ende Juli 1986 mit einem starken Sedimentationsereignis (THIEL et al., 1988/1989) und Anfang August 1992 zeigten eine Differenz um den 10- bzw. 6-fachen Wert (Abb. 37).

Die Daten aus der Messung der enzymatischen Aktivität mit Fluoresceindiacetat (FDA) entsprachen im Verlauf der Verteilung von Meßwerten für chloroplastische Pigmente im Sediment (Abb. 38). Im März war die enzymatische Aktivität als Reaktion auf den frühen Sedimentationspuls deutlich gesteigert, während die Werte im April zurückgingen. Im Mai kam es noch nicht zu einem erneuten Anstieg, was auf eine Zeitverschiebung zwischen der Deposition von POM und der benthischen Reaktion schließen läßt. Im August erreichten die FDA-Werte im obersten Sedimenthorizont wieder die Werte vom März. Für den August ist jedoch unklar, ob die Messungen Maximumwerte für den zurückliegenden Sedimentationspuls darstellen oder ob schon wieder in der Abklingphase der benthischen Aktivität gemessen wurde.

Die benthische Biomasse wurde als Gesamtadenylat-Gehalt gemessen. Dieser Parameter ist an das Vorhandensein lebender Organismen gebunden und beschreibt Fluktuationen besonders in der Biomasse der kleinen Größenklassen des Benthos. Zwischen März und Mai kam es im Untersuchungsgebiet zu einer deutlichen Abnahme der Adenylat-Biomasse, während im August wiederum die Werte vom März erreicht wurden (Abb. 39). Der saisonale Verlauf der Adenylat-Werte entspricht dem der FDA-Werte. Während in den Sommern 1986 und 1989 die Frühsommerwerte des Gesamtadenylats ein deutliches Jahresmaximum zeigten, der 3 - 5mal über den Werten vom März 1985 lag, trat 1992 kein deutliches Biomassemaximum auf. Einen entsprechenden Trend konnte BOETIUS (1992) aus demselben Probensatz für Phospholipid-Gehalte messen, die hauptsächlich bakterielle Biomasse anzeigen (Abb. 40).

Da die Frage der Reaktionszeit des Benthos auf die Deposition von POM weitgehenden ungeklärt ist, wurden bei *in situ*-Druck und -Temperatur Sedimentproben mit sterilisiertem, gealtertem Phytoplankton in verschiedenen Konzentrationen (15 $\mu\text{mol C}_{\text{org}}$, 26 $\mu\text{mol C}_{\text{org}}$) inkubiert. Die Aktivität verschiedener hydrolytischer Enzyme, u.a. β -Glucosidase, wurde in Zeitreihen gemessen (Abb. 41). Zu einer deutlichen Erhöhung der enzymatischen Aktivität gegenüber den Kontrollen, die in ihrer Aktivität mehr oder weniger konstant blieben, kam es 7 - 9 Tage nach der Zugabe von POM. Nach 15 Tagen war das enzymatische Potential für den Abbau struktureller Polysaccharide in den Proben, die einen Zusatz von 26 $\mu\text{mol C}_{\text{org}}$ erhielten, etwa doppelt so hoch wie in den Proben, die einen Zusatz von 15 $\mu\text{mol C}_{\text{org}}$ erhielten. Ein signifikanter Biomasseanstieg konnte jedoch in den 15 Tagen nicht festgestellt werden.

Die Inkubationsexperimente zeigten, daß eine Sukzession von ca. 1 Woche zwischen der Detrituszugabe und der Steigerung der benthischen Aktivität besteht und daß die Bildung substratspezifischer hydrolytischer Enzyme proportional zur Menge des zugegebenen Phytodetritus erfolgt.

Fütterungsexperimente mit bathyalen Sedimentproben (2100m) vom Kontinentalhang der Norwegischen See zeigten ebenfalls eine Stimulation in der Bildung hydrolytischer Enzyme

(MEYER-REIL & KÖSTER 1992). Die benthische Reaktion erfolgte sogar früher als im BIOTRANS-Gebiet, was wahrscheinlich durch die viel reichhaltigere benthische Fauna (viele Foraminiferen) hervorgerufen wurde. GRAF (1989) beschreibt ebenfalls die Reaktion bathyaler benthischer Lebensgemeinschaften aus der Norwegischen See. Es wurde innerhalb weniger Tage eine signifikante Steigerung der ATP-Gehalte und der Hitzeproduktion gemessen, die bis in 9cm Sedimenttiefe reichte.

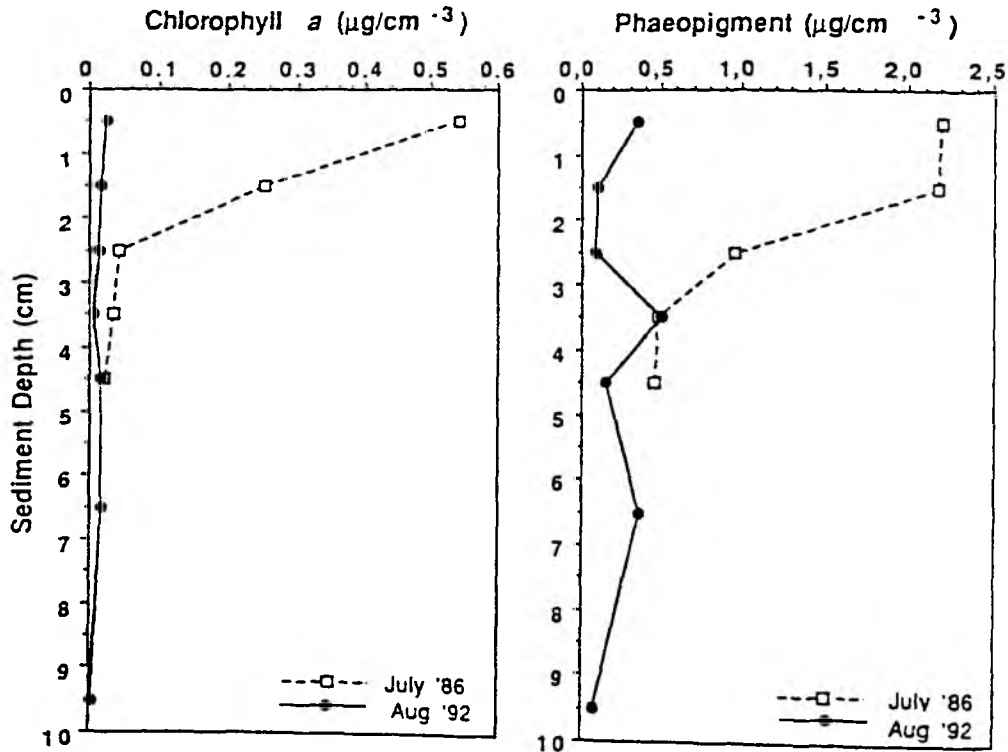


Abbildung 37: Chlorophyll a und Phaeopigmentkonzentration im späten Juli 1986 im Vergleich zum frühen August 1992. Für die Kurve aus 1992 wurden Maximum-Werte zu Grunde gelegt.

Figure 37: Concentrations of Chlorophyll a and Phaeopigments during late July 1986 as compared to early August 1992. The 1992 curve was based on maximum values.

Die Ergebnisse der Probennahmen 1992 im BIOTRANS-Gebiet geben deutliche Hinweise auf eine enge pelago-abyssobenthische Kopplung, auch im offenen Ozean, und durch parallel laufende Inkubationsversuche auf die Amplitude und Dauer benthischer Reaktion auf die Sedimentation von POM. Im Untersuchungszeitraum kam es zur Deposition von Phytodetritus in einer Sequenz von mehreren, relativ kleinen Pulsen, die durch die ungewöhnliche Phytoplanktonentwicklung im Epipelagial gesteuert wurde. Die benthische Lebensgemeinschaft reagierte schnell auf POM-Pulse mit einer Steigerung der Produktion hydrolytischer Enzyme. Diese Aktivitätssteigerung war jedoch nur auf kurze Zeiträume beschränkt. Eine signifikante Steigerung der Biomasse erfolgte nicht. Nach LOCHTE (1992) kommt es nur zu einer Produktion von bakterieller Biomasse, wenn die Menge und Qualität des POM-Pulses hoch genug ist, um die Anforderungen des Erhaltungsstoffwechsels deutlich zu übertreffen. Während z.B. im Frühsommer 1986 eine starke Deposition von POM (vergl. Abb. 37) eine deutliche Produktion bakterieller Biomasse und benthischer Umsatzraten hervorrief (Abb. 34, LOCHTE 1992, PFANNKUCHE 1993), kam es in 1992 zu keinem derartig nachhaltigen Sedimentationsereignis. Die Pigmentwerte Ende Juli 1986 waren 6-10mal höher als die Maximalwerte Anfang August 1992.

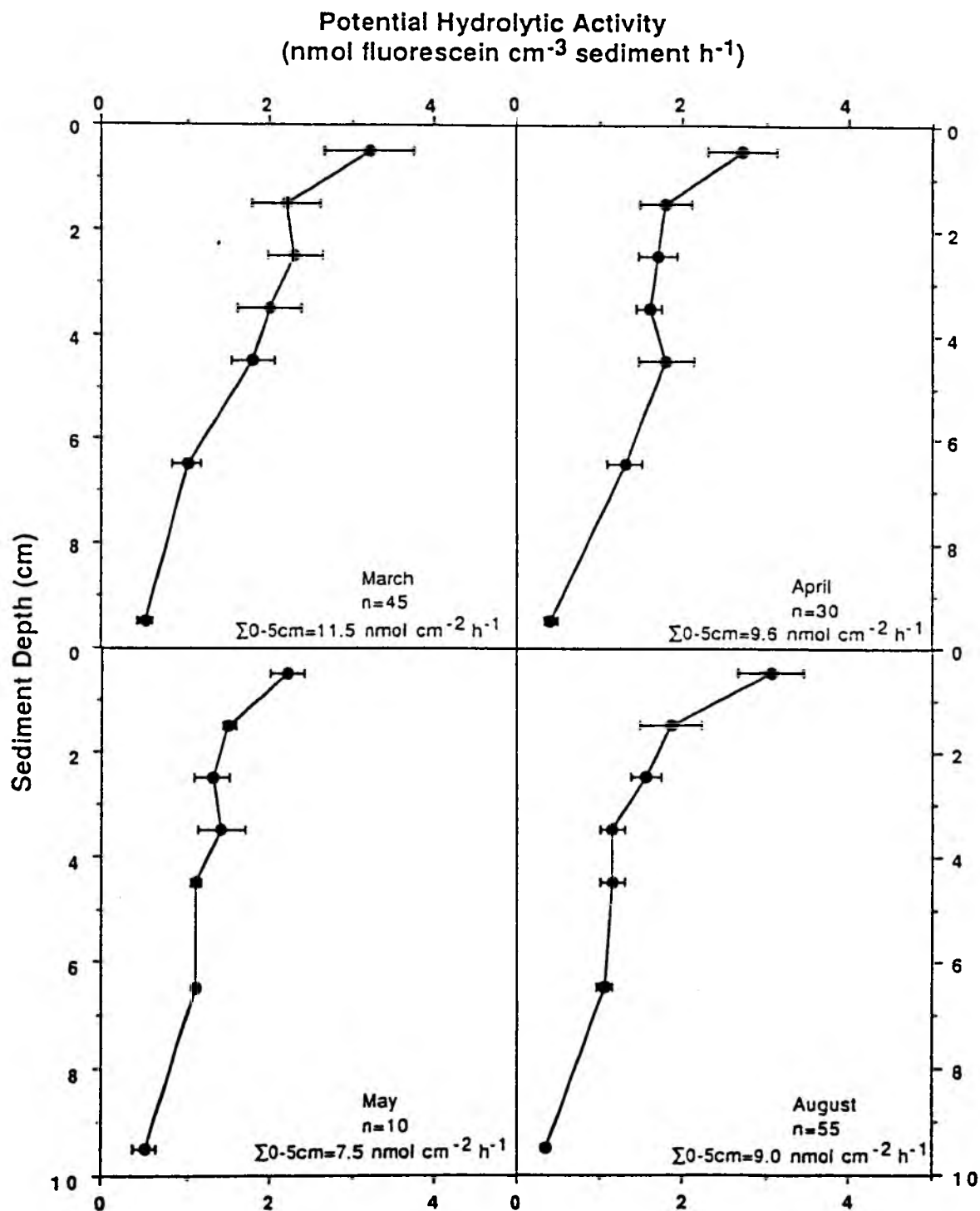


Abbildung 38: Potentielle hydrolytische Aktivität im Sediment, gemessen mit Fluoresceindiaceat (Sedimenttiefe bis 10cm; horizontale Balken = 95% Signifikanzbereich; n = Anzahl der Stichproben; I = integrierter Wert für den Sedimenthorizont 0 - 5cm)

Figure 38: Potential hydrolytical activity in sediments measured using Fluoresceindiaceat (sediment depth down to 10cm; the horizontal lines give the confidence limits at the 95% probability level; n = number of samples per data point; $\Sigma 0-5\text{cm}$ = integrated values over the reactive 0 - 5 cm sediment layer).

64
Total Adenylates
(ng ATP equivalents cm^{-3} sediment)

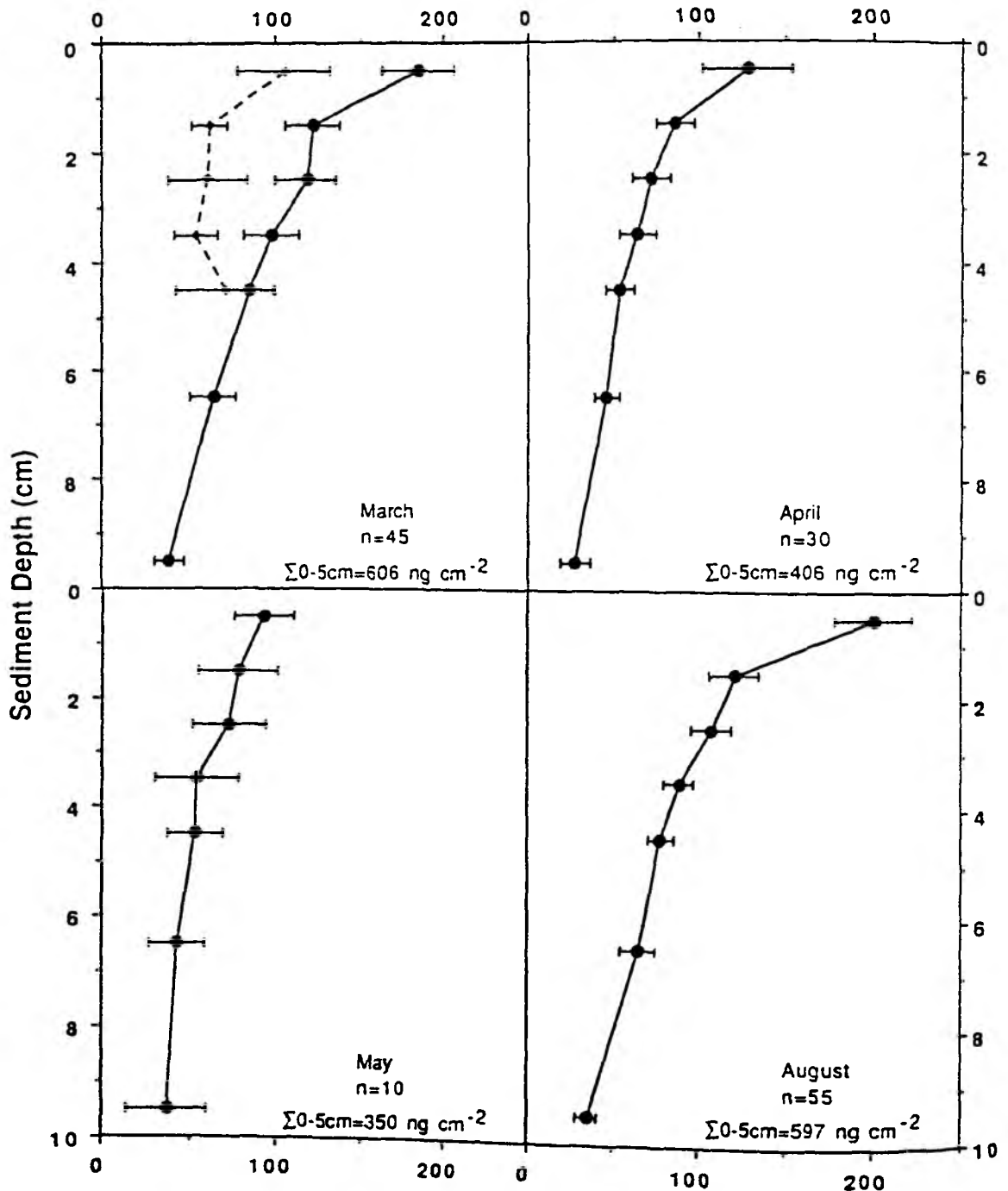


Abbildung 39: Konzentrationen von Gesamtadenylat (ATP+ADP+AMP) als Maß für benthische Biomasse im Sediment (Sedimenttiefe bis 10cm; horizontale Balken = 95% Signifikanzbereich; n = Anzahl der Stichproben; I = integrierter Wert für den Sedimenthorizont 0 - 5cm). Gestrichelte Linien = Werte vom März 1985 ohne vorhergegangene Deposition von Phytodetritus.

Figure 39: Concentrations of total adenylates (ATP+ADP+AMP) used as measure for the benthic biomasse in sediments (sediment depth down to 10cm; the horizontal lines give the confidence limits at the reactive 0 - 5 cm sediment layer). Dashed lines = values from March 1985 without preceding deposition of phytodetritus.

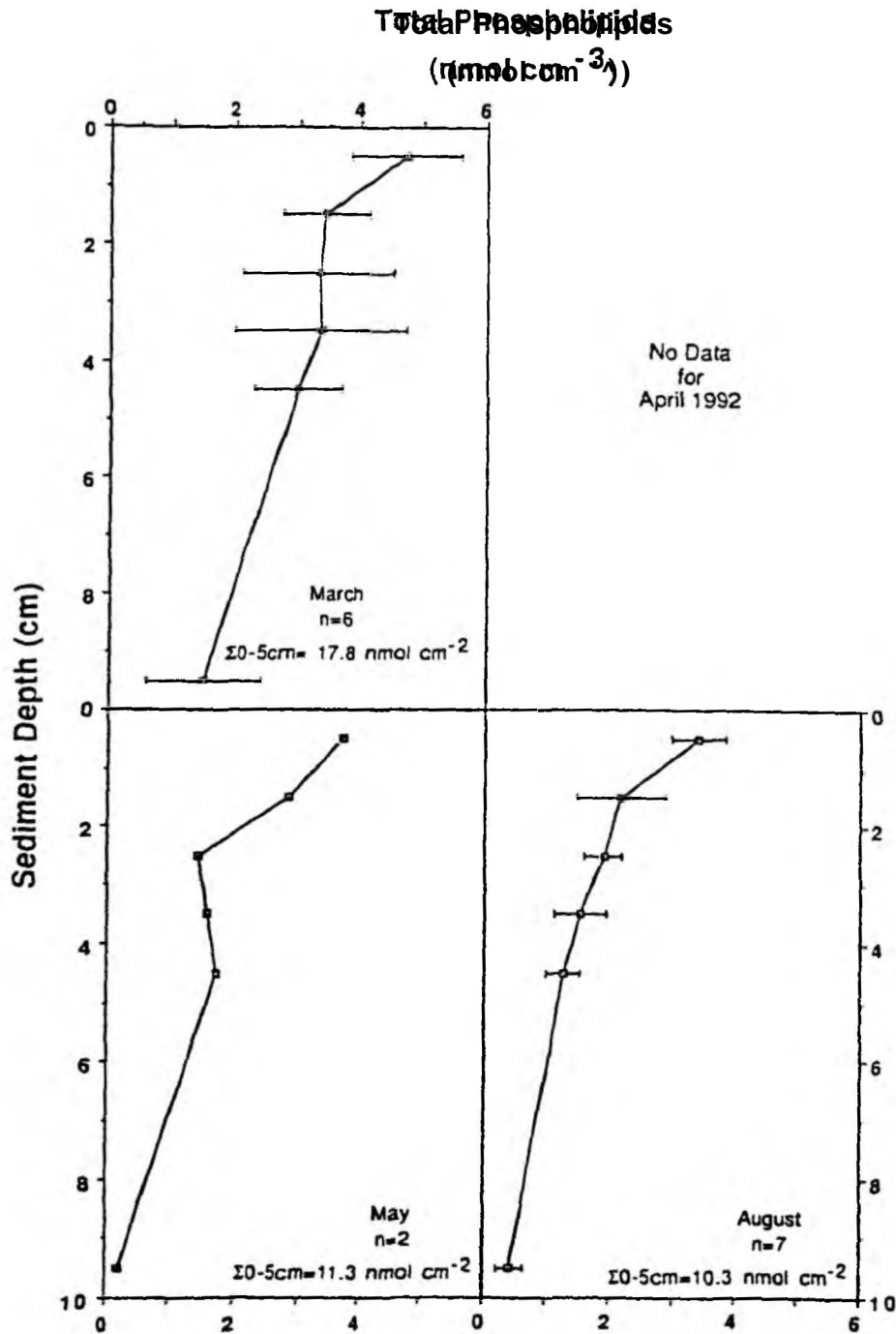


Abbildung 40: Konzentrationen von Phospholipiden als Maß für bakterielle Biomasse im Sediment (Sedimenttiefe bis 10 cm); horizontale Balken = 95% Signifikanzbereich; n = Anzahl der Stichproben; Σ = integrierter Wert für den Sedimenthorizont 0-5 cm).

Figure 40: Concentrations of phospholipids used as measure of bacterial biomass in sediments (sediment depth down to 10 cm; the horizontal lines give the confidence limits at the 95% probability level; n = number of sample per data point; $\Sigma 0-5\text{cm}$ = integrated values over the respective 0-5 cm sediment layer).

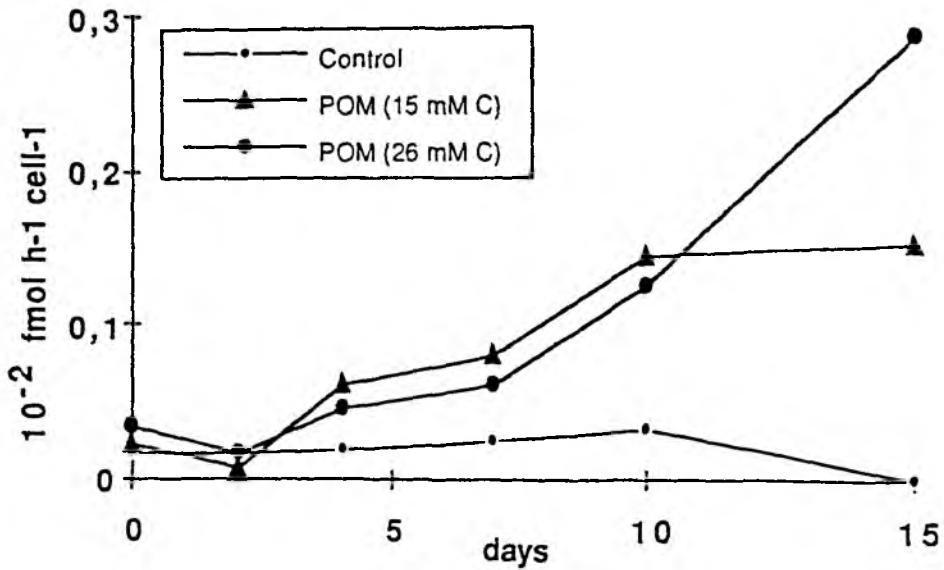


Abbildung 41: Produktion von β -Glucosidase in mit sterilem Phytodetritus (Konzentrationen 15 $\mu\text{mol C}_{\text{org}}$, 26 $\mu\text{mol C}_{\text{org}}$) inkubierten Sedimentproben bei *in situ*-Druck und -Temperatur; Inkubationszeitraum 15 Tage.

Figure 41: Production of β -Glucosidase in sediment samples incubated with sterile phytodetritus (concentrations 15 $\mu\text{mol C}_{\text{org}}$, 26 $\mu\text{mol C}_{\text{org}}$) at *in situ* pressure and temperature; period of incubation: 15 days.

Aufgrund unserer bisherigen Erkenntnisse gehen wir davon aus, daß die Deposition von POM eine Reihe von benthischen Reaktionen hervorrufen kann (Abb. 42). Der erste Schritt ist die Produktion von Exoenzymen als Grundvoraussetzung für Bakterien, organische Moleküle zu nutzen. Der Prozeß der gesteigerten Enzymbildung bewirkt eine Steigerung der metabolischen Aktivität (z.B. ATP-Konzentration). Derartige metabolische Reaktionen konnten als ATP-Konzentrationssteigerungen bei Tiefsee-Foraminiferen nach Fütterung mit POM (LINKE 1995), in Tiefseesedimenten nach Sedimentationsereignissen an Kontinentalhängen (GRAF 1989) und auf Tiefseeebenen (PFANNKUCHE 1993) gemessen werden. Wachstum von Bakterien und Protozoen erfolgt nur bei einem starkem POM-Puls, der die Organismen mit ausreichender organischer Substanz versorgt. Auch kann Fraßdruck die Entwicklung von Mikroorganismen hemmen, so daß in vielen Fällen ein Anstieg mikrobieller Biomasse zu gering ist, um gemessen werden zu können, oder gegebenenfalls nur nach einer langen Zeitverzögerung auftritt. So konnte in unseren Inkubationsversuchen (vergl. Abb. 41) innerhalb von 15 Tagen kein signifikanter Biomasseanstieg beobachtet werden, während jedoch ein bedeutender saisonaler Anstieg im BIOTRANS-Gebiet nach einem starken Sedimentationspuls beobachtet wurde (LOCHTE 1992, vergl. Abb. 34).

Eine meßbare biologische Reaktion wird durch die Menge und Qualität des Materials beeinflußt, wobei die biologisch verwertbare Fraktion des Detritus der bestimmende Faktor ist. Bei einem längeren Verweilen sedimentierender organischer Substanz in der Wassersäule kann gerade diese Fraktion schon stark abgebaut sein. Wenn also der leicht abbaubare Anteil des deponierten POM am Meeresboden gering ist, ist eine benthische Reaktion nur in einer kurzfristigen Erhöhung der metabolischen Aktivität meßbar, während nur starke Sedimentationspulse mit einem hohen Anteil an leicht abbaubarer organischer Substanz benthische Reaktionen hervorrufen, die die gesamte Sedimentlebensgemeinschaft erfassen und sich u.a. in einer Zunahme der benthischen Biomasse der kleineren Größenklassen und in einem deutlichem Anstieg benthischer Respirationsraten manifestieren.

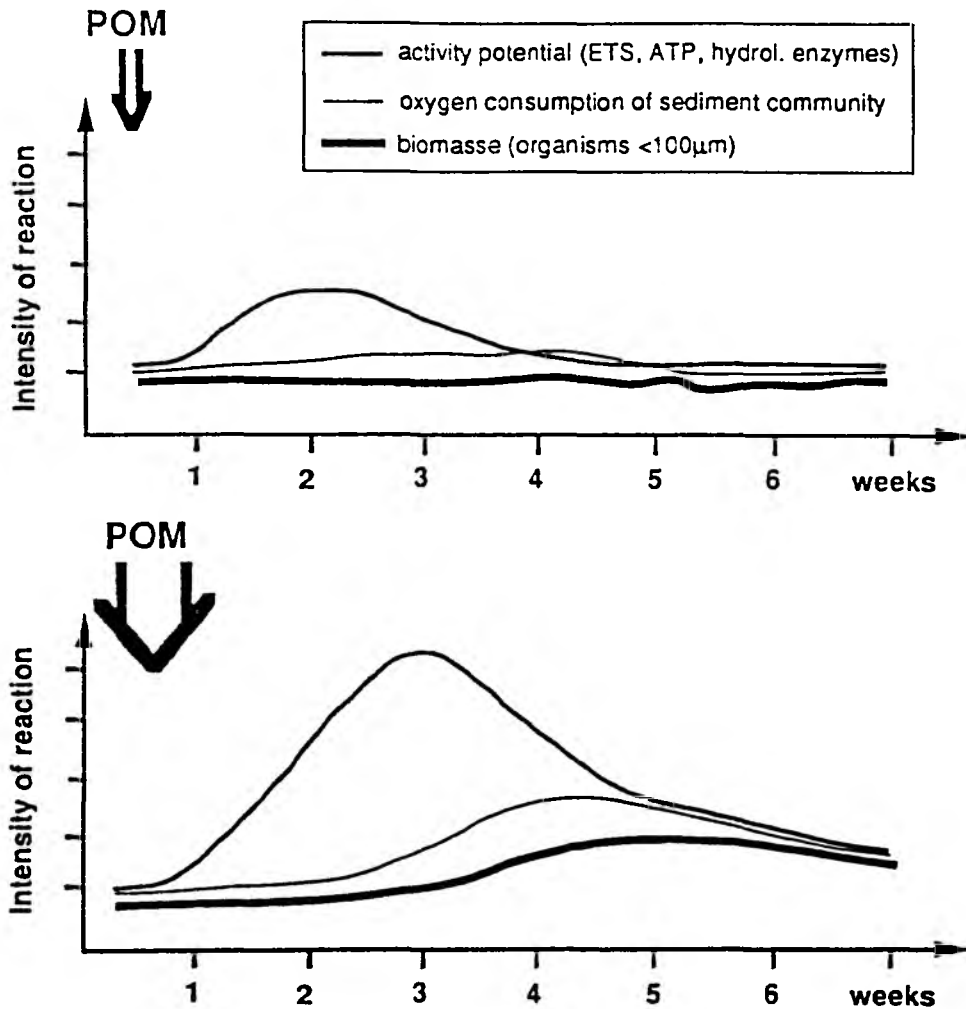


Abbildung 42: Hypothetischer Verlauf benthischer Reaktionen auf Sedimentationsereignisse. Die Amplitude der Reaktion ist von der Menge des biologisch leicht abbaubaren Materials abhängig. (POM = particulate organic matter).

Figure 42: Hypothetical course of benthic reactions to sedimentation events. The amplitude of reaction depends on the availability of material which is biologically easy to be decomposed. (POM = particulate organic matter).

LITERATUR:

- BOETIUS, A., 1992: Extrazelluläre hydrolytische Enzymaktivitäten als Parameter für mikrobielle Prozesse in Tiefseesedimenten. Diplomarbeit Fachbereich Biologie, Univ. Hamburg: 84pp.
- GOODAY, A.J., 1988: A response by benthic Foraminifera to the deposition of phytodetritus. *Nature* (London), **332**: 70-73
- GOODAY, A.J., & P.J.D. LAMBSHEAD, 1989: Influence of seasonally deposited phytodetritus on the benthic foraminiferal population in the bathyal northeast Atlantic: the species response. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **58**: 53-67.
- GRAF, G., 1989: Benthic-pelagic coupling in a deep-sea benthic community. *Nature* (London), **341**: 437-439.
- LINKE, P., A.V. ALTENBACH, G. GRAF & T. HEEGER, 1995: Response of deep-sea benthic Foraminifera to a simulated sedimentation event. *J. Foram. Res.*, **25**: 75-82.
- LOCHTE, K., 1992: Bacterial standing stock and consumption of organic carbon in the benthic boundary layer of the abyssal North Atlantic. In: *Deep-sea food chains and relation to the global carbon cycle*. ROWE, R. & V. PARIENTE (eds.), NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 1-10.
- MEYER-REIL, L.-A., & M. KÖSTER, 1992: Microbial life in pelagic sediments: the impact of environmental parameters on enzymatic degradation of organic material. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **81**: 65-72.
- PFANNKUCHE, O., 1992: Organic carbon flux through the benthic community in the temperate abyssal Northeast Atlantic. In: *Deep-sea food chains and relation to the global carbon cycle*. ROWE, G. & V. PARIENTE (eds.), NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 183-198.
- PFANNKUCHE, O., 1993: Benthic response to the sedimentation of particulate organic matter at the BIOTRANS station, 47°N, 20°W. *Deep-Sea Res. II*, **40**: 135-149.
- THIEL, H., O. PFANNKUCHE, G. SCHRIEVER, K. LOCHTE, A.J. GOODAY, Ch. HEMLEBEN, R.F.G. MANTOURA, C.M. TURLEY, J.W. PATCHING & F. RIEMANN, 1988/89: Phytodetritus on the deep-sea floor in a central oceanic region of the Northeast Atlantic. *Biol. Oceanog.*, **6**: 203-239.
- TURLEY, C.M., K. LOCHTE & D.J. PATTERSON, 1988: A barophilic flagellate isolated from 4500m in the mid-North Atlantic. *Deep-Sea Res.*, **35**: 1079-1092.
- TURLEY, C.M., & M. CARSTENS, 1991: Pressure tolerance of oceanic flagellates: implications for remineralization of organic matter. *Deep-Sea Res.*, **38**: 403-413.

6.2.3 Benthische Aktivität im NO-Atlantik - Die Wintersituation in 1994

O. PFANNKUCHE

Die Benthosuntersuchungen im BIOTRANS-Gebiet zeigten die Existenz saisonaler Maxima der benthischen Aktivität im Frühsommer auf und gaben deutliche Hinweise auf eine dynamische pelago-benthische Kopplung (vergl. Kapitel 6.2.1). Dieses Ergebnis, das auf einer Synthese der Untersuchungen von 5 Jahren (1985-1990) beruht (PFANNKUCHE 1992, 1993), gibt zumindest das allgemeine Muster der Prozesse im Benthos wieder, unterliegt aber, wie die Ergebnisse des Jahres 1992 zeigten (vergl. Kapitel 6.2.2) einer beträchtlichen interannuellen Variabilität. Da aber bisher keine Winteruntersuchungen durchgeführt werden konnten, blieb die Frage nach der Breite der jährlichen Amplitude der benthischen Aktivität ungeklärt. Die Reise METEOR 27/2 diente daher der Untersuchung der Wintersituation im BIOTRANS-Gebiet (PFANNKUCHE et al. 1994), auf der die Hypothese der Existenz eines Jahresminimums benthischer Aktivität im Winter geprüft werden sollte.

Die Messungen chloroplastischer Pigmente zeigten Werte, die viel höher als erwartet waren. Die integrierte Chlorophyll *a*-Masse des Sedimenthorizonts 0-5cm betrug 675ng/cm^2 (Abb. 43), ein Wert, der etwas geringer als der März-Wert von 1992 war (750ng/cm^2), aber höher als der April-Wert von 1992 (650ng/cm^2).

Die benthische Aktivität, gemessen als Hydrolyse von Fluoresceindiacetat (FDA; vergl. Kapitel 6.2.1 und 6.2.2), korrelierte mit den Pigmentwerten und entsprach der Größenordnung der im März 1992 gemessenen Werte (Abb. 44). Die integrierte FDA-Hydrolyserate der Zentimeter 0-5 von $10,6\text{nmol/cm}^2$ war dem Wert vom März 1992 vergleichbar ($11,5\text{nmol/cm}^2$) und übertraf die Raten vom April 1992 ($9,6\text{nmol/cm}^2$). Die Kurvenverläufe der FDA-Hydrolyseraten und der Pigmentwerte in der Sedimentsäule unterschieden sich ebenfalls nicht zwischen dem Februar 1994 und dem März 1992. Es ergaben sich nur geringe Differenzen für den Sedimenthorizont 0-1cm.

Die Pigmentwerte von Februar 1994 deuten auf das Vorhandensein einer substantiellen Pigmentmasse am Meeresboden und auf bedeutende biologische Aktivität hin. Gleichzeitige Untersuchungen der Chlorophyll *a*-Masse im Epipelagial (KOEVE et al., 1994) wiesen Konzentrationen von bis zu $0,6\text{ }\mu\text{g/dm}^3$ auf, gegenüber Literaturwerten für dieses Seegebiet und diese Jahreszeit von ca. $0,1\text{ }\mu\text{g/dm}^3$ (GLOWER & BREWER 1988, HONJO et al. 1989). Derartig hohe Phytoplankton-Biomassen können nach den Ergebnissen aus 1992 die Sedimentationsgrundlage für die gemessenen benthischen Aktivitäten bieten. Die Frage nach der Existenz eines Winterminimums in der benthischen Aktivität ist daher immer noch offen. Daten aus dem Jahr 1985 zeigten eine starke Reduktion der Aktivität und der benthischen Biomasse im Herbst (September/Okttober 1985) im Vergleich zu Juli/Augustwerten nach einem starken Sedimentationspuls (LOCHTE 1992, PFANNKUCHE 1992). Die Möglichkeit des Auftretens von Herbst-Phytoplanktonblüten ist damit jedoch nicht widerlegt und wird weiterhin diskutiert. Die Ergebnisse der Frühjahrsuntersuchungen in 1992 (vergl. Kapitel 6.2.2) konnten keinen herausragenden Sedimentationspuls nachweisen, sondern deuteten auf eine Serie von kleineren Sedimentationsschüben hin, die bereits im März nachweisbar waren. Ähnlich ist die Reaktion der Benthosorganismen auf einen begrenzten Sedimentationspuls im Februar 1994 zu bewerten. Alle Ergebnisse deuten auf eine enge dynamische Kopplung der Prozesse im Epipelagial mit denen im Benthos hin, so daß individuelle POM-Pulse zu jeder Jahreszeit eine der Menge und der Qualität des POM entsprechende benthische Reaktion auslösen können.

LITERATUR:

- GLOWER, D.M., & P.G. BREWER, 1988: Estimates of wintertime mixed layer nutrient concentrations in the North Atlantic. *Deep-Sea Res.*, **35**: 1525-1546.
- HONJO, S., S.J. MANGANINI & R. KRISHFIELD, 1989: Cruise Report: JGOFS leg 1, International study of the North Atlantic Bloom, R.V. Atlantis Voyage 119.2, Funchal to Reykjavik, March/April 1989. WHOI Technical Rep., WHOI-89-22: 30pp.
- KOEVE, W., C. REINEKE, M. MOLIS, M. SCHARTAU & I. WANIEK, 1994: Plant nutrients and phytoplankton stocks during winter in the NE-Atlantic. In: PFANNKUCHE, O., W. BALZER & F. SCHOTT (1994): Carbon cycle and transport of water masses in the north Atlantic - the winter situation. Cruise No. 27; 29 December 1993 - 26 March 1994. *METEOR-Ber.*, **94-6**: 97-104.
- LOCHTE, K., 1992: Bacterial standing stock and consumption of organic carbon in the benthic boundary layer of the abyssal North Atlantic. In: Deep-sea food chains and relation to the global carbon cycle. ROWE, R. & V. PARIENTE (eds.), NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 1-10.
- PFANNKUCHE, O., 1992: Organic carbon flux through the benthic community in the temperate abyssal Northeast Atlantic. In: ROWE, R. & V. PARIENTE (eds.), Deep-sea food chains and relation to the global carbon cycle. ROWE, R. & V. PARIENTE (eds.), NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 183-198.
- PFANNKUCHE, O., 1993: Benthic response to the sedimentation of particulate organic matter at the BIOTRANS station, 47°N, 20°W. *Deep-Sea Res. II*, **40**: 135-149.
- PFANNKUCHE, O., W. BALZER & F. SCHOTT, 1994: Carbon cycle and transport of water masses in the North Atlantic - the winter situation. Cruise No. 27; 29 December 1993 - 26 March 1994. *METEOR-Ber.*, **94-6**: 134pp.

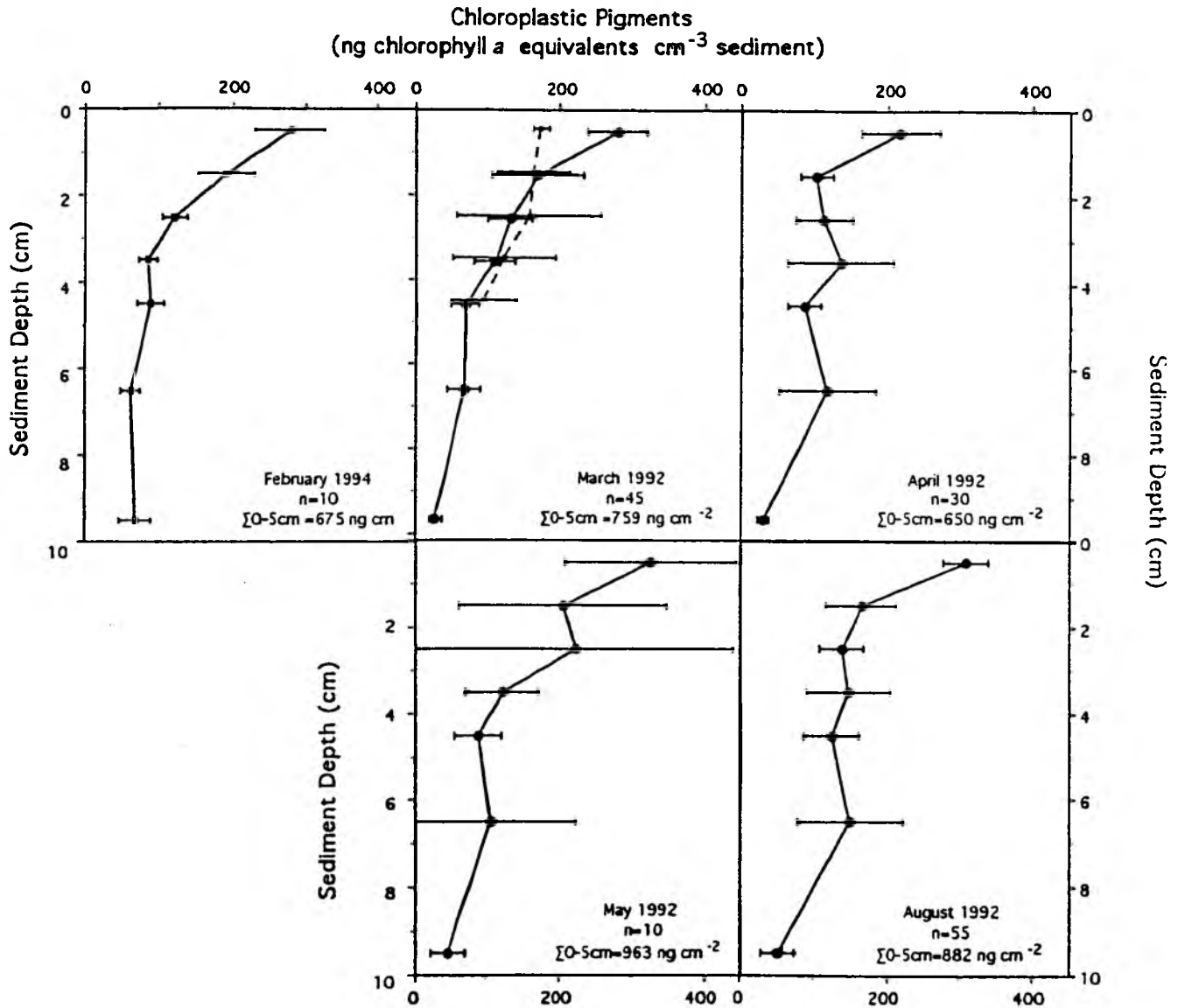


Abbildung 43: Konzentrationen von Chlorophyll *a*-Äquivalenten im Sediment im Februar 1994 im Vergleich zu Werten aus 1992 (Sedimenttiefe bis 10cm; horizontale Balken = 95% Signifikanzbereich; n = Anzahl der Stichproben; Σ = integrierter Wert für den Sedimenthorizont 0 - 5cm).

Figure 43: Concentration of Chlorophyll *a* equivalents in sediments during February 1994 as compared to values from 1992 (sediment depth down to 10cm; the horizontal lines give the confidence limits at the 95% probability level; n = number of samples per data point; $\Sigma 0-5\text{cm}$ = integrated values over the reactive 0 - 5 cm sediment layer).

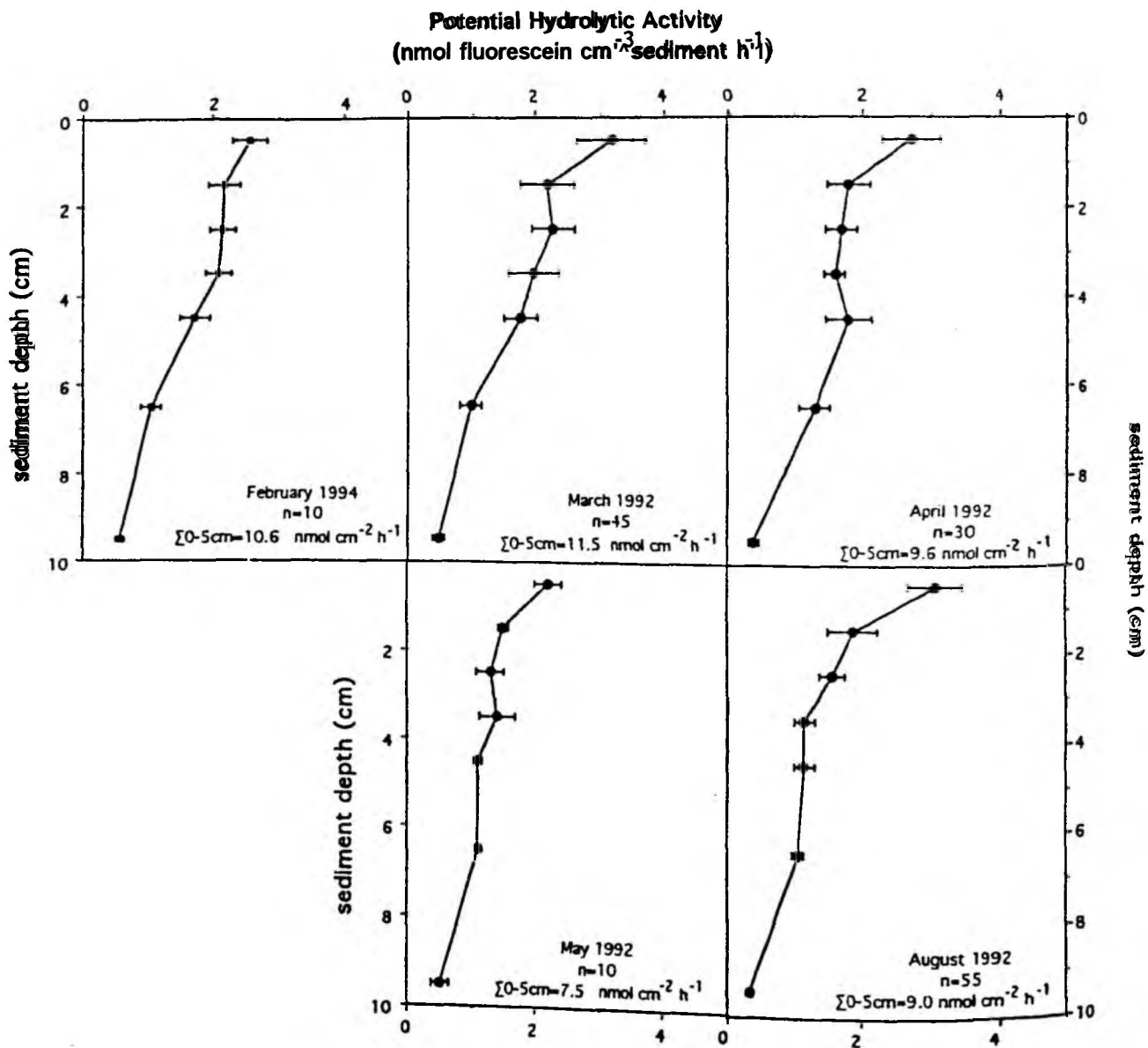


Abbildung 44: Potentielle hydrolytische Aktivität im Sediment

Figure 44: Potential hydrolytical activity in sediments.

6.2.4 Stoffumsätze durch die benthische Lebensgemeinschaft am Kontinentalhang des NO-Atlantiks

T. SOLTWEDEL & O. PFANNKUCHE

BIO-C-FLUX weitete 1993/94 seine Untersuchungen in Zusammenarbeit mit dem Ocean Margin Exchange Programm (OMEX) auf den an das BIOTRANS-Gebiet angrenzenden Kontinentalrand des Westeuropäischen Beckens im Bereich der Keltischen See aus.

Das OMEX-Programm ist ein von der Europäischen Gemeinschaft im Rahmen von MAST-II (Marine Science and Technology, Phase II) bewilligtes internationales und multidisziplinäres Forschungsprogramm. Das Projekt befaßt sich mit den Austauschprozessen kohlenstoffhaltiger Verbindungen und biologisch relevanter chemischer Elemente zwischen Kontinentalrändern und dem offenen Ozean. OMEX stellt damit eine räumliche Fortsetzung von BIO-C-FLUX in Richtung auf den Kontinentalrand dar, mit einer Regionalisierung auf den west-europäischen Bereich.

Als regionaler Schwerpunkt für die physikalisch-ozeanographischen, meeresbiologischen, meereschemischen, geologischen und geochemischen Untersuchungen wurde der keltische Schelfrand zwischen 46°N und 50°N ausgewählt. Die Probennahmen für die benthischen Arbeiten beschränkten sich vorerst auf eine Serie von Stationen über den Goban Spur Kontinentalhang (Abb. 45) und erfolgten im Wesentlichen auf einem Transekt, das, ausgehend vom äußeren Schelfrand (150m Wassertiefe), hangabwärts bis in die angrenzende Tiefsee-Ebene (Porcupine Abyssal Plain, PAP, 4800m) verläuft. Neben den umfangreichen benthischen Probennahmen wurden Untersuchungen zum vertikalen Partikelfluß durch die Wassersäule und physikalisch-ozeanographische Messungen (CTD) durchgeführt.

Ziel der Arbeiten sind die Untersuchungen des biologischen Kohlenstoffflusses im Sediment. Dabei soll die Reaktion des Benthos auf die Sedimentation organischer Substanz verfolgt und die Rolle der Organismen für die Remineralisation und Deposition von organischer Substanz an Kontinentalhängen quantifiziert werden. Folgende Untersuchungen werden durchgeführt:

- **Raten-Messungen:**

In situ-Messungen der Respirationsraten von Sediment-Lebensgemeinschaften in den Respirationskammern eines Bottom-Lander (PFANNKUCHE 1992, TENGBERG et al., in press).

- **Aktivitätsmessungen:**

Messungen der exoenzymatischen Aktivitäten durch Bakterien im Sediment; hydrolytischer Abbau des Modellsubstrates Fluoresceindiacetat, FDA (KÖSTER et al. 1991).

- **Biomasse-Bestimmungen:**

Messungen einer Reihe von Biomasse-Summenparameter an Sedimentproben: Gesamtadenylate (ATP, ADP, AMP), Phospholipide, DNA, partikuläre Proteine (Methoden siehe GREISER & FAUBEL 1988).

- **Bestimmungen des organischen Eintrags (Sedimentation von Phytodetritus):**

Fluorometrische Messung von Pflanzenpigmenten (Chlorophyll α , Phaeopigmente) an Sedimentproben (SHUMAN & LORENZEN 1975).

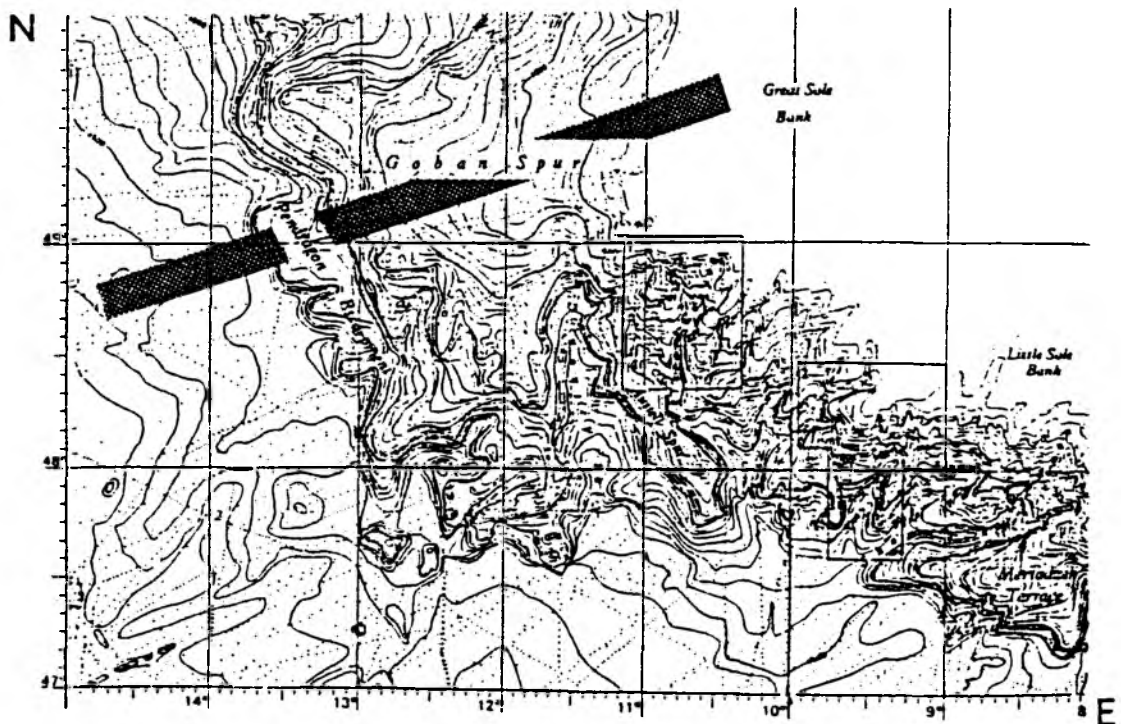


Abbildung 45: Das OMEX-Transekt über den Goban Spur Kontinentalhang (Keltische See).

Figure 45: OMEX transect across Goban Spur continental slope (Celtic Sea).

Zwischen 1988 und 1994 wurden vom OMEX-Teilprojekt „Kohlenstoff-Remineralisation durch die benthische Lebensgemeinschaft“ und in Anlehnung an BIOTRANS und BIO-C-FLUX insgesamt sechs Expeditionen zu unterschiedlichen Jahreszeiten mit deutschen und ausländischen Schiffen (F.S. METEOR, F.S. VALDIVIA, R.V. PELAGIA, R.V. DARWIN) in das Untersuchungsgebiet am Goban Spur Kontinentalhang durchgeführt. Unter Berücksichtigung interannueller Variabilitäten ermöglicht die jahreszeitliche Aneinanderreihung der Probennahmen dieser Expeditionen auch Aussagen über saisonale Entwicklungen in den lokalen Aktivitäts- und Biomassemustern am west-europäischen Kontinentalrand.

Die Probennahmen beschränkten sich auf ein Transekt über den Goban Spur (Abb. 45) vom äußeren Schelf bis hinab in die angrenzende Tiefsee-Ebene (PAP). Aus logistischen Gründen (Wetterbedingungen, Schiffszeiten, Windenlängen) war es nicht immer möglich, während der Expeditionen exakt dieselben Stationstiefen aufzusuchen (Tab. 4). Eine Beprobung des gesamten Transekts (150 - 4800m) war auf drei Expeditionen möglich. Um ein besseres Verständnis der pelago-benthischen Kopplung zu erlangen, wurde besonderer Wert auf Probennahmen im unmittelbaren Umfeld der OMEX-Sinkstofffallenauslegungen (OMEX-Subgroup „Biological Processes“, B. v. Bodungen, A. Antia, Universität Kiel) gelegt. Während der METEOR-Fahrt M27/1 im Januar 1994 konnte aufgrund der extrem widrigen Wetterbedingungen nur eine Station (2234m) erfolgreich beprobt werden; die Messungen sediment-chemischen Parameter ergaben dabei für diese Jahreszeit unerwartet hohe Werte.

Tabelle 4: OMEX-Expeditionen zwischen 1988 und 1994; Expeditionsdaten, Anzahl der Stationen und Stationswassertiefen auf dem Goban Spur Kontinentalhang.

Table 4: OMEX expeditions between 1988 and 1994; cruise data, number of stations, and water depths at stations on the Goban Spur continental slope.

Fahrt:	METEOR 6/7	VALDIVIA 137	PELAGIA	METEOR 27/1	DARWIN	METEOR 30/1
Datum:	April '88	Juni/Juli '93	Oktober '93	Januar '94	Mai/Juni '94	September '94
Anzahl der Stationen:	8	4	7	1	8	8
Wassertiefe:						
< 1000 m	182	135	206		218	224
	410	571/580	670		666	674
1000 - 2000 m	1013	1216/1252	1034		1016	1148
		1630/1680	1425		1146	1535
			1961		1423	
2000 - 3000 m	2084		2182	2243	2266	2269
			2760			
3000 - 4000 m	3552				3663	3629/3666
	3889					
4000 - 5000 m	4470				4500	4471
	4772					4804/4808

Tabelle 5 gibt einen Überblick über die sediment-chemischen Analysen (Aktivitäts- und Biomasseparameter), die während der jeweiligen OMEX-Expeditionen durchgeführt werden konnten. *In situ*-Messungen der Respirationsraten von Sediment-Lebensgemeinschaften am Goban Spur und in der PAP liegen bislang lediglich von einer Expedition vor (METEOR-Fahrt M6/7, Mai 1988). Diese Messungen wurden in den Inkubationskammern eines älteren 'Bottom-Lander'-Modells (TENGBERG et al., in press) durchgeführt. Ein vollständig neu im Rahmen von BIO-C-FLUX entwickeltes, freifallendes Gerätesystems zur Messung des *in situ*-Sauerstoffverbrauchs der benthischen Lebensgemeinschaft und des Flusses von Nährstoffen konnte bisher erst auf der METEOR-Reise 30/1 eingesetzt werden. Während der METEOR-Expedition M27/1 im Januar 1994 stellten die schlechten Wetterbedingungen eine sichere Wiederaufnahme des 'Landers' in Frage; auf ein Ausbringen des Gerätes mußte daher verzichtet werden. Der erfolgreiche Einsatz des 'Landers' während der METEOR-Expedition M30/1 im September 1994 erbrachte aufgrund eines elektronischen Schadens keine Messung. Da für Untersuchungen nur 5 Tage zur Verfügung standen, konnte ein schadhafter Getriebemotor, der einen Kurzschluß im Steuersystem verursachte, für einen zweiten Einsatz während der Fahrt nicht mehr ausgetauscht und die dabei aufgetretenen Schäden an der Steuerplatine nicht mehr beseitigt werden.

Tabelle 5: Biochemische Analysen zur Bestimmung der Aktivität und Biomasse der benthischen Lebensgemeinschaft sowie des Eintrages von Phytodetritus in das Benthos während der OMEX-Expeditionen zwischen 1988 und 1994.

Table 5: Biochemical assays for the determination of the benthic community's activity and biomass, and of the import of phytodetritus into the benthos during the OMEX expeditions between 1988 and 1994.

<i>Fahrt:</i>	METEOR 8/7	VALDIVIA 137	PELAGIA	METEOR 27/1	DARWIN	METEOR 30/1
<i>Datum:</i>	April '88	Juni/Juli '93	Oktober '93	Januar '94	Mai/Juni '94	September '94
<i>Anzahl der Stationen:</i>	8	4	7	1	8	8
<i>Aktivität:</i>						
FDA			•	•		•
<i>Biomasse:</i>						
DNA		•	•	•	•	•
ADENYLATE	•		•	•		•
LIPIDE		•	•	•	•	•
PROTEINE		•	•	•	•	•
<i>Phytodetritus:</i>						
PIGMENTE	•	•	•	•	•	•

Abiotische Parameter auf dem Goban Spur Transekt

Korngrößenanalysen der Sedimente auf dem Goban Spur Transekt ermittelten sehr feine Sande mit Median-Werten $\pm 90\mu\text{m}$ auf dem Schelf, unterhalb von 700m Wassertiefe sanken die Median-Werte rasch auf 20 - 25 μm und fielen dann mit zunehmender Tiefe langsam weiter ab. In der Porcupine Tiefsee-Ebene herrschten siltige Sedimente (Median: 18 μm) vor. Ein entsprechend inverses Bild konnte für die Sedimentwassergehalte festgestellt werden (Abb. 46).

Die Wassertemperaturen und Salinitäten in unmittelbarer Bodennähe zeigten im Frühjahr und im Herbst keine signifikanten Unterschiede (Abb. 47). Höchste Temperaturen (11°C) wurden auf dem Schelf gemessen, die niedrigsten (2,5°C) in der Porcupine Tiefsee-Ebene. Beide Parameter sanken bis in 2000m Wassertiefe zunächst stark ab und fielen anschließend nur noch unwesentlich weiter. In 1000m Wassertiefe konnte, abweichend vom generellen Trend, eine leichte Zunahme der Salinitätswerte festgestellt werden. Zusammen mit stark erniedrigten Sauerstoffkonzentrationen in diesem Tiefenbereich (Abb. 48) deuten die erhöhten Salinitätswerte auf einen anderen Wasserkörper (Mittelmeerausfluß) hin. Abbildung 48 gibt weiterhin Aufschluß über die, nur sehr geringen, jahreszeitliche Schwankungen im Sauerstoffgehalt des bodennahen Wassers.

Benthische Aktivität und Biomasse auf dem Goban Spur Transekt

Die Bestimmung einer Reihe von biochemischen Sedimentparameter zur Ermittlung benthischer Aktivitäten und Biomassen erbrachte generell abnehmende Werte mit zunehmender Wassertiefe (Abb. 49 und 50). Allerdings zeigten die Gradienten der einzelnen

Parameter z.T. erhebliche Variabilitäten, die offenbar auf meso-skalige, hydrodynamische Effekte in der bodennahen Grenzschicht zurückzuführen sind. Die Resuspension durch interne Wellen und eine anschließende Resedimentation von partikulärem, organischem Material führt zu einer verstärkt fleckhaften Verteilung und anschließender, ebenfalls fleckhafter Wiederbesiedlung durch benthische Organismen.

Auffällig sind die immer noch relativ hohen und z.T. noch einmal ansteigenden Werte auf und unterhalb des 'Pendragon Escarpment' (3500 - 4000m). Dieses Plateau scheint, ebenso wie der Fuß des Kontinentalhanges, als Depot-Center für einen hangabwärts gerichteten Transport von organischen Material zu fungieren. Das wahrscheinlich stark refraktäre Material wird allerdings nur noch wenigen Spezialisten der benthischen Lebensgemeinschaft (Bakterien) als Nahrungsquelle zur Verfügung stehen können.

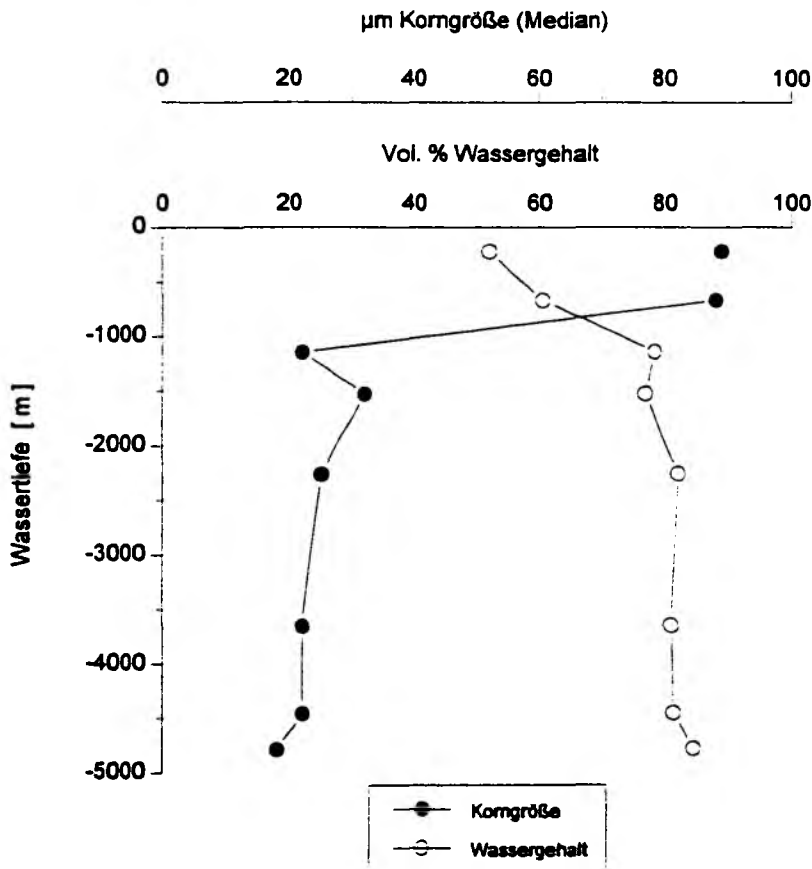


Abbildung 46: Korngrößen (Median-Werte) und Wassergehalte der Sedimente auf dem Goban Spur Transekt (Stationen der METEOR-Expedition M30/1).

Figure 46: Grain sizes (medians) and water contents in sediments from the Goban Spur transect (stations sampled during METEOR cruise M30/1).

Temperatur und Salinität im bodennahen Wasser

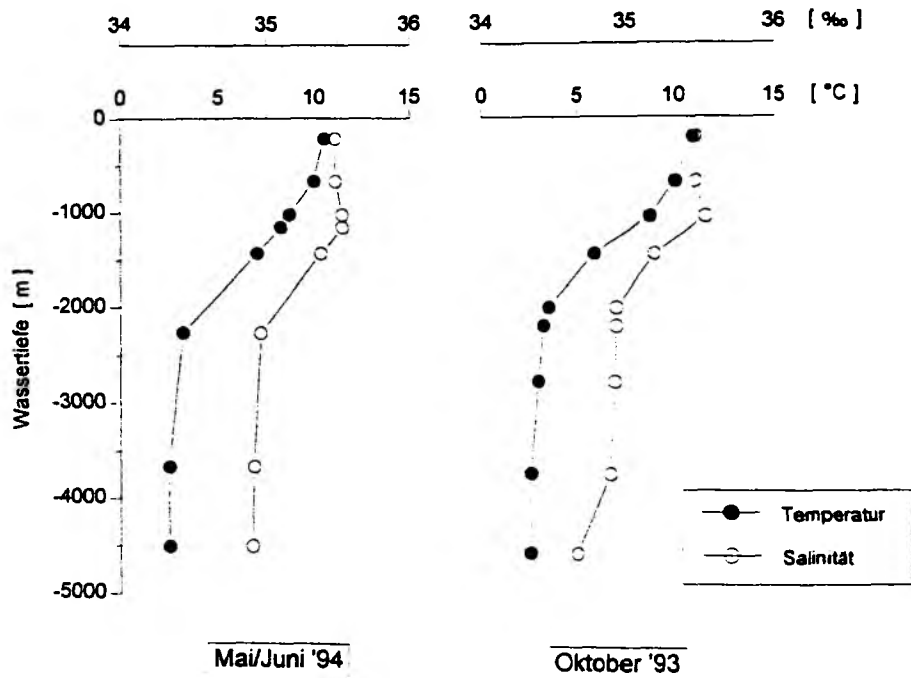


Abbildung 47: Temperaturen (°C) und Salinitäten (‰) im bodennahen Wasser auf dem Goban Spur Transekt während der DARWIN- und PELAGIA-Expeditionen im Frühjahr/ Sommer 1994 und im Herbst 1993.

Sauerstoffkonzentrationen im bodennahen Wasser

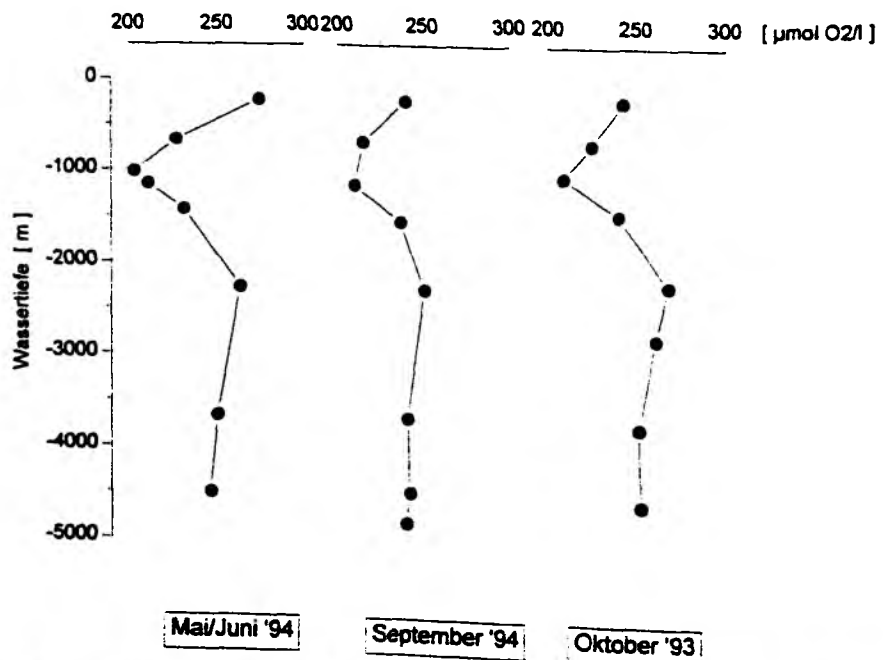


Abbildung 48: Sauerstoffkonzentrationen (μmol O₂/l) im bodennahen Wasser auf dem Goban Spur Transekt im Frühjahr/Sommer 1994 und im Herbst 1993 und 1994.

Figure 48: Concentration of oxygen (μmol O₂/l) in the near-bottom water layer of the Goban Spur transect measured in spring/summer 1994 and autumn 1993 and 1994.

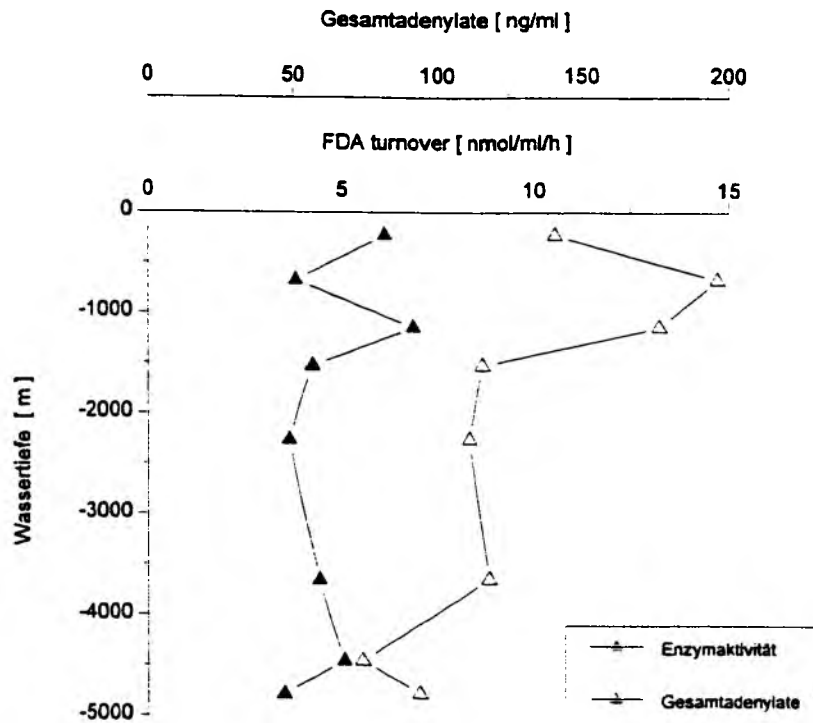


Abbildung 49: Gesamtadenylate und heterotrophe Aktivität (FDA turnover) im obersten Zentimeter der Sedimente auf dem Goban Spur Transekt (Stationen der METEOR-Expedition M30/1).

Figure 49: Total adenylates and heterotrophic activity (FDA turnover) in the topmost centimeter of the sediments from Goban Spur transect (stations sampled during METEOR cruise M30/1).

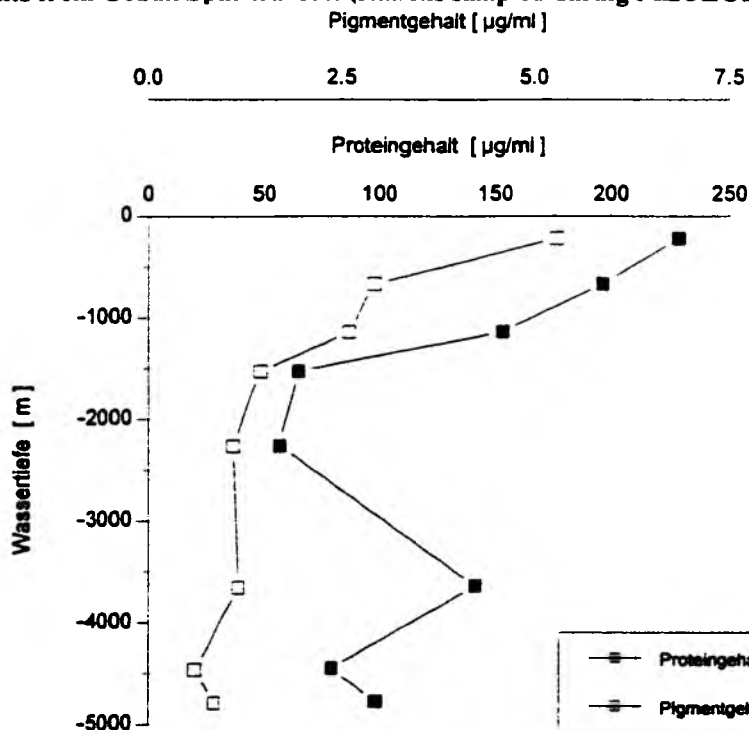


Abbildung 50: Pigmentgehalte und partikuläre Proteine im obersten Zentimeter der Sedimente auf dem Goban Spur Transekt (Stationen der METEOR-Expedition M30/1).

Figure 50: Contents of pigments and particulate protein in the topmost centimeter of the sediments from Goban spur transect (stations sampled during METEOR cruise M30/1).

Stufenweise Analysen (1cm-Sektionen) biochemischer Aktivitäts- und Biomasseparameter über die oberen 10cm der Sedimente erbrachten mit zunehmender Stationstiefe in der Regel zunehmend steilere Gradienten innerhalb der Sedimentsäule (Abb. 51). Insbesondere auf den flacheren Stationen (< 1000m) führt die Bioturbation durch größere Benthos-Organismen (Makro-, Megafauna) sowie möglicherweise auch eine strömungsinduzierte Umlagerung der Sedimente zu einer hohen Variabilität innerhalb der Gradienten einzelner Aktivitäts- und Biomasseparameter. Auffällig ist weiterhin ein, unabhängig von der Stationstiefe und der Jahreszeit der Probennahme, wiederholtes Auftreten erhöhter Werte in 7-8cm Sedimenttiefe.

Saisonalität im Eintrag organischen Materials in das Benthos

Untersuchungen zu Anfang der 80'er Jahre offenbarten eine stark ausgeprägte Saisonalität in der planktischen Primärproduktion des Nord-Ost-Atlantiks und folglich auch einen saisonal variierenden Phytodetrituseintrag in das Benthos (BILLET et al., 1983, RICE et al., 1986, THIEL et al., 1988/89). Die Bestimmung des Gehaltes an Chlorophyllen und deren Abbauprodukten (Phäopigmente) aus Sedimentproben ermöglicht eine grobe Abschätzung des organischen Eintrages aus der euphotischen Zone des Pelagials.

Ein jahreszeitlicher Vergleich von Datenmaterial aus verschiedenen Monaten, aber unterschiedlichen Jahren ist zweifellos in starkem Maße von interannuellen Variabilitäten beeinflusst, da der Zeitpunkt und Umfang der Phytodetritussedimentation von Jahr zu Jahr schwanken kann. Wiederholte Probennahmen im Herbst (Oktober 1993 und September 1994) erbrachten jeweils erhöhte Pigmentgehalte. Diese erhöhten Werte im Herbst verschiedener Jahre erscheinen nicht zufällig und lassen vermuten, daß sie einen Teil eines jahreszeitlichen Zyklusses darstellen.

Zwischen April und Oktober zeigten die Messungen sedimentgebundener chloroplastischer Pigmente auf dem Goban Spur Kontinentalhang deutliche Schwankungen im Jahresgang mit Spitzenwerten im Mai/Juni und September/Oktober. Ein detaillierter Vergleich der benthischen Daten mit Ergebnissen aus dem Sedimentfallenmaterial steht noch aus. Abbildung 52 veranschaulicht, daß die Sedimentationspulse aus der Frühjahres- und Herbstplanktonblüte in unterschiedlichen Stationstiefen auf dem Transekt bis in ca. 2200m Wassertiefe deutlich im Pigmentgehalt der Sedimente nachzuweisen sind (unterhalb dieses Wassertiefenhorizontes liegen nicht genug Daten für einen saisonalen Vergleich vor). Eine Zusammenfassung und mathematische Aufarbeitung aller Pigmentdaten sämtlicher OMEX-Expeditionen deutet allerdings an, daß der zweigipfelige Eintrag organischen Materials über den gesamten Kontinentalhang nachzuvollziehen ist (Abb. 53).

Benthische Reaktionen auf die Sedimentation von Phytodetritus

Mit Ausnahme der chemo-autotrophen Lebensgemeinschaften im näheren Umfeld von heißen und kalten Tiefseequellen, ist das Benthos der Tiefsee direkt abhängig vom vertikalen und lateralen Eintrag organischen Materials über die Sedimentation von Phytodetritus. Die Reaktion der benthischen Lebensgemeinschaft auf einen Sedimentationspuls ist dabei sehr unterschiedlich. Bei größeren benthischen Organismen (Mega-, Makro-, Meiofauna) konnte ein registrierbarer Trend in Abundanz und Biomasse in Folge eines episodischen Nahrungseintrages bislang nicht nachgewiesen werden (GOODAY et al., 1995, PFANNKUCHE 1993). Bakterien und Protozoen hingegen reagieren sehr schnell auf ein erhöhtes Nahrungsangebot (GOODAY 1988, GOODAY & LAMBSHEAD 1989, LOCHTE

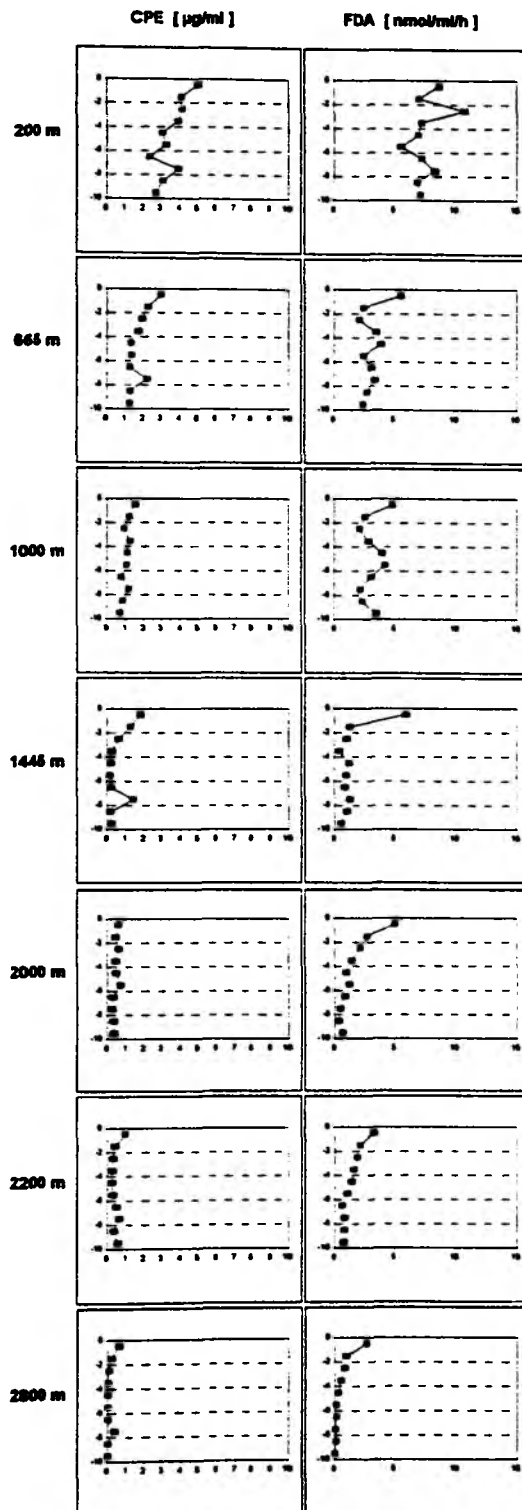


Abbildung 51: Chloroplastische Pigmente (CPE) und heterotrophe Aktivität (FDA turnover) in den oberen 10cm der Sedimente auf dem Goban Spur Transekt (Stationen der PELAGIA-Expedition im Oktober 1993).

Figure 51: Contents of chloroplastic pigments (CPE) and heterotrophic activity (FDA turnover) in the upper 10 cm of the sediments from Goban Spur transect (stations sampled during PELAGIA cruise in October 1993).

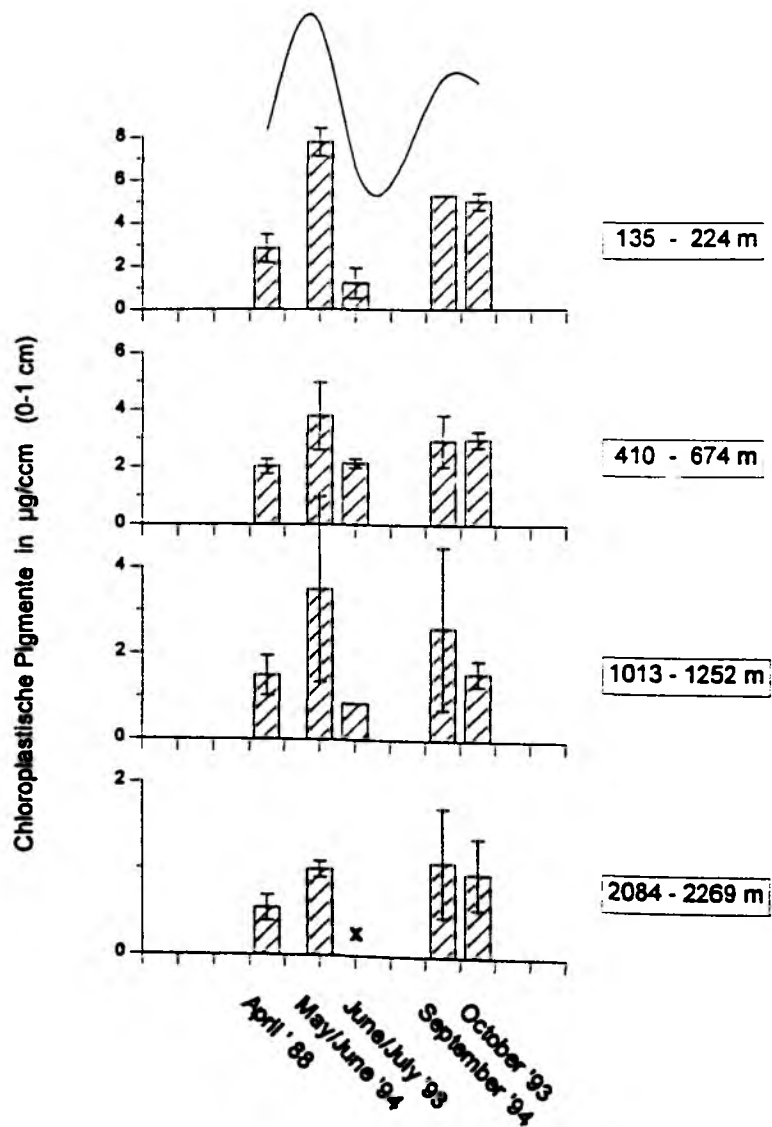


Abbildung 52: Chloroplastische Pigmente im obersten Zentimeter der Sedimente auf verschiedenen Wassertiefenhorizonten auf dem Goban Spur Transekt zwischen April und Oktober.

Figure 52: Contents of chloroplastic pigments in the topmost centimeter of sediments from different water depths from Goban Spur transect between April and October.

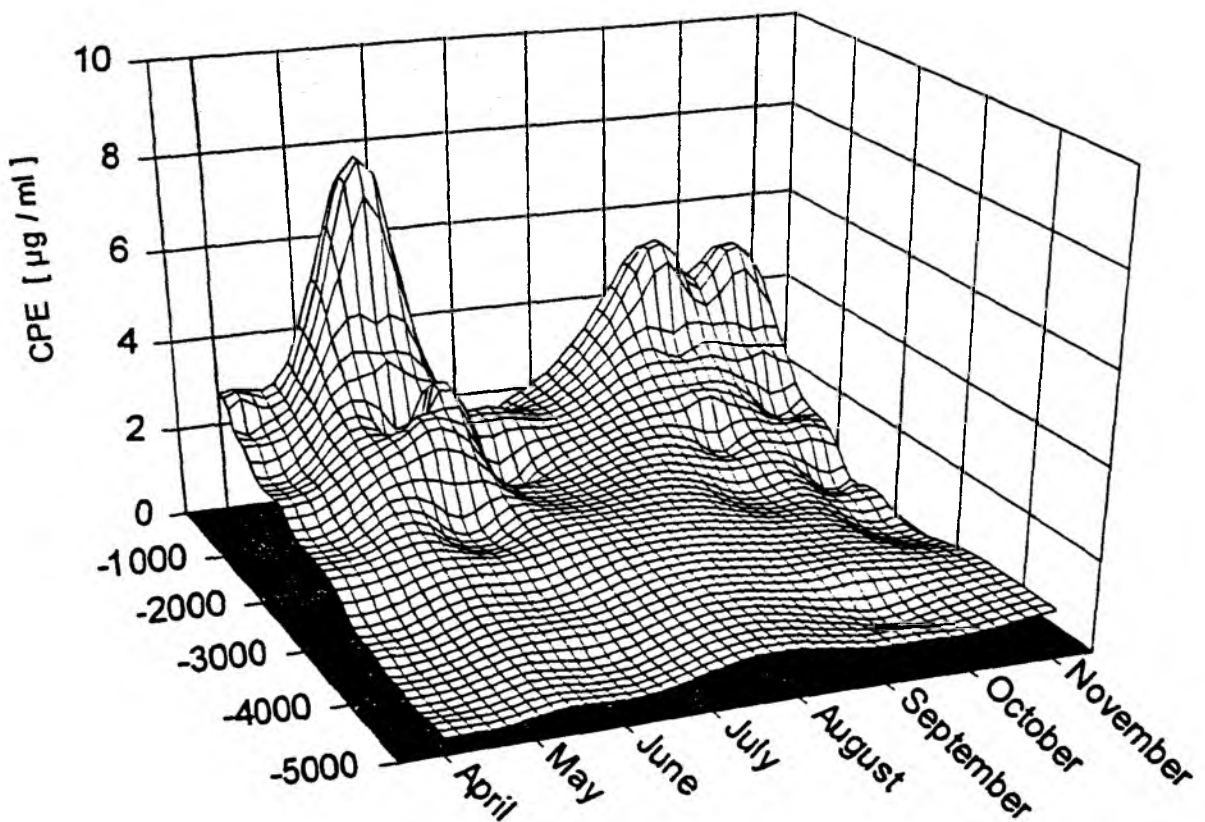


Abbildung 53: Zeitliche Entwicklung der Pigment-Konzentrationen im obersten Zentimeter der Sedimente auf dem Goban Spur Transekt zwischen April und Oktober.

Figure 53: Temporal development of pigment concentrations in the topmost centimeter of sediments from Goban Spur transect between April and October.

1992, PFANNKUCHE 1993, PFANNKUCHE & THIEL 1987). Kurze Fortpflanzungszyklen sowie die Aktivierung von Ruhe- oder Dauerstadien ermöglichen rasche Abundanz- und Biomassezunahmen innerhalb von nur wenigen Tagen. Im Vergleich zu den sehr zeitaufwendigen demographischen Methoden, führt die Analyse biogener Sedimentkomponenten (Aktivitäts- und Biomasseparameter) sehr schnell zu verlässlichen Aussagen über die Reaktion dieser Organismengrößenklassen (Bakterien, Protozoen) auf den Eintrag organischen Materials in das Benthos.

Die Bestimmung von exoenzymatischen Aktivitäten (FDA turnover) sowie Gesamtadenylat-, DNA- und Phospholipid-Konzentrationen in Sedimentproben vom Goban Spur Kontinentalhang aus dem September/Oktober offenbarte schließlich auch einen starken Anstieg bereits während bzw. in unmittelbarer Folge der Sedimentation der Herbstphytoplanktonblüte und dokumentiert somit eine sehr enge pelago-benthische Kopplung.

Kohlenstoff-Remineralisation durch die benthische Lebensgemeinschaft

In situ-Sauerstoffverbrauchsmeasureungen zur Quantifizierung von Remineralisationsraten durch die Sediment-Lebensgemeinschaft und zur Bilanzierung des Kohlenstoffflusses im Benthos des Goban Spur Kontinentalhangs wurden bislang nur auf einer Station (1200m) während der METEOR-Expedition M6/7 im Mai 1988 durchgeführt (PFANNKUCHE et al. 1993). Ein Vergleich mit synoptischen Daten aus der Porcupine Tiefsee-Ebene ergab, wie erwartet, signifikant höhere Werte auf dem Goban Spur Transekt (PAP: 22.3 $\mu\text{mol O}_2/\text{l}$; Goban Spur: 52.7 $\mu\text{mol O}_2/\text{l}$) und erwies damit deutlich höhere Remineralisationsraten auf dem Kontinentalhang.

LITERATUR:

- BILLET, D.M.S., R.S. LAMPITT, A.L. RICE & R.F.C. MANTOURA, 1983: Seasonal sedimentation of phytoplankton to the deep-sea benthos. *Nature* (London), 302: 520-522.
- GOODAY, A.J., 1988: A response by benthic foraminifera to the deposition of phytodetritus. *Nature* (London), 332: 70-73.
- GOODAY, A.J., & P.J.D. LAMBSHEAD, 1989: Influence of seasonally deposited phytodetritus on the benthic foraminiferal population in the bathyal northeast Atlantic: the species response. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 58: 53-67.
- GOODAY, A.J., O. PFANNKUCHE & P.J.D. LAMBSHEAD, 1995: An apparent lack of response by metazoan meiofauna to phytodetritus deposition in the bathyal northeast Atlantic. *J. Mar. Biol. Assoc.*, (in press).
- GREISER, N., & A. FAUBEL, 1988: Biotic factors. In: *Introduction to the study of meiofauna* (HIGGINS, R. & H. THIEL, eds.), Smithsonian Institution Press, Washington, D.C., London, 79-114.
- KÖSTER, M., P. JENSEN & L.-A. MEYER-REIL, 1991: Hydrolytic activity of organisms and biogenic structures in deep-sea sediments. In: *Microbial enzymes in aquatic environments* (CHROST, R. J., ed.), Springer-Verlag, 298-310.
- LOCHTE, K., 1992: Bacterial standing stock and composition of organic carbon in the benthic boundary layer of the abyssal North Atlantic. In: *Deep-sea food chains and the global carbon cycle* (ROWE, G. & V. PARIENTE, eds.), NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1-10.
- PFANNKUCHE, O., 1992: Organic flux through the benthic community in the temperate abyssal Northeast Atlantic. In: *Deep-sea food chains and the global carbon cycle*. ROWE, G., & V. PARIENTE (eds.), NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 183-198.
- PFANNKUCHE, O., 1993: Benthic response to the sedimentation of particulate organic matter at the BIOTRANS station, 47°N, 20°W. *Deep-Sea Res. II*, 40: 135-149.
- PFANNKUCHE, O., & H. THIEL, 1987: Meiobenthic stocks and benthic activity on the NE-Svalbard Shelf and in the Nansen Basin. *Polar Biol.*, 7: 253-266.

- PFANNKUCHE, O., G. RHEINHEIMER & H. THIEL, 1993: BIO-C-FLUX - Biologischer Vertikaltransport in der bodennahen Wasserschicht des küstenfernen Ozeans. Ber. Inst. Meereskunde Kiel, pp.130.
- RICE, A.L., D.S.M. BILLET, J. FRY, A.W.G. JOHN, R.S. LAMPITT, R.C.F. MANTOURA & R.J. MORRIS, 1986: Seasonal, deposition of phytodetritus to the deep-sea floor. Proc. Royal Soc. Edinb., B, 88: 265-279.
- SHUMAN, F.R., & C.J. LORENZEN, 1975: Quantitative degradation of chlorophyll by marine herbivore. Limnol. Oceanogr., 20: 580-586.
- TENGBERG, A., F. de BOVEE, P. HALL, W. BERELSON, G. CICCERI, P. CRASSOUS, A. DEVOL, S. EMERSON, R. GLUD, F. GRAZIOTTIN, J. GUNDERSEN, D. HAMMOND, W. HELDER, R. JAHNKE, A. KHRIPOUNOFF, V. NUPPENAU, O. PFANNKUCHE, C. REIMERS, G. ROWE, A. SAHAMI, F. SAYLES, M. SCHUSTER, B. WEHRLI & P. de WILDE: Benthic chamber and profile landers in oceanography - A review of design, technical solutions and functioning. Prog. Oceanogr. in press.
- THIEL, H., O. PFANNKUCHE, G. SCHRIEVER, K. LOCHTE, A.J. GOODAY, CH. HEMLEBEN, R.F.C. MANTOURA, C.M. TURLEY, J.W. PATCHING & F. RIEMANN, 1988/89: Phytodetritus on the deep-sea floor in a central oceanic region of the Northeast Atlantic. Biol. Oceanogr., 6: 203-239.

6.3 BERICHTE UND ERGEBNISSE AUS DER ARBEITSGRUPPE MIKROBIOLOGIE

6.3.1 Mikrobielle Abundanz und Aktivität in der Tiefsee des NO-Atlantik

K. POREMBA, S. ULLRICH, H.-G. HOPPE & G. RHEINHEIMER

Einleitung

Die Ernährung der am Ozeanboden lebenden Organismen ist - von extremen Standorten wie den „Hot Vents“ oder „Cold Seeps“ abgesehen - in erster Linie von der photosynthetischen Produktion in der oberen Wasserschicht und dem Sedimentieren von Phytodetritus zum Meeresboden abhängig. Ein starkes Primärproduktionssignal wird regelmäßig im Sediment des Nord-Atlantik beobachtet, und dort wurden auch die ersten Belege für saisonale Sedimentationsprozesse gefunden. Mit Hilfe von Sinkstofffallen und *In situ*-Videobeobachtungssystemen konnten kurzzeitige, sommerliche Depositionsmaxima gezeigt werden (z.B. HONJO & MAGANINI 1993, RICE et al., 1986). Das Projekt BIO-C-FLUX verfolgte das Ziel, am Beispiel des BIOTRANS-Gebietes im NO-Atlantik die Auswirkungen saisonaler Veränderungen in der Deposition organischen Materials auf die biologischen Prozesse im Sediment zu untersuchen und Zusammenhänge aufzuzeigen. Im Rahmen dieser Zielsetzung beschäftigte sich die Arbeitsgruppe Mikrobiologie insbesondere mit der Variabilität mikrobieller Abundanz und Aktivität.

Die Untersuchungen, die in den Projekten BIOTRANS (1984 - 1989) und BIO-C-FLUX-I (1990 - 1992) durchgeführt wurden, haben gezeigt, daß die benthische Bakterienbiomasse mit 4 g C/m^2 im Sommer doppelt so hoch ist wie im März (LOCHTE 1992), und daß die Schwankungen im wesentlichen auf die oberen Sedimenthorizonte von 0 - 5cm Tiefe beschränkt sind (POREMBÄ 1994a). Das bisher untersuchte Material stammte aber lediglich aus dem Zeitraum von März bis September. Winterwerte, die vermutlich den unteren Teil der Amplitude der jahreszeitlichen Schwankung repräsentieren, fehlten hingegen. Aus diesem Grunde wurde im BIO-C-FLUX-II Projekt erstmals eine Fahrt mit FS METEOR im Januar/Februar durchgeführt.

Am Rande der Kontinentalhänge nimmt im Vergleich zur zentralen Tiefsee die Bedeutung advektiver Transportprozesse für den Nahrungseintrag zum Meeresboden in Relation zu vertikalen Transportprozessen zu. Es wird vermutet, daß die besonderen topographischen und hydrographischen Gegebenheiten an den Rändern der ozeanischen Tiefseebecken dazu führen, daß dort anorganisches und organisches Material verstärkt abgelagert und remineralisiert wird (REIMERS et al., 1992). Die im Bereich der Kontinentalhänge erfolgende Nährstoffremineralisation wird anteilmäßig etwa gleich hoch wie die Nährstoffremineralisation in der übrigen Tiefsee eingeschätzt (WALSH 1991). Um einen Eindruck vom Übergang der Tiefsee zum Schelf und den damit verbundenen Änderungen der mikrobiellen Abbauaktivität zu bekommen, wurden mikrobiologische Prozesse im Sediment und in der Wassersäule im Bereich des Europäischen Kontinentalhanges (Keltische See bei Goban Spur) während dreier Schiffsexpeditionen im Dezember/Januar, Juni/Juli und August/September untersucht.

Methoden

Probennahme:

Das Probenmaterial wurde auf Expeditionen mit den Forschungsschiffen VALDIVIA und METEOR gewonnen. Das BIOTRANS-Gebiet im NO-Atlantik ($47^\circ\text{N } 20^\circ\text{W}$) wurde auf der METEOR-Reise 27/2 (20.1.-20.2.94) beprobt. Die Reisen VALDIVIA 137 (23.6.-16.7.93), METEOR 27/1 (27.12.93-15.1.94) und METEOR 30/1 (30.8.-17.9.94) führten an den Europäischen Kontinentalhang in der Keltischen See ($48^\circ\text{-}50^\circ\text{N } 10^\circ\text{-}14^\circ\text{W}$). Für die Gewinnung von Sedimentproben und Sediment-Kontakt-Wasser wurde ein Multicorer nach BARNETT et al., (1984) eingesetzt, der mit seinen Plastikröhren relativ ungestörte Sedimentkerne bis 40cm Tiefe einschließlich etwa 30cm überstehenden Wassers sticht. Für Wasserproben aus dem Bodenkontaktbereich (7m über Grund) bis zur Wasseroberfläche wurden vorgereinigte hydrographische Schöpfer und eine Schöpferrosette eingesetzt.

Bakterielle Abundanz und Biomasse:

Die Bakterienzahl wurde durch Epifluoreszenzmikroskopie nach Anfärbung der Zellen mit Acridin-Orange ermittelt (HOBBIE et al., 1977, ZIMMERMANN & MEYER-REIL 1974). Die Zellform und Größe wurde mit einem New-Porton-Grid (Tonbridge, GB) bestimmt und die daraus abgeleiteten Zellvolumina mit Hilfe der Gleichung nach SIMON & AZAM (1989) in Zellkohlenstoff konvertiert.

Mikrobielle Aktivität:

Die Aktivitätsmessungen erfolgten in Form von Inkubationsexperimenten. Um einen Temperatureinfluß weitgehend auszuschließen, wurden die Proben sofort nach der

Probennahme in ein temperiertes Labor gebracht und dort bei *in situ*-Temperatur weiterverarbeitet. Bei den Multicorer-Rohren wurde zunächst das Sediment-Kontakt-Wasser vorsichtig abpipettiert und die Sedimenthorizonte in 1 cm-Schritten abgenommen. Das Material wurde in der Regel mit sterilem Tiefenwasser 1:1 verdünnt, in sterile Polyethylen-Beutel portioniert, mit den verwendeten fluorogenen Modellsubstraten bzw. Radiochemikalien versetzt, eingeschweißt und schließlich unter erhöhten Umgebungsdruck, entsprechend dem *in situ*-Druck des Probenmaterials gesetzt. Hierzu wurde eine spezielle Druckanlage mit elektrischer Pumpe und wassergefüllten Druckrohren aus Edelstahl verwendet. Je nach Versuchsanordnung erfolgte die Inkubation des Probenmaterials unterschiedlich lange. Anschließend wurden die Beutel geöffnet, mit Formol fixiert und innerhalb weniger Wochen aufgearbeitet. In der Regel wurden zum Vergleich Parallelinkubationen bei 1 atm durchgeführt. Bei einigen Ansätzen zur Untersuchung von Wasserproben wurden zusätzliche Serien mit mittleren Inkubationsdrücken von 150, 300 und 450 atm durchgeführt.

Messung der hydrolytischen Enzymaktivität:

Untersuchungen zur potentiellen Aktivität hydrolytischer Enzyme erfolgten mit Hilfe fluorogener Modellsubstrate. Es wurden Fluoreszenzsubstrate verwendet, deren Spaltung repräsentativ für bestimmte hydrolytische Abbauvorgänge ist wie z.B. für Protease-, Esterase-, Lipase-, Chitinase- und Glucosidase-Aktivität (HOPPE 1983, 1991, KÖSTER et al., 1991, MEYER-REIL 1990). In Vorversuchen wurde die Substrat-Sättigungskonzentration ermittelt, um im späteren Hauptversuch eventuelle Unterbestimmungen durch suboptimale Substratkonzentrationen auszuschließen. Für die Ansätze wurden Konzentrationen von 1 mMol MCA-Leucin, 100 µMol Fluoreszeindiacetat, 50 µMol MUF-Heptonat, 100 µMol MUF-Glucosamid, 50 µMol MUF-Alphaglucosid und 100 µMol MUF-Betaglucosid gewählt. Die Sedimentsuspensionen wurden mit den Substraten versetzt und bei *in situ*-Temperatur bis zu 6 h lang inkubiert. Die Reaktion wurde durch Zufügen von eiskaltem Seewasser gestoppt. Nach Abzentrifugieren des Sedimentes wurde die Fluoreszenz des Überstandes gemessen. Durch Eichung konnten den Meßwerten Substratmengen bzw. Umsätze zugeordnet werden.

Als alternatives Verfahren zur Enzymmessung wurde der halbquantitative Schnelltest „APIZym“ der Firma BioMerieux (GRUNER et al., 1992, HUMBLE et al., 1977) angewendet. Hierbei können 19 verschiedene Enzyme mit Hilfe spezieller Naphtol-Substrate gleichzeitig ausgemessen werden. Die Mikrokammern des Meßstreifens wurden mit jeweils 30 µl Porenwasser, das zuvor mittels Zentrifugation gewonnen wurde, befüllt. Die Inkubation der Ansätze erfolgte über 4 h bei 37°C. Die enzymatischen Reaktionen wurden dann durch Zugabe von Nachweisreagenzien bestimmt. Die Auswertung erfolgte durch Farbvergleich nach Anleitung des Herstellers.

Bakterielle Produktion:

Die bakterielle Netto-Sekundärproduktion wurde über die ³H Thymidin und ³H-Leucin-Inkorporation nach FUHRMANN & AZAM (1982) und SERVAIS (1992) bestimmt. Für die Radiochemikalien wurden Konzentrationen von 10 bzw. 25 nmol/l gewählt. Nach Inkubation bei *in situ*-Temperatur (bis zu 24 h) wurden die Versuchsansätze durch Formol abgestoppt. Die Aufarbeitung erfolgte nach MORIARTY (1984). Wasserproben wurden sofort mit eiskalter TCA behandelt, während Sedimentproben zunächst zur Austreibung von Karbonaten angesäuert und in TCA gekocht wurden. Anschließend erfolgte die Filtration. Durch Kalibrierung und Verwendung bekannter Umrechnungsfaktoren (JGOFS 1990) wurden Substrataufnahme- und Biomasseproduktionsraten berechnet.

In der Regel erfolgte die Untersuchung getrennt nach Sedimenthorizonten. Über das Trockengewicht wurden die Meßwerte auf ein Volumen von 1 ml unverdünnten Ausgangsmaterials korrigiert, sodaß die Umsatzraten in der Form von Vertikalprofilen dargestellt werden konnten.

Untersuchungen an der BIOTRANS-Station

Während der METEOR-Reise M27/2, die im Dezember 93/Januar 94 durchgeführt wurde, konzentrierte sich die Probenahme auf das BIOTRANS-Gebiet, so daß die bisherigen Datensätze durch Ergebnisse aus dem Winter ergänzt werden konnten. Aufgrund eines schweren Sturmes, der erhebliche Schäden am Schiff und an der Ausrüstung verursachte, mußte die Reise vorzeitig abgebrochen werden. Aus diesem Grunde liegen für diesen Fahrabschnitt lediglich Daten zur bakteriellen Abundanz im Sediment vor.

Die winterlichen Bakterienzahlen lagen fast um eine Größenordnung unter den Werten des übrigen Jahres. Die Bakteriendichte innerhalb des Sedimentkernes schwankte wesentlich geringer als im März oder August 1992 und führte zu einem homogenen, d.h. mit zunehmender Tiefe fast kontinuierlich abfallenden Vertikalprofil. Die durchschnittliche Zellgröße der Bakterien veränderte sich im Vergleich zu den Untersuchungen von 1992 kaum, so daß die bakterielle Biomasse im Januar um 50 - 90% niedriger lag als in März oder August (Abb. 54). Bei diesem Vergleich ist zu berücksichtigen, daß die Bestimmung der Bakterienabundanz mit Hilfe der epifluoreszenzmikroskopischen Direktzählung nicht selten mit Standardabweichungen von etwa 50% behaftet ist. Somit ist eine Signifikanz der jahreszeitlichen Unterschiede zwar zwischen den Januar-Daten und den März- bzw. August-Daten gegeben, nicht aber zwischen März- und August-Daten.

Untersuchungen am europäischen Kontinentalhang

Der am europäischen Kontinentalhang beprobte Stationstransekt wurde so gelegt, daß er in seiner westlichen Verlängerung das BIOTRANS-Gebiet schnitt. Der Schwerpunkt der Arbeiten am Kontinentalhang lag auf der Untersuchung von Sedimentproben, die auf den Sommerfahrten 1993 (VALDIVIA-Reise Nr. 137) und 1994 (METEOR-Reise 30/1) intensiv durchgeführt werden konnten. Darüberhinaus wurden während der Sommerfahrt 1993 und vor allem während der Winterfahrt 1994 (METEOR-Reise 27/1), bei der das stürmische Wetter den Einsatz von Großgeräten zur Sedimentgewinnung nicht zuließ, Proben aus der Wassersäule genommen. In diesen Wasserproben wurde die Druckabhängigkeit der bakteriellen Aktivität untersucht.

Untersuchungen im Sediment (POREMBA 1994b; POREMBA & HOPPE 1995)

Auf der VALDIVIA-Fahrt im Juli 1993 konnten Sedimentproben nur vom oberen Teil des Kontinentalhanges zwischen 135 - 1630m Meerestiefe genommen werden, während sich die Untersuchungen auf der METEOR-Fahrt im September 1994 auf Material vom unteren Hang bis zum Hangfuß zwischen 1535m und 4471m Tiefe und aus der Porcupine Seabight (4805m) konzentrierten.

Am oberen Teil des Kontinentalhanges veränderten sich die Bakterienzahlen und Zellgrößen, ohne einen tiefenabhängigen Trend erkennen zu lassen. Dagegen reduzierte sich die bakterielle Aktivität kontinuierlich, sowohl hinsichtlich der Produktion (Thymidinaufnahme) als auch hinsichtlich der Aktivität verschiedener hydrolytischer Enzyme.

Bakterielle Biomasse im Sediment

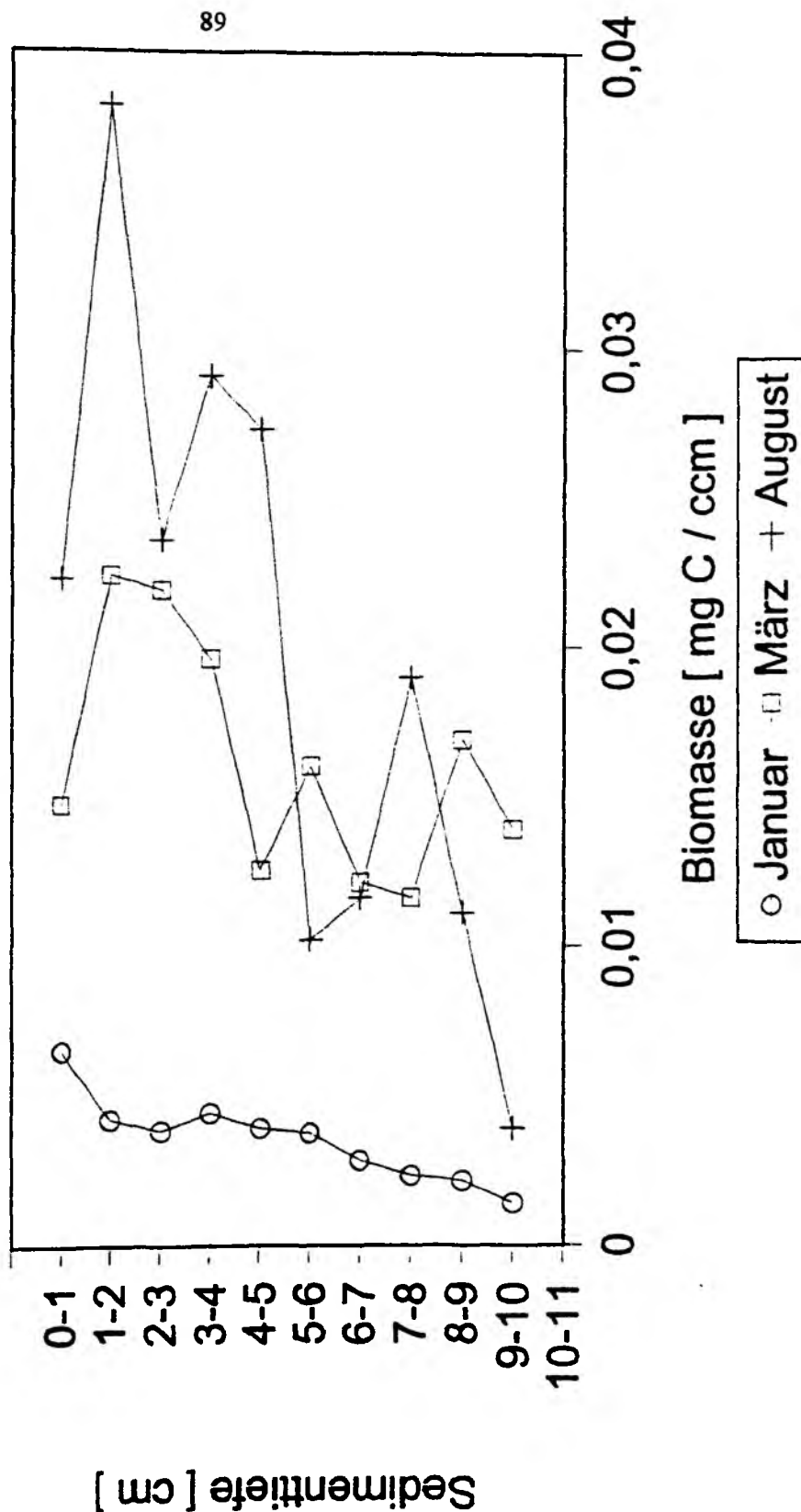


Abbildung 54: Bakterienbiomasse im Sediment der BIOTRANS-Station im März und August 1992 sowie im Januar 1994.

Figure 54: Bacterial biomass in sediments from the BIOTRANS station in March and August 1992 and in January 1994.

Die bakterielle Produktion im Sediment-Kontakt-Wasser (SKW) betrug nur etwa 1 - 6% der Werte im oberen Sedimenthorizont (0-1cm, Tab. 6). Aufgrund der sehr viel höheren Bakterienkonzentrationen im Sediment ergibt sich jedoch eine höhere zellspezifische Aktivität im SKW. Innerhalb des Sedimentkernes nahm die Aktivität ebenfalls ab, allerdings so gering, daß ein signifikanter Unterschied oft nur zwischen dem 0-1cm und dem 9-10cm Tiefenhorizont festzustellen war und nicht schon zwischen dem Oberflächen- und dem mittleren Tiefenhorizont.

Bei der Analyse verschiedener hydrolytischer Enzyme konnte eine deutliche Abnahme der Aktivitäten mit zunehmender Wassertiefe festgestellt werden. Trotz der Veränderung der Hydrolyseraten blieb das Aktivitätsmuster Peptidase > Esterase > Chitinase > Cellulase > Amylase über den gesamten Hang erhalten und entspricht somit dem typischen, im BIOTRANS-Gebiet und im Island-Becken gefundenen Schema (PORE MBA 1995). Wegen der stets sehr kleinen Amylase-Aktivitäten wurden diese nur auf dem oberen Teil des Kontinentalhanges gemessen. Die Intensität, mit der die Aktivitäten von der Schelfkante zum Hangfuß abnahmen, war jedoch von Enzym zu Enzym unterschiedlich (Abb. 55). Cellulase und Esterase zeigten den am stärksten ausgeprägten Tiefengradienten, während Peptidase und Chitinase über die Tiefe langsamer abnahmen. Daraus kann geschlossen werden, daß die leichter abbaubaren Substanzen wie Stärke und Cellulose mit zunehmender Tiefe weitgehender mineralisiert waren als die schwerabbaubaren (z.B. Chitin). Der hier festgestellte Befund stützt somit die Theorie, daß das hydrolytische Enzymspektrum ein Abbild des Musters der am Meeresboden verfügbaren, makromolekularen organischen Substanz ist. Eine Ausnahme könnte die Aminopeptidase sein. Zum einen weist das Aktivitätsmaximum dieses Enzyms, das regelmäßig in 2-4cm Sedimenttiefe und nicht direkt an der Sedimentoberfläche beobachtet wurde, darauf hin, daß eine ausreichende Nährstoffversorgung an der Sedimentoberfläche zur

Tabelle 6: Bakterienkonzentrationen, Produktion (+/- sd) und spezifische Wachstumsrate in Sediment-Kontakt-Wasser und im Sediment vom Europäischen Kontinentalhang bei Goban Spur.

Table 6: Estimates of bacterial densities, carbon production (+/- sd) and specific growth rates in the sediment contact water (SCW) and the sediment at Goban Spur.

Stn	Depth (m)	Compartment	Total bacterial no. (ml ⁻¹)	Bacterial biomass (ng C ml ⁻¹)	Mean C content (fg C cell ⁻¹)	TdR uptake rate (r ²) (fmol ml ⁻¹ h ⁻¹)	Bacterial production ^a (ng C l ⁻¹ d ⁻¹)	Specific growth rate ^b (d ⁻¹)
9	135	SCW	5.88 × 10 ⁵	8.13	13.8	0.59 ± 0.08 (0.880)	0.22 ± 0.03	0.0271
		0-1cm horizon	3.07 × 10 ⁶	4262	13.9	14.79 ± 1.94 (0.817)	5.43 ± 0.71	0.0013
		3-4 cm horizon	2.20 × 10 ⁶	3248	14.8	11.00 ± 0.48 (0.976)	4.29 ± 0.19	0.0013
		9-10 cm horizon	3.67 × 10 ⁶	5471	14.9	10.64 ± 1.30 (0.837)	4.18 ± 0.51	0.0008
7	571	SCW	1.67 × 10 ⁵	2.35	14.1	0.19 ± 0.01 (0.964)	0.07 ± 0.01	0.0298
		0-1cm horizon	5.35 × 10 ⁶	8275	15.1	11.55 ± 5.06 (0.634)	4.60 ± 2.02	0.0006
		3-4 cm horizon	4.21 × 10 ⁶	6672	15.8	9.33 ± 2.53 (0.820)	3.89 ± 1.06	0.0006
		9-10 cm horizon	3.01 × 10 ⁶	4621	15.3	1.18 ± 1.16 (0.255)	0.48 ± 0.47	0.0001
6	1216	SCW	2.01 × 10 ⁵	3.47	17.3	0.21 ± 0.01 (0.991)	0.10 ± 0.01	0.0288
		0-1cm horizon	8.13 × 10 ⁶	11608	14.3	4.39 ± 2.76 (0.458)	1.66 ± 1.04	0.0001
		3-4 cm horizon	7.46 × 10 ⁶	10391	13.9	4.85 ± 0.29 (0.990)	1.78 ± 0.11	0.0001
		9-10 cm horizon	4.45 × 10 ⁶	6059	13.6	0.64 ± 0.12 (0.908)	0.23 ± 0.04	0.0001 ^c
5	1630	SCW	9.60 × 10 ⁵	1.37	14.3	0.04 ± 0.01 (0.903)	0.02 ± 0.01	0.0146
		0-1cm horizon	6.55 × 10 ⁶	9443	14.4	3.96 ± 1.41 (0.724)	1.51 ± 0.54	0.0002
		3-4 cm horizon	5.75 × 10 ⁶	6996	14.2	3.42 ± 0.76 (0.870)	1.28 ± 0.28	0.0002
		9-10 cm horizon	3.74 × 10 ⁶	5799	15.5	0.93 ± 0.18 (0.900)	0.38 ± 0.07	0.0001

^a Estimated by using a conversion factor of 1.1×10^{18} cells per uptaken mol TdR (Riemann et al. 1987) and the mean C content cell⁻¹ of the sample using the power function of Simon & Azam (1989)

^b μ (d⁻¹) = Bacterial production/Bacterial biomass

^c Rounded off to ten-thousandths place

Hydrolytische Enzymaktivitäten im oberen (0-1cm) Sedimenthorizont

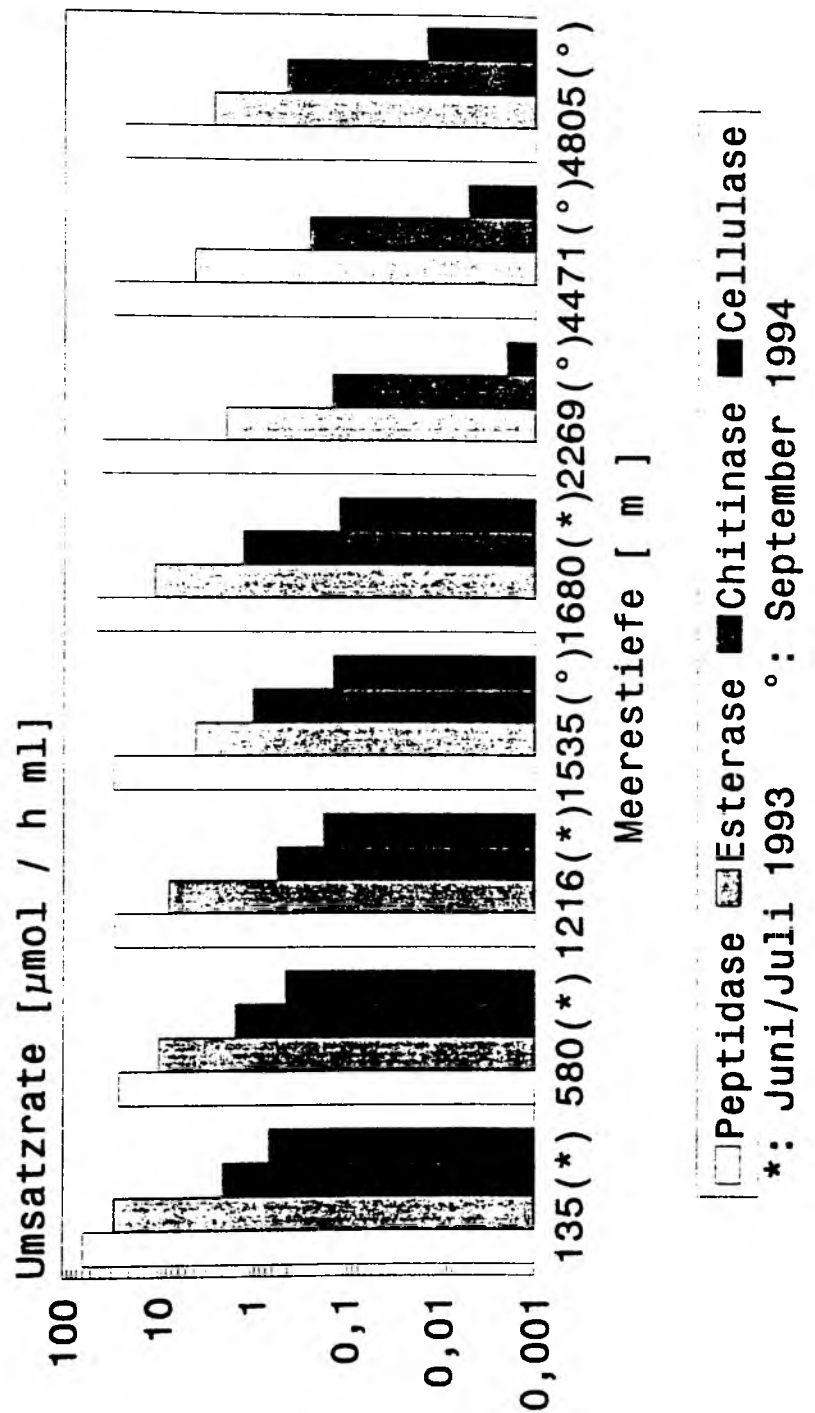


Abbildung 55: Veränderung der potentiellen Aktivität verschiedener hydrolytischer Enzyme im 0-1cm Horizont des Sedimentes entlang des Europäischen Kontinentalhanges bei Goban Spur.

Figure 55: Changes in the potential activity of different hydrolytical enzymes in the 0-1cm horizon of sediments from the European continental slope (Goban Spur).

Repression des Enzyms geführt haben könnte. Zum anderen ist die Proteolyse eine so generell bei Bakterien verbreitete Eigenschaft, daß die Peptidaseaktivität möglicherweise nur wenig oder gar nicht an die aktuelle Nährstoffversorgung gekoppelt ist und deshalb nur ein sehr flacher (und statistisch nicht signifikanter) Aktivitätsabfall entlang des Kontinentalhanges beobachtet wurde (POREMBA & HOPPE 1995).

Es fällt auf, daß die Aktivitäten im Bereich starker Hangneigung bei 2000m besonders niedrig sind und am Hangfuß wieder ansteigen. Auch ist die Zone der biologischen Aktivität in der Hangmitte besonders stark auf den oberen Sedimenthorizont konzentriert. Eine mögliche Ursache für diesen besonders dünnen Biofilm in Hangmitte könnte sein, daß hier der Brutto-Eintrag herabsedimentierenden Materials zwar höher ist als am küstenferneren Hangfuß, daß aber wegen abwärts gerichteter Transportvorgänge (z.B. Rutschung, Strömung) nur relativ wenig am Hang selbst verarbeitet wird, sondern erst am Hangfuß, wo das Material akkumuliert.

Untersuchungen in der Wassersäule (siehe auch POREMBA 1994c)

Untersuchungen zur bakteriellen Aktivität in der Wassersäule wurden im King Arthur Canyon (3713m tief) und am Fuße des Kontinentalhanges (4480m tief) durchgeführt. Die Proben wurden in der euphotischen Schicht (10-14m), der subphotischen Schicht (54 - 150m), dem Bathyal (1509 - 2000m) und 56 - 64m über dem Meeresboden genommen.

Es wurden mehrere Hinweise gefunden, daß sich die Bakterienpopulationen in den verschiedenen Wasserschichten anhand ihrer physiologischen Eigenschaften voneinander unterscheiden lassen. Die Bakterienzahl nahm mit zunehmender Wassertiefe erwartungsgemäß ab (Tab. 7). Im Juli lagen die Abundanzen an der Wasseroberfläche um etwa 1 Größenordnung höher als im Januar, während in tieferen Wasserschichten keine Veränderung auftrat. Die Aufnahmeraten für Thymidin und Leucin fielen ebenfalls mit zunehmender Wassertiefe ab, allerdings mit einem viel steileren Gradienten als die Bakterienzahl (Tab. 8 und 9). Dieser Gradient verflachte im Winter, wie auch der molare Quotient von Leucin/Thymidin-Aufnahme, der generell an der Wasseroberfläche größer war als in tieferen Schichten und von 30 - 80 im Juli auf 10 - 30 im Januar fiel. Da sich die durchschnittliche Zellgröße nicht veränderte, ist es wahrscheinlich, daß diese Quotient-Veränderung einen reduzierten Wachstumszustand der Gesamtpopulation signalisiert. Der Grund hierfür ist sicher in der reduzierten Nährstoffversorgung durch Primärproduktion im Winter zu suchen. Unser Befund weist darauf hin, daß sich diese hier beobachtete jahreszeitliche Veränderung in schwächerem Ausmaß auch bis in tiefere Wasserschichten fortpflanzt.

Neben der Wassertiefe nahm auch der Inkubationsdruck starken Einfluß auf die Umsatzraten. Die Oberflächenproben wurden durch erhöhten Druck gehemmt, und die Bakterien aus tieferen Wasserschichten zeigten ihre größte Aktivität in solchen Versuchsserien, die bei dem jeweiligen *in situ*-Druck erfolgten. Die Bevorzugung des *in situ*-Druckes war im Sommer deutlicher ausgeprägt als im Winter. Möglicherweise erweitern die Mikroorganismen im Winter ihre Toleranz gegenüber suboptimalen Umweltbedingungen, um ihre Überlebenschancen in dieser nährstoffarmen Zeit zu erhöhen. Eine ähnliche Drucktoleranz wurde in Sediment des BIOTRANS-Gebietes gefunden, wo im August eine viel deutlichere Baroadaptation festzustellen war als im März (POREMBA 1994c). Unter Berücksichtigung des *in situ*-Druckes reduzieren sich die Unterschiede zwischen den verschiedenen Aktivitätsparametern. Im Falle der Thymidin-Aufnahme (Tab. 8) findet man in der bodennahen Probe im Januar sogar eine höhere Aktivität (16×10^{-15} Mol/h) als an der Wasseroberfläche ($9,5 \times 10^{-15}$ Mol/h). Ein Grund für die hohe Aktivität in Bodennähe könnte der stimulierende Einfluß von Sedimentresuspension sein. Derartige Aufwirbelungen könnten an den

Probenahmestandorten gegeben sein, denn diese lagen in einer unterseeischen Schlucht und am Hangfuß, also an Stellen, wo abwärtsgerichtete Materialtransporte möglich sind.

Tabelle 7: Gesamtbakterienzahl (TBN) und mittleres Zellvolumen (MCV) in Wasserproben von Goban Spur und vom King Arthur Canyon.

Table 7: Total bacterial numbers (TBN) and mean cell volumes (MCV) in different water samples from Goban Spur and King Arthur Canyon.

<i>sampled water depth</i>	<i>TBN</i> <i>(10⁴ cells·cm⁻³)</i>	<i>MCV</i> <i>(μm³·cell⁻¹)</i>
<i>Goban Spur, January 1994</i>		
14 m	14.23	0.0532
153 m	6.33	0.0539
1509 m	1.57	0.0532
4416 m	1.33	0.0551
<i>King Arthur Canyon, January 1994</i>		
13 m	14.42	0.0398
54 m	14.82	0.0385
1812 m	2.84	0.0763
3657 m	1.47	0.0757
<i>King Arthur Canyon, July 1993</i>		
10 m	136	0.0493
150 m	26.8	0.0335
2000 m	2.09	0.0553
3650 m	1.66	0.0656

Tabelle 8: Einfluß des Inkubationsdruckes auf die bakterielle Aktivität, gezeigt als Thymidin-Aufnahme +/- sd [10⁻¹⁵ Mol / h] bzw. die spezifische Aktivität [10⁻²¹ Mol / Zelle].

Table 8: Influence of pressure on bacterial activity during incubation shown as TdR uptake activity +/- sd [10⁻¹⁵ Mol / h] and as per cell activity [10⁻²¹ Mol / Zelle].

<i>water depth</i>	<i>incubation pressure</i>											
	<i>1 atm</i>			<i>150 atm</i>			<i>300 atm</i>			<i>450 atm</i>		
	<i>uptake rate</i>	<i>per-cell activity</i>	<i>r</i>	<i>uptake rate</i>	<i>per-cell activity</i>	<i>r</i>	<i>uptake rate</i>	<i>per-cell activity</i>	<i>r</i>	<i>uptake rate</i>	<i>per-cell activity</i>	<i>r</i>
<i>Goban Spur, January 1994</i>												
14 m	9.5±0.7	0.066	0.965	5.9±1.4	0.041	0.734	1.1±0.7	0.008	0.062	-0.67±1.2	-0.005	0.044
153 m	13±1.8	0.209	0.900	2.3±1.5	0.037	0.280	4.2±1.6	0.067	0.537	5.9±1.8	0.093	0.636
1509 m	4.2 ±1.6	0.269	0.530	3.5±1.2	0.224	0.597	1.7±0.9	0.110	0.340	-0.21±0.6	-0.013	0.022
4416 m	0.26±1.2	0.020	0.007	11±3.5	0.856	0.637	17±9.9	1.271	0.324	16±6.8	1.233	0.491
<i>King Arthur Canyon, January 1994</i>												
13 m	21±2.3	0.147	0.934	8.7±2.4	0.060	0.695	3.6±2.4	0.025	0.262	6.6±2.9	0.046	0.467
54 m	22±6.2	0.150	0.684	5.3±3.3	0.036	0.303	3.8±1.2	0.026	0.624	9.6±3.9	0.065	0.506
1812 m	3.4±3.4	0.122	0.207	8.8±5.1	0.309	0.425	14.1±7.3	0.498	0.485	0.84±5.8	0.030	0.005
3657 m	7.36±5.6	0.497	0.300	0.62±3.6	0.042	0.007	2.2±4.2	0.151	0.065	9.6 ±4.6	0.653	0.526
<i>King Arthur Canyon, July 1993</i>												
10 m	685±10	0.504	0.999	378±11	0.278	0.997	168±22	0.124	0.937	84±19	0.061	0.832
150 m	123±4.8	0.458	0.994	80±3.2	0.298	0.994	41±8.1	0.149	0.861	16±3.4	0.060	0.850
2000 m	13±1.6	0.600	0.940	4.7±1.7	0.224	0.651	4.5±2.6	0.213	0.418	4.1±2.8	0.195	0.355
3650 m	5.46±5.8	0.318	0.179	13±3.4	0.771	0.790	13±6.7	0.753	0.477	5.7±1.4	0.335	0.800

Tabelle 9: Einfluß des Inkubationsdruckes auf die bakterielle Aktivität, gezeigt als Leucin-Aufnahme \pm sd [10^{-15} Mol / h] bzw. die spezifische Aktivität [10^{-21} Mol / Zelle].

Table 9: Influence of pressure on bacterial activity during incubation shown as Leucin uptake activity \pm sd [10^{-15} Mol / h] and as specific activity [10^{-21} Mol / Zelle].

water depth	Incubation pressure											
	1 atm			150 atm			300 atm			450 atm		
	uptake rate	per-cell activity	r^2	uptake rate	per-cell activity	r^2	uptake rate	per-cell activity	r^2	uptake rate	per-cell activity	r^2
Goban Spur, January 1994												
14 m	345 \pm 106	2.431	0.638	59 \pm 47	0.415	0.207	245 \pm 140	1.272	0.340	416 \pm 125	2.916	0.650
153 m	887 \pm 278	14.012	0.630	209 \pm 84	3.302	0.509	303 \pm 186	4.787	0.307	193 \pm 106	3.049	0.354
1509 m	395 \pm 89	25.159	0.765	532 \pm 83	33.885	0.872	417 \pm 82	26.561	0.813	345 \pm 85	21.974	0.731
3019 m	577 \pm 112	55.481	0.816	600 \pm 154	57.692	0.717	672 \pm 173	64.615	0.715	380 \pm 68	36.538	0.841
4416 m	368 \pm 133	27.669	0.563	346 \pm 178	26.015	0.386	508 \pm 130	38.195	0.716	339 \pm 115	25.489	0.589
King Arthur Canyon, January 1994												
13 m	188 \pm 118	0.308	0.300	136 \pm 183	0.943	0.084	97 \pm 99	0.670	0.137	101 \pm 36	0.700	0.567
54 m	137 \pm 66	0.924	0.419	51 \pm 89	0.343	0.052	33 \pm 39	0.220	0.105	555 \pm 71	0.202	0.939
1812 m	133 \pm 91	4.681	0.262	128 \pm 36	4.505	0.680	86 \pm 54	3.017	0.296	157 \pm 135	5.526	0.185
3657 m	57 \pm 54	3.878	0.160	93 \pm 91	6.327	0.148	262 \pm 123	17.823	0.432	117 \pm 75	7.959	0.288
King Arthur Canyon, July 1993												
10 m	57310 \pm 2213	42.14	0.994	33194 \pm 1017	24.41	0.998	13783 \pm 1016	10.13	0.979	4524 \pm 1730	3.33	0.631
150 m	3684 \pm 72	13.75	0.998	1439 \pm 99	5.37	0.981	1089 \pm 74	4.06	0.982	555 \pm 71	2.07	0.939
2000 m	82 \pm 25	3.90	0.730	132 \pm 32	6.29	0.805	-73 \pm 19	-3.48	0.779	-12 \pm 28	-0.57	0.045
3650 m	167 \pm 55	9.82	0.700	246 \pm 32	14.47	0.937	325 \pm 112	19.12	0.807	70.9 \pm 30	4.18	0.586

Die hier durchgeführten Versuche wurden sicherlich dadurch beeinträchtigt, daß das Material zunächst dekomprimiert wurde, bevor es mit Substrat versetzt wieder rekomprimiert werden konnte. Eine irreversible Schädigung einiger der vorhandenen Mikroorganismen ist zu erwarten, wie auch jüngere Befunde aus der Arbeitsgruppe Bianchi (BIANCHI & GARCIN 1993) zeigen. Vermutlich liegen einige der von uns ermittelten Umsatzraten, vor allem aus den tieferen Zonen, unter den realen Werten. Dennoch weisen unsere Befunde darauf hin, daß zur Abschätzung möglichst naturnaher Aktivitäten in Tiefseeproben durch Inkubationsexperimente die Anwendung des *in situ*-Druckes notwendig ist. Andernfalls würden bestimmte Phänomene, wie beispielsweise die in diesem Falle unerwartet hohe Aktivität in der bodennahen Wasserschicht, unentdeckt bleiben.

Methodische Untersuchungen

Zur Bestimmung eines breiten Spektrums von Enzymaktivitäten im Sediment entlang des Kontinentalhanges wurde der halbquantitative Test APIzym, bei dem 19 verschiedene Assays gleichzeitig vorgenommen werden können, verwendet (POREMBÄ 1994b). Die stärksten Aktivitäten wurden in der Klasse der Phosphatasen (3 getestete Enzyme) gefunden, gefolgt von den Lipid-Esterasen (3 getestete Enzyme) und den Peptidasen (5 getestete Enzyme). Von den 8 Glycosidasen konnte mit diesem Schnelltest keine Aktivität nachgewiesen werden. Diese Ergebnisse stimmen mit den Ergebnissen, die mit fluorogenen Substraten gemessen wurden, weitgehend überein. Die Fluoreszenzmessung ist im Vergleich aber sehr viel sensibler, und Gradienten von abnehmender Aktivität bei abnehmender Sedimenttiefe oder Meerestiefe sind mit dem APIzym-Test nur bei solchen Enzymen nachzuweisen, die eine relativ hohe absolute

Umsatzrate besitzen (wie z.B. Peptidasen). Bei den in Tiefseematerial üblichen geringen Aktivitäten (POREMBA 1995) ist das APIZym-Verfahren nicht geeignet.

Die Messung der Aktivität hydrolytischer Enzyme mit Hilfe fluorogener Modellsubstrate war ein im Rahmen von BIO-C-FLUX häufig untersuchter Parameter. Dabei wurden zunächst Suspensionen des Sedimentes hergestellt und anschließend Substrat zugefügt. In unseren bisherigen Versuchen wurde das Sediment immer $\frac{1}{2}$ mit Seewasser verdünnt. Dadurch konnte die Veränderung der Sedimentstruktur gering gehalten werden, und es mußte nicht befürchtet werden, durch zu große Verdünnung unter die Nachweisgrenze der Methode zu geraten, zumal in der Tiefsee mit relativ geringen Aktivitäten gerechnet werden muß. In unseren jüngsten Untersuchungen am europäischen Kontinentalhang wurden aber auch Proben aus geringeren Wassertiefen mit höheren Enzymaktivitäten bearbeitet, so daß es möglich erschien, die Methode dahingehend zu verändern, eine höhere Verdünnung anzuwenden, ohne dadurch die Nachweisgrenze zu unterschreiten. Der Vorteil wäre eine erleichterte Handhabung der Proben. Um experimentelle Artefakte einer solchen Modifikation der Methode abschätzen zu können, wurden Sedimentproben aus Meerestiefen zwischen 4805 und 1535m in Stufen von $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{10}$ und $\frac{1}{20}$ verdünnt und die Peptidase-, Esterase-, Chitinase- und Cellulase-Aktivitäten gemessen. Die Ergebnisse zeigten für die $\frac{1}{2}$ - und $\frac{1}{5}$ -Verdünnungen vergleichbare Aktivitätsraten, während bei den $\frac{1}{10}$ -Verdünnungen um 50% und bei den $\frac{1}{20}$ -Verdünnungen um 75% geringere Raten auftraten (Tab. 10). Für Cellulase war in 1500m Tiefe noch immer eine so geringe Aktivität feststellbar, daß Verdünnungen $> \frac{1}{2}$ das Meßergebnis unter die Nachweisgrenze drückten. Vor allem bei Bestimmungen in Sedimenthorizonten unter 4cm Tiefe war die Umsatzrate oft so klein, daß eine zusätzliche Verringerung der Aktivität durch die Sedimentverdünnung eine zuverlässige Messung unmöglich machte. Außerdem traten bei der Chitinase zum Teil Erhöhungen der Umsatzrate mit zunehmender Sedimentverdünnung auf, was in diesem Fall möglicherweise als ein Zeichen einer verbesserten Enzym-/Substrat-Findung zu werten ist. Die Zerstörung der Sedimentstruktur durch die experimentelle Suspendierung des Sedimentes scheint sich also besonders auf die Chitinase-Aktivität auszuwirken, während andere Enzyme hiervon weniger beeinflusst werden.

Tabelle 10: Einfluß der Sedimentverdünnung auf die Esterase-Aktivität [mMol / h] im 0-1cm Horizont von Sedimenten entlang eines Transektes über den Europäischen Kontinentalhang bei Goban Spur.

Table 10: Influence of sediment dilution on esterase activity [mMol / h] in the horizon 0-1cm in sediments along a transect across the European continental slope (Goban Spur).

Meerestiefe	Verdünnungsstufen			
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{20}$
1535m	3,85	4,72	5,47	1,77
2269m	1,89	1,5	1,41	0,74
4471m	4,12	3,94	3,16	1,55,
4805m	2,61	2,89	1,48	0,51

Zusammenfassung

Ziel der mikrobiologischen Arbeiten, die im Rahmen des BIO-C-Flux II-Projektes durchgeführt wurden, war es, die Bedeutung der Bakterien für den biologischen Kohlenstofffluß in der bodennahen Wasserschicht und im Sediment der Tiefsee anhand bakterieller Verteilungs- und Aktivitätsmuster zu untersuchen.

Erstmals konnte die Wintersituation an der BIOTRANS-Station (47°N 20°W) untersucht werden. Es wurden signifikant niedrigere Werte für bakterielle Abundanz und Biomasse im Sediment im Vergleich zu früher ermittelten Frühjahrs- und Sommerwerten festgestellt.

Auf einem Transekt entlang des europäischen Kontinentalhanges (Goban Spur, Keltische See) wurde der Übergang von der küstenfernen Tiefsee (BIOTRANS-Station) zum Schelf hin untersucht. Es wurde beobachtet, daß die Bakterienzahl im Sediment nicht mit zunehmender Küstennähe zunimmt, wohl aber die bakterielle Produktion und die Aktivität verschiedener hydrolytischer Enzyme. Bei den Enzymmessungen wurden substratspezifische Unterschiede gefunden, die neben der Tiefen- und Temperaturabhängigkeit auch auf eine Regulation sowohl durch die aktuelle Nährstoffversorgung als auch durch Repressions-/Induktionsvorgänge hinweisen.

LITERATUR:

- BARNETT, P.R.O., J. WATSON & C. CONELLY, 1984: A multiple corer for taking virtually undisturbed samples from shelf, bathyl and abyssal sediments. *Oceanol. Acta*, **7**: 399-408.
- BIANCHI, A., & J. GARCIN, 1993: In stratified waters the metabolic rate of deep-sea bacteria decreases with decompression. *Deep-Sea Res.*, **40**: 1703-1710.
- DALEY, R.J., & J.E. HOBIE, 1975: Direct count of aquatic bacteria by a modified epifluorescent technique. *Limnol. Oceanogr.*, **20**: 875-882.
- FUHRMANN, J.A., & F. AZAM, 1982: Thymidin incorporation as a measure of heterotrophic bacterioplankton production in marine surface waters: evaluation and field results. *Mar. Biol.*, **66**: 109-120.
- GRUNER, E., A. VON GRAEVENITZ & M. ALTWEG, 1992: The API ZYM system: a tabulated review from 1977 to date. *J. Microbiol. Meth.*, **16**: 101-118.
- HOBBIE, J.E., J.R. DALEY & S. JASPAR, 1977: Use of Nuclepore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. *Appl. Environ. Microbiol.*, **33**: 1225-1228.
- HONJO, S., & S. MAGANINI, 1993: Annual biogenic particle fluxes to the interior of the North Atlantic Ocean; studied at 34°N 21°W and 48°N 21°W. *Deep-Sea Res.*, **40**: 587-607.
- HOLZAPFEL-PSCHORN, A., U. OBST & K. HABERER, 1987: Sensitive methods for the determination of microbial activities in water samples using fluorogenic substrates. *Fresenius Z. Anal. Chem.*, **327**: 521-523.
- HOPPE, H.G., 1976: Determination and properties of actively metabolizing heterotrophic bacteria in the sea, investigated by means of micro-autoradiography. *Mar. Biol.*, **36**: 291-302.
- HOPPE, H.-G., 1983: Significance of exoenzymatic activities in the ecology of brackish water: measurements by means of methylumbelliferyl-substrates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **11**: 299-308.

- HOPPE, H.-G., 1991: Microbial extracellular enzyme activity: a new key parameter in aquatic ecology. In: *Microbial enzymes in aquatic environments*. Chrost, R.J. (ed.), Springer Verlag, pp. 60-83.
- HUMBLE, M.W., A. KING & I. PHILIPS, 1977: API ZYM: a simple rapid system for the detection of bacterial enzymes. *J. Clin. Pathol.*, **30**: 275-277.
- JGOFS (1990): Core measurement protocols. Reports of the core measurement working groups. JGOFS-Report No. 6, Kiel, JGOFS-Büro.
- KÖSTER, M., P. JENSEN & L.-A. MEYER-REIL, 1991: Hydrolytic activity of organisms and biogenic structures in deep-sea sediments. In: *Microbial enzymes in aquatic environments*. Chrost, R.J. (ed.), Springer Verlag, pp. 298-310.
- LOCHTE, K., 1992: Bacterial standing stock and consumption of organic carbon in the benthic boundary layer of the abyssal North Atlantic. In: *Deep-sea food chains and the global carbon cycle*. G.T. ROWE & V. PARIENTE (eds.), Cluever Academic Publishers. 1-10.
- MEYER-REIL, L.-A., 1990: Microorganisms in marine sediments: considerations concerning activity measurements. *Arch. Hydrobiol. Beih.*, **34**: 1-6.
- MORIARTY, D.J.W., 1984: Measurements of bacterial growth rates in some marine systems using the incorporation of tritiated thymidine into DNA. In: *Heterotrophic activity in the sea*. HOBIE, J.E. & WILLIAMS, P.J.Leb. (eds.), Plenum Publishing Corp., N.Y., 217-231.
- POREMBA, K., 1994a: Simulated degradation of phytodetritus in deep-sea sediments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **105**: 291-299.
- POREMBA, K., 1994b: Measurement of enzymatic activity in deep marine sediments using the semiquantitative APIzym test system. *Acta hydrochim. hydrobiol.*, **22**: 166-170.
- POREMBA, K., 1994c: Impact of pressure on bacterial activity in water columns situated at the European continental margin. *Neth. J. Sea Res.*, **33**: 29-35.
- POREMBA, K., 1995: Hydrolytic enzymatic activity in deep-sea sediments. *FEMS Microbiology Ecology*, **16**: 213-222.
- POREMBA, K., & H.G. HOPPE, 1995: Spatial variation of benthic microbial production and hydrolytic enzymatic activity along the continental slope of the Celtic Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **118**: 237-245.
- REIMERS, C.E., R.A. JAHNKE & D.C. MCCORKLE, 1992: Carbon fluxes and burial rates over the continental slope and rise off central California with implications for the global carbon cycle. *Global Biogeochem.*, **6**: 199-224.
- RICE, A.L., D.S.M. BILLET, F. FRY, A.W.G. JOHN, R.S. LAMPITT, R.F.F. MANTOURA & R.J. MORRIS, 1986: Seasonal deposition of phytodetritus to the deep-sea floor. *Proc. R. Soc. Edinburgh*, **88B**: 265-279.

- SERVAIS, P., 1992: Bacterial production measured by ^3H -thymidine and ^3H -leucine incorporation in various aquatic ecosystems. Arch. Hydrobiol. Beih. Ergeb. Limnol., 37: 73-81.
- SIMON, H., & F. AZAM, 1989: Protein content and protein synthesis rates of planktonic marine bacteria. Mar. Ecol. Prog. Ser., 51: 201-213.
- WALSH, J.J., 1991: Importance of continental margins in the marine biogeochemical cycling of carbon and nitrogen. Nature (Lond.), 350: 53-55.
- ZIMMERMANN, R., & L.-A. MEYER-REIL, 1974: A new method for fluorescence staining of bacterial populations on membrane filters. Kieler Meeresforsch., 30: 24-27.

7. BIOTRANS/BIO-C-FLUX-PUBLIKATIONSLISTE

Die Publikationen aus den BIOTRANS-/BIO-C-FLUX-Vorhaben wurden fortlaufend nummeriert und mit der Kennung „BIOTRANS Nr. #“ versehen.

BIOTRANS Nr. 1

THIEL, H., & Fahrtteilnehmer, 1986: 1. Fahrtabschnitt Bremerhaven - Vigo/Las Palmas (ANT-IV/1a). In: D. FÜTTERER (Hrsg.): Die Expedition Antarktis-IV mit FS "POLARSTERN" 1985/1986. Ber. Polarforsch., 32: 9-42.

BIOTRANS Nr. 2

LOCHTE, K., & O. PFANNKUCHE, 1987: Cyclonic cold core eddy in the eastern North Atlantic. II. Nutrients, phytoplankton and bakterioplankton. Mar. Ecol. Prog. Ser., 30: 153-164.

BIOTRANS Nr. 3

BECKMANN, W., A. AURAS & Ch. HEMLEBEN, 1987: Cyclonic cold core eddy in the eastern North Atlantic. III. Zooplankton. Mar. Ecol. Prog. Ser., 30: 165-173.

BIOTRANS Nr. 4

BECKMANN, W., 1988: The zooplankton community of the deep bathyal and abyssal zones of the eastern North Atlantic: Preliminary results and data lists from MOCNESS trawls during cruise 08 of RV "POLARSTERN". Ber. Polarforsch., 42: 57pp.

BIOTRANS Nr. 5

GOODAY A.J. (1988): A response by benthic foraminifera to the deposition of phytodetritus in the deep-sea. Nature, 332: 70-73.

BIOTRANS Nr. 6

TURLEY, C.M., K. LOCHTE & D.J. PATTERSON, 1988: A barophilic flagellate isolated from 4500m in the mid-North Atlantic. *Deep-Sea Res.*, **35**: 1079-1092.

BIOTRANS Nr. 7

LOCHTE, K., & C.M. TURLEY, 1988: Bacteria and cyanobacteria associated with phytodetritus in the deep sea. *Nature*, **333**: 67-69.

BIOTRANS Nr. 8

RIEMANN, F. (1989): Gelatinous phytoplankton detritus aggregates on the Atlantic deep-sea bed. Structure and mode of formation. *Mar. Biol.*, **100**: 533-539.

BIOTRANS Nr. 9

PFANNKUCHE, O., K. LOCHTE & H. THIEL, 1988: Sedimentation of spring phytodetritus to the deep-sea floor. *EOS*, **69**: 1117.

BIOTRANS Nr. 10

CARTWRIGHT N.G., A.J. GOODAY & A.R. JONES, 1989: The morphology, internal organization, and taxonomic position of *Rhizammina algaeformis*, a large, agglutinated deep-sea foraminifer. *J. Foraminif. Res.*, **19**: 115-125.

BIOTRANS Nr. 11

STIENEN, C., W. BECKMANN & B. ZEITZSCHEL, 1988: Patterns of a spring mass-sedimentation. *EOS*, **69**: 1117.

BIOTRANS Nr. 12

LOCHTE, K., 1989: Bakterielle Aktivität in der Tiefsee. *Ber. Inst. f. Meereskunde, Kiel*, **188**: 64-76..

BIOTRANS Nr. 13

CHRISTIANSEN, B., 1989: *Acantheephyra* sp. (Crustacea: Decapoda) in the eastern Mediterranean Sea captured by baited traps. *Senckenbergiana marit.*, **20**: 187-193.

BIOTRANS Nr. 14

TURLEY, C.M., & K. LOCHTE, 1990: Microbial response to the input of fresh detritus to the deep-sea bed. In: *Geochemical variability in the oceans, ice and sediments*. L.D. LABEYRIE & C. JEANDEL (eds), *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. (Global Planet. Change Section)*, **89**: 3-23.

BIOTRANS Nr. 15

STIENEN, C., & W. BECKMANN, 1989: Partikelfluß im Nordatlantik bei 47°N/20°W (JGOFS Station). In: *Partikelfluß und Kohlenstoffkreislauf im Ozean*. W.H. BERGER & G.

WEFER (eds), Berichte Fachber. Geowissenschaften Univ. Bremen, ISSN 0931- 0800, **6**: 20-25.

BIOTRANS Nr. 16

THIEL, H., O. PFANNKUCHE, G. SCHRIEVER, K. LOCHTE, A.J. GOODAY, CH. HEMLEBEN, R.F.G. MANTOURA, C.M. TURLEY, J.W. PATCHING & F. RIEMANN, 1988/89: Phytodetritus on the deep-sea floor in a central oceanic region of the Northeast Atlantic. Biol. Oceanogr., **6**: 203-239.

BIOTRANS Nr. 17

CHRISTIANSEN, B., O. PFANNKUCHE & H. THIEL, 1990: Vertical distribution and population structure of the necrophagous amphipod *Eurythenes gryllus* Lichtenstein in the benthic boundary layer of the West European Basin. Mar. Biol. Prog. Ser., **66**: 35-45.

BIOTRANS Nr. 18

GOODAY, A., 1990: *Tinogullmiariemanni* sp. nov. (Allogromiina, Foraminiferida), a new species associated with organic detritus in the deep sea. Bull. Br. Mus. Nat. Hist. (Zool.), **56**: 93-103.

BIOTRANS Nr. 19

LOCHTE, K., 1990: Protozoa as makers and breakers of marine aggregates. In: Protozoa and their role in marine processes. P.C. REID (ed.), NATO ASI Ser. G25, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.: 327-346.

BIOTRANS Nr. 20

CHRISTIANSEN, B., & H. THIEL, 1991: Deep-sea epibenthic megafauna of the Northeast Atlantic: Abundance and biomass at three mid-oceanic locations estimated from photographic transects. In: Deep-sea food chains the global carbon cycle. G. ROWE & V. PARIENTE (eds), NATO ASI Series, Kluwer Publ.: 125-138..

BIOTRANS Nr. 21

PFANNKUCHE, O., 1991: Organic carbon flux through the benthic community in the temperate abyssal Northeast Atlantic. In: Deep-sea food chains the global carbon cycle. G. ROWE & V. PARIENTE (eds), NATO ASI Series, Kluwer Publ.: 183-198.

BIOTRANS Nr. 22

LOCHTE, K., 1991: Bacterial standing stock and consumption of organic carbon in the benthic boundary layer of the abyssal North Atlantic. In: Deep-sea food chains the global carbon cycle. G. ROWE & V. PARIENTE (eds), NATO ASI Series, Kluwer Publ.: 1-10.

BIOTRANS Nr. 23

GOODAY, A., 1991: Xenophyophores (Protista, Rhizopoda) in box core samples from the abyssal northeast Atlantic Ocean (BIOTRANS Area); their taxonomy, morphology and ecology. J. Foraminiferal Res., **21**: 197-212.

BIOTRANS Nr. 24

PFANNKUCHE, O., & K. LOCHTE, 1993: Open ocean pelago-benthic coupling: Cyanobacteria as tracers of dedimenting salp faeces. *Deep-Sea Res. I*, **40**: 727-737.

BIOTRANS Nr. 25

KOPPELMANN, R., & H. WEIKERT, 1993: Full-depth zooplankton profiles over the deep bathyal of the NE Atlantic. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **86**: 263-272.

BIOTRANS Nr. 26

PFANNKUCHE, O., 1993: Benthic response to the sedimentation of particulate organic matter at the BIOTRANS station, 47°N, 20°W. *Deep-Sea Res. I*, **40**: 135-149.

BIOTRANS Nr. 27

BOETIUS, A., 1994: Microbial hydolytic enzyme activities in deep-sea sediments. *Helgoländer Meereswissenschaftliche Untersuchungen*, **49**: 177-187.

BIOTRANS Nr. 28

CHRISTIANSEN, B., & S. DIEL-CHRISTIANSEN, 1993: Respiration of lysianassoid amphopods in a subarctic fjord and some implications on their feeding ecology. *Sarsia*, **78**: 9-15.

BIOTRANS Nr. 29

CHRISTIANSEN, B., 1993: A television and photographic survey of megafaunal abundance in central Sognefjorden, western Norway. *Sarsia*, **78**: 1-8.

BIOTRANS Nr. 30

BOETIUS, A., & K. LOCHTE, 1994: Regulation of microbial enzymatic degradation of organic matter in deep-sea sediments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **104**: 299-307.

BIOTRANS Nr. 31

KOPPELMANN, R., 1994: Distribution and composition of gelatinous detrital material from closing net hauls in the NE Atlantic. *Mar. Biol.*, **118**: 755-759.

BIOTRANS Nr. 32

BETT, B.J., A. VANREUSEL, M. VINCX, T. SOLTWEDEL, O. PFANNKUCHE, P.J.D. LAMBSHEAD, A.J. GOODAY, T. FERRERO & A. DINET, 1994: Sampler bias in the quantitative study of deep-sea meiobenthos. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **104**: 197-203.

BIOTRANS Nr. 33

POREMBA, K., 1994: Simulated degradation of pytodetritus in deep sea sediments of the NE-Atlantic. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **105**: 291-299.

BIOTRANS Nr. 34

POREMBA, K., & K. JESKULKE, 1995: Microbial activity in the sediment of the Sognefjord (Norway). *Helgoländer Meeresunters.*, **49**: in press.

BIOTRANS Nr. 35

POREMBA, K., D. EARDLEY & J. PATCHING, 1994: Dynamics of microbial abundance and activity in deep-sea sediment of the temperate NE-Atlantic. *Microbiology Europe*, 2 : 22-25.

BIOTRANS Nr. 36

POREMBA, K., 1994: Measurement of enzymatic activity in deep marine sediments by the use of the semiquantitative APIZym test system. *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* 22 (4), 166-170.

BIOTRANS Nr. 37

POREMBA, K., 1994: Impact of pressure on bacterial activity in water columns situated at the European continental margin. *Neth. J. Sea Res.*, 33: 29-35.

BIOTRANS Nr. 38

POREMBA, K., & H.G. HOPPE, 1995: Spatial variation of benthic microbial production and hydrolytic enzymatic activity along the continental slope of the Celtic Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 118: 237-245.

Folgende Nummern sind bereits vergeben für in Vorbereitung befindliche Arbeiten:

BIOTRANS Nr. 39: SCHULZ & BECKMANN,

BIOTRANS Nr. 40: SOLTWEDEL, T., O. PFANNKUCHE & H. THIEL

SCHLUßFOLGERUNGEN

Die Tiefsee wurde lange Zeit als homogener Lebensraum angesehen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, daß die Tiefseefauna einer erheblichen räumlichen und zeitlichen Variabilität sogar in hochozeanischen Gebieten unterliegt. Innerhalb der benthischen Grenzschicht steigt die Biomasse deutlich zum Boden hin an. Dies weist auf eine erhöhte biologische Aktivität am Meeresboden hin. Saisonal variierende Sedimentationspulse organischer Substanz sind Hauptursachen für die zeitliche Variabilität der kleinen Benthosfraktion, wie Bakterien und Protozoen. Diese reagieren auf Nahrungszufuhr innerhalb weniger Tage. Die Bestände und Aktivitäten der größeren Meiofauna und Makrofauna sowie der Megafauna, des Planktons und des Nektons spiegeln im Wesentlichen den Gesamtkohlenstofffluß in die benthische Grenzschicht wider. Dies wird deutlich an den Unterschieden zwischen den Untersuchungsstationen. Die Zusammensetzung und die relative Bedeutung dieser faunistischen Gruppen ist weiterhin durch die Art des POC Flusses sowie die Sedimentcharakteristik bestimmt. Der Gesamtkohlenstoffbedarf der benthischen Grenzschicht kann nicht von dem Kohlenstofffluß gedeckt werden, der in Sedimentfallen gemessen wird. Es müssen deshalb zusätzliche Transportwege von organischer Substanz in die Tiefsee vorhanden sein. Die Nahrungsuntersuchungen an benthopelagischen Tiefseefischen deuten darauf hin, daß große Nahrungspartikel, z.B. tote Fische und Tintenfische, eine wichtige Rolle in der Ernährung der Tiefseefauna spielen können.

NACHWORT UND DANKSAGUNGEN

Der Abschlußbericht für das Forschungsvorhaben BIO-C-FLUX ist in gewisser Hinsicht auch Endbericht für das Vorläufer-Vorhaben BIOTRANS (MFU 0544/9, MFU 0572/1, MFU 0573/2: Biologischer Vertikaltransport und Energiehaushalt in der bodennahen Wasserschicht der Tiefsee). Darüber hinaus stellt dieser Bericht auch den Endbericht für die Arbeitsgruppe Benthos des Instituts für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft der Universität Hamburg dar, die im Wesentlichen Träger dieser Vorhaben gewesen ist. Während der Auslaufphase von BIO-C-FLUX und der Wartephase zwischen den Vorhaben DISCOL (MFU 03R3-89/-92/-92: Wiederbesiedlung nach der mechanischen Beeinflussung eines Mangan-Knollenfeldes in der Tiefsee des Süd-Pazifik) und ECOBENT (vorläufiges Aktenzeichen BEO/71/P-004: Benthosuntersuchungen im abysalen Ökosystem des Südost-Pazifiks) hat sich die Arbeitsgruppe aufgelöst.

BIOTRANS verfolgte insbesondere das Ziel, Strukturen und Prozesse von Tiefseelebensgemeinschaften zentraler Ozeanbereiche kennenzulernen, nachdem sich in den zwei vorhergehenden Dekaden die internationale Tiefseeforschung vorwiegend auf die Kontinentalhänge und auf die kontinentnahen Bereiche beschränkt hatte. Es war die Frage zu klären, inwieweit die erarbeiteten Ergebnisse auch auf die durch Sedimente bestimmten Lebensräume mittelozeanischer Regionen anwendbar sind.

Unklar war zu der Zeit auch, ob jahreszeitliche Änderungen, hauptsächlich der Produktion an der Meeresoberfläche, Auswirkungen auf die Prozesse am Tiefseeboden haben. Die Hypothese zeitlich gleichmäßiger Sedimentation feinkörnigen Materials mußte durch die ersten Ergebnisse aus Suspensionsfallen in Frage gestellt werden.

Regional wurde BIOTRANS mit dem Vorhaben NOAMP (Nordost Atlantik Monitoring Programm) zusammengebunden, das in einer größeren, über das BIOTRANS-Gebiet hinausreichenden Fläche hydrographische und geologische Untersuchungen durchführte. BIO-C-FLUX schoß räumlich, technisch und ideenmäßig an BIOTRANS an (s. auch dieser Bericht, 4.) um die Prozesse des Kohlenstoffumsatzes in der bodennahen Grenzschicht näher zu beschreiben (s. dieser Bericht, 1.).

BIOTRANS und BIO-C-FLUX haben in den verschiedenen Arbeitsbereichen zu prominenten Ergebnissen geführt, die in den Berichten zu diesen Vorhaben und in Publikationen dargestellt worden sind (s. dieser Bericht, 7.) Über die wissenschaftlichen Ergebnisse hinaus wurden auch nationale und internationale Entwicklungen in der biologischen Meereskunde durch BIOTRANS und BIO-C-FLUX stimuliert. Als 1988 die internationalen JGOFS-Untersuchungen geplant wurden, wurde ein zentral-ozeanischer Schnitt auf 20°W mit der Zentralstation in 47° gelegt. Diese Station liegt an der westlichen Grenze des BIOTRANS-Gebietes, und die Wahl fiel wegen der bereits breiten Kenntnisse aus dem BIOTRANS-Vorhaben auf diese Station.

Verbunden mit BIOTRANS und BIO-C-FLUX waren die EU-Vorhaben MAST I (Natural variability and the prediction of change in marine benthic ecosystems) und MAST II (Community structure and processes in the deep-sea benthos). Die EU-Projekte OMEX (Ocean Margin Exchange) und das für MAST III bewilligte Vorhaben BENGAL (High resolution temporal and spatial study of the Benthic biology and Geochemistry of a north-eastern Atlantic abyssal Locality) bauen auf den Ergebnissen auf und schließen Mitarbeiter aus

BIO-C-FLUX ein. Auch die beginnenden nationalen und europäischen Förderungen der Tiefseeforschung lassen sich zum Teil auf BIOTRANS und BIO-C-FLUX und die damit verbundenen Aktivitäten der Mitarbeiter in diesen Vorhaben zurückführen.

Die Kerngruppe dieser Vorhaben war an der Universität Hamburg im Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft lokalisiert, die zweite Gruppe bildeten Mitarbeiter des Instituts für Meereskunde an der Universität Kiel, Mikrobiologische Abteilung. Unser Dank gilt insbesondere dem Bundesministerium für Forschung und Technologie, heute Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, das die Forschungsvorhaben BIOTRANS und BIO-C-FLUX für mehr als 10 Jahre durch Personal- und Sachmittel gut gefördert hat. Dankbar sind wir den Mitarbeitern des Ministeriums für ihr Verständnis für die Probleme der Forschung an manchen Universitäten. Während dieses Zeitraumes konnten 17 Expeditionen mit den Forschungsschiffen METEOR (alt), METEOR (neu), POLARSTERN, VALDIVIA und ALKOR durchgeführt werden. Insgesamt wurden aus den Mitteln des Ministeriums 21 Wissenschaftler und Techniker für mehrere Jahre, zum Teil über den gesamten Zeitraum finanziert. Besonders hervorzuheben ist, daß für BIOTRANS und BIO-C-FLUX ein Ingenieur eingestellt werden konnte, mit dessen Arbeit die Entwicklungen und Anpassungen von Geräten und deren Einsatz gesichert werden konnte. Die biologisch orientierten Arbeiten haben dadurch erheblich an Effizienz und an Umfang bei den Ergebnissen gewonnen.

Nachteilig für die Publikation von Ergebnissen hat sich das umfangreiche Antrags- und Berichtswesen ausgewirkt. Mit dieser Bemerkung wollen wir nicht die Erfordernis dieser Anteile von Forschungsvorhaben in Frage stellen, aber die Diskussion dahingehend anregen, daß die Berichterstattung zugunsten von Publikationen und solchen Tätigkeiten verringert wird, die der Qualifikation des Nachwuchses dienen. Wir sind uns der Problematik dieser Anregung bewußt, aber die derzeitige Praxis wirkt sich besonders negativ auf kleine Arbeitsgruppen ohne adäquate Grundausrüstung aus. In diesem Zusammenhang danken wir dem Ministerium für die - leider erfolglosen - Versuche, die Hamburger Arbeitsgruppe zu stabilisieren.

Dankbar sind wir auch den Universitäten Hamburg und Kiel, die durch anteilige Finanzierung von Grundausrüstung (Personal- und Sachmittel) sowie durch Hilfe bei der Verwaltung der vom Ministerium zur Verfügung gestellten Mittel die Vorhaben unterstützt haben. Der Mangel an adäquater Grundausrüstung am Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft und die Ablehnung ihrer Ergänzung aus hamburgischen Haushaltsmitteln haben dazu geführt, daß das Ministerium die Förderung eingestellt hat und die Mitarbeiter der Benthos-Arbeitsgruppe sich anderen Instituten angeschlossen haben oder in die Privatwirtschaft abgewandert sind. Die in Hamburg über viele Jahre aufgebaute biologische Tiefseeforschung wird nun in Kiel und Bremerhaven und sogar privatwirtschaftlich fortgeführt.

Weiterhin gilt unser Dank folgenden Institutionen und Personen:

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft stellte Schiffskapazitäten auf dem Forschungsschiff METEOR, die Universität Hamburg auf dem Forschungsschiff VALDIVIA und das Institut für Meereskunde auf dem Forschungsschiff ALKOR für das BIO-C-FLUX-Vorhaben zur Verfügung.

Die Schiffsbesatzungen dieser Forschungsschiffe halfen, unsere Arbeiten auf See zum Erfolg zu führen.

Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie unterstützte uns bei der Reproduktion von Kartenmaterial des Arbeitsgebietes und stellte Geräte für sedimentologische Untersuchungen zur Verfügung.

Die technischen Angestellten des Projekts B. Berghahn, K. Behrens, G. Gauger, K. Jeskulke, K. Lampe, V. Nuppenau und S. Peter trugen besonders auf den Schiffsreisen durch ihre große Einsatzbereitschaft zum Erfolg von BIO-C-FLUX bei.

Herr M. Regier stand uns in allen EDV-Fragen beratend zur Seite und entwickelte ein Programmpaket zur Labordatenauswertung.

Wir danken ferner allen studentischen Hilfskräften, ohne deren Einsatz die Durchführung der Expeditionen und das Sortieren des biologischen Probenmaterials nicht möglich gewesen wären.

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

Abbildung 1: Untersuchungsgebiete des BIO-C-FLUX-Projekts im NO-Atlantik.	10
Abbildung 2: Das IHF-Freifall-Langleinensystem	13
Abbildung 3: Vertikalverteilung der Zooplanktonbiomasse im BIOTRANS-Gebiet.	16
Abbildung 4: Vertikalverteilung der Zooplanktonabundanz im BIOTRANS-Gebiet.	17
Abbildung 5: Relative Anteile der wichtigsten taxonomischen Gruppen an der Gesamtindividuenzahl.	18
Abbildung 6: Verteilung des Zooplanktonbestandes (Biomasse/Naßgewicht).	20
Abbildung 7: Verteilung des Mikronektonbestandes im BIOTRANS-Gebiet (Biomasse/Naßgewicht).	20
Abbildung 8: Verteilung des Amphipodenbestandes (Biomasse/Naßgewicht)	23
Abbildung 9 a, b: Verteilung des Bestandes von <i>Eurythenes gryllus</i> (Biomasse/Naßgewicht). a) 0-500m b) 0-100 m	24
Abbildung 10: Relative Anteile der Großgruppen an der Gesamtbio­masse	25
Abbildung 11: Relative Anteile der Großgruppen am Kohlenstoffbedarf	25
Abbildung 12: Biomasse und Kohlenstoffbedarf der benthopelagischen Fauna im Island-Becken und im BIOTRANS-Gebiet. Die Pfeile geben nicht die tatsächlichen Wege des Kohlenstoffflusses an, sondern veranschaulichen nur die Menge des verbrauchten C im Verhältnis zum Eintrag. Zahlen unter den Gruppen: auf Kohlenstoff bezogene Biomassebestände in mg m^{-2} . Zahlen unter den Pfeilen: respiratorischer Kohlenstoffbedarf in $\mu\text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$.	26
Abbildung 13: Relative Zusammensetzung der benthopelagischen Fischfauna im Island-Becken und im BIOTRANS-Gebiet.	28

- Abbildung 14: Nahrung von *Histiobranchus bathybius* im Island-Becken. NG: Relative Anteile am Gesamtnaßgewicht. NG def: Relative Anteile am Naßgewicht der bestimmmbaren Nahrung. AB: relative Anteile an der Gesamtzahl der bestimmmbaren Nahrungsorganismen. RP: Relative Präsenz. 29
- Abbildung 15: Nahrung von *Nematomurus armatus* bis 30cm im Island-Becken. 30
- Abbildung 16: Nahrung von *Nematomurus armatus* über 30cm im Island-Becken. 30
- Abbildung 17: Nahrung von *Nematomurus armatus* im BIOTRANS-Gebiet. 31
- Abbildung 18: Nahrung von *Chalimura leptolepis* im Island-Becken. 31
- Abbildung 19: Nahrung von *Chalimura leptolepis* im BIOTRANS-Gebiet. 32
- Abbildung 20: Karte der Untersuchungsstationen der NABE-Studie im Nordatlantik. Die BIO-C-FLUX-Stationen sind mit einer Raute gekennzeichnet. (a) maximale Durchmischungstiefen durch die Winterkonvektion; (b) geschätzte Winterwerte der Nitratkonzentration im Epipelagial in $\mu\text{Mol/l}$. Karte aus DUCKLOW & HARRIS (1993). 37
- Abbildung 21 a-c: (A) Korngrößenanteile der Fraktionen $\geq 63\mu\text{m}$; (B) Korngrößenanteile der Fraktionen $\leq 63\mu\text{m}$; (C) Wassergehalte in % an den Sedimenten der Untersuchungsstationen. 39
- Abbildung 22 a, b: Vertikalprofile von Chlorophyll *a* (A) und Phäopigment *a* (B) in den Sedimenten der Untersuchungsstationen. 41
- Abbildung 23 a-c: Abundanz der Makrofauna (A), größeren Meiofauna ($\geq 0,5\text{mm}$, B) und Meiofauna ($\leq 0,5\text{mm}$, C) an den untersuchten Stationen. 42
- Abbildung 24 a, b: Prozentuale Häufigkeit der wesentlichen Metazoen-Taxa der Makrofauna (A) und größeren Meiofauna (B). 43
- Abbildung 25 a-c: Anteile von Protozoa und Metazoa an der Makrofauna, größeren Meiofauna und der Meiofauna $\leq 0,5\text{mm}$ im Island-Becken (A), BIOTRANS-Gebiet (B) und Madeira-Becken (C). 44
- Abbildung 26: Prozentuale Häufigkeit der wesentlichen Metazoen-Taxa der Meiofauna 0,03-0,5mm. 46

- Abbildung 27 a-c: Vertikalprofile der Verteilung von Nematoda (A), Foraminifera (B) und Harpacticoidea und Nauplii (C) an den untersuchten Stationen. 47
- Abbildung 28: Vertikalprofile der Verteilung von Gesamtadenylat an den untersuchten Stationen. 48
- Abbildung 29: Vertikalprofile von Proteinen an den untersuchten Stationen. 48
- Abbildung 30: Vertikalprofile von Proteinen nach 1 Hydrolyse und 6 Hydrolysen im Sediment des BIOTRANS-Gebiet. 49
- Abbildung 31: Vertikalprofile der ETS Aktivität an den untersuchten Stationen. 50
- Abbildung 32: Vertikalprofile des ATP-Gehalts an den untersuchten Stationen. 50
- Abbildung 33: Profile der Umsatzraten von Fluoresceindiacetat (FDA) zur Bestimmung der Aktivität von Exoenzymen an den untersuchten Standardstationen sowie einer Station auf dem Porcupine Abyssal Plain in 49°N, 16°30'W. 51
- Abbildung 34: Saisonaler Verlauf der Sedimentation von POM nach Sinkstoffallenergebnissen, Chlorophyll α Gehalt im Sediment und benthischer Biomasse (Gesamtadenylate, Bakterienbiomasse, Nematodenbiomasse) im BIOTRANS-Gebiet. 58
- Abbildung 35: Positionen der Multicorer im Transponderfeld bei 47°10'N/19°35'W (Kreuz = Transponderfeldmittelpunkt). 59
- Abbildung 36: Konzentrationen von Chlorophyll α -Äquivalenten im Sediment (Sedimenttiefe bis 10cm; horizontale Balken = 95% Signifikanzbereich; n = Anzahl der Stichproben; I = integrierter Wert für den Sedimenthorizont 0 - 5cm). 60
- Abbildung 37: Chlorophyll a und Phaeopigmentkonzentration im späten Juli 1986 im Vergleich zum frühen August 1992. Für die Kurve aus 1992 wurden Maximum-Werte zu Grunde gelegt. 62
- Abbildung 38: Potentielle hydrolytische Aktivität im Sediment, gemessen mit Fluoresceindiacetat (Sedimenttiefe bis 10cm; horizontale Balken = 95% Signifikanzbereich; n = Anzahl der Stichproben; I = integrierter Wert für den Sedimenthorizont 0 - 5cm) 63

- Abbildung 39: Konzentrationen von Gesamtadenylat (ATP+ADP+AMP) als Maß für benthische Biomasse im Sediment (Sedimenttiefe bis 10cm; horizontale Balken = 95% Signifikanzbereich; n= Anzahl der Stichproben; I = integrierter Wert für den Sedimenthorizont 0 - 5cm). Gestrichelte Linien = Werte vom März 1985 ohne vorhergegangene Deposition von Phytodetritus. 64
- Abbildung 40: Konzentrationen von Phospholipiden als Maß für bakterielle Biomasse im Sediment (Sedimenttiefe bis 10cm; horizontale Balken = 95% Signifikanzbereich; n= Anzahl der Stichproben; I = integrierter Wert für den Sedimenthorizont 0 - 5cm). 65
- Abbildung 41: Produktion von β -Glucosidase in mit sterilem Phytodetritus (Konzentrationen 15 $\mu\text{mol C}_{\text{org}}$, 26 $\mu\text{mol C}_{\text{org}}$) inkubierten Sedimentproben bei *in situ*-Druck und -Temperatur; Inkubationszeitraum 15 Tage. 66
- Abbildung 42: Hypothetischer Verlauf benthischer Reaktionen auf Sedimentationsereignisse. Die Amplitude der Reaktion ist von der Menge des biologisch leicht abbaubaren Materials abhängig. (POM = particulate organic matter). 67
- Abbildung 43: Konzentrationen von Chlorophyll α -Äquivalenten im Sediment im Februar 1994 im Vergleich zu Werten aus 1992 (Sedimenttiefe bis 10cm; horizontale Balken = 95% Signifikanzbereich; n = Anzahl der Stichproben; I = integrierter Wert für den Sedimenthorizont 0 - 5cm). 71
- Abbildung 44: Potentielle hydrolytische Aktivität im Sediment 72
- Abbildung 45: Das OMEX-Transekt über den Goban Spur Kontinentalhang (Keltische See). 74
- Abbildung 46: Korngrößen (Median-Werte) und Wassergehalte der Sedimente auf dem Goban Spur Transekt (Stationen der METEOR-Expedition M30/1). 77
- Abbildung 47: Temperaturen ($^{\circ}\text{C}$) und Salinitäten (‰) im bodennahen Wasser auf dem Goban Spur Transekt während der DARWIN- und PELAGIA-Expeditionen im Frühjahr/Sommer 1994 und im Herbst 1993. 78
- Abbildung 48: Sauerstoffkonzentrationen ($\mu\text{mol O}_2/\text{l}$) im bodennahen Wasser auf dem Goban Spur Transekt im Frühjahr/Sommer 1994 und im Herbst 1993 und 1994. 78
- Abbildung 49: Gesamtadenylate und heterotrophe Aktivität (FDA turnover) im obersten Zentimeter der Sedimente auf dem Goban Spur Transekt (Stationen der METEOR-Expedition M30/1). 79

Abbildung 50: Pigmentgehalte und partikuläre Proteine im obersten Zentimeter der Sedimente auf dem Goban Spur Transekt (Stationen der METEOR-Expedition M30/1).	79
Abbildung 51: Chloroplastische Pigmente (CPE) und heterotrophe Aktivität (FDA turnover) in den oberen 10cm der Sedimente auf dem Goban Spur Transekt (Stationen der PELAGIA-Expedition im Oktober 1993).	81
Abbildung 52: Chloroplastische Pigmente im obersten Zentimeter der Sedimente auf verschiedenen Wassertiefenhorizonten auf dem Goban Spur Transekt zwischen April und Oktober.	82
Abbildung 53: Zeitliche Entwicklung der Pigment-Konzentrationen im obersten Zentimeter der Sedimente auf dem Goban Spur Transekt zwischen April und Oktober.	83
Abbildung 54: Bakterienbiomasse im Sediment der BIOTRANS-Station im März und August 1992 sowie im Januar 1994.	89
Abbildung 55: Veränderung der potentiellen Aktivität verschiedener hydrolytischer Enzyme im 0-1cm Horizont des Sedimentes entlang des Europäischen Kontinentalhanges bei Goban Spur.	91

LIST OF FIGURES

Figure 1: Investigation areas in the NE Atlantic sampled during the BIO-C-FLUX Project.	10
Figure 2: The IHF free vehicle long line system	13
Figure 3: Vertical distribution of zooplankton biomass in the BIOTRANS area.	16
Figure 4: Vertical distribution of zooplankton abundance in the BIOTRANS area.	16
Figure 5: The most important taxonomic groups and their proportional contribution to the total number of individuals.	17
Figure 6: Distribution of zooplankton standing stock (biomass/wet weight).	19
Figure 7: Distribution of micronekton standing stock in the BIOTRANS area (biomass/wet weight).	19
Figure 8: Distribution of amphipoda standing stock (biomass/wet weight).	22
Figure 9 a, b: The distribution of <i>Eurythenes gryllus</i> (biomass/wet weight. a) 0-500m above ground, b) 0-100m above ground.	23
Figure 10: Proportional contributions of the large faunal groups to the total biomass.	24
Figure 11: Proportional contributions of the large faunal groups to the carbon consumption.	24
Figure 12: Biomass and carbon consumption of the benthopelagic fauna in the Iceland Basin and in the BIOTRANS-area. The arrows do not indicate the actual pathways of carbon flux but illustrate the relation between total carbon consumption and carbon import.	

Numbers below faunal groups: biomass standing stock in terms of carbon in mg m^{-2} .
 Numbers below arrows: respiratory carbon consumption in $\mu\text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$.

25

Figure 13: Relative composition of the benthopelagic fish fauna in the Iceland Basin and in the BIOTRANS area. 27

Figure 14: Diet of *Histiobranchus bathybius* in the Iceland Basin. NG: proportional share to total wet weight. NG def: proportionals share to wet weight of the identifiable food. AB: proportional share to the total number of identifiable food organism. RP: proportional presence. 29

Figure 15: Diet of *Nematonurus armatus* \leq to 30cm in the Iceland Basin. 30

Figure 16: Diet of *Nematonurus armatus* > 30cm in the Iceland Basin. 30

Figure 17: Diet of *Nematomurus armatus* in the BIOTRANS area. 31

Figure 18: Diet of *Chalinura leptolepis* in the Iceland Basin. 31

Figure 19: Diet of *Chalinura leptolepis* in the BIOTRANS area. 32

Figure 20: Map of sampling stations during the NABE study in the N Atlantic. The BIO-C-FLUX stations are marked by a rhombus. (a) maximum depth of water body mixed by winter convection; (b) estimated winter values of nitrate concentration ($\mu\text{MOL/l}$) in the epipelagial. Map quoted from DUCKLOW & HARRIS (1993). 37

Figure 21 (a-c): (A) Proportion of grain size $\geq 63\mu\text{m}$; (B) proportion of grain size $\leq 63\mu\text{m}$; water contents in % in the sediments at the sampled stations. 39

Figure 22 a, b: Vertical profiles of Chlorophyll *a* (A) and Phaeopigment *a* (B) in the sediments at the sampled stations. 41

Figure 23 a-c: Abundance of macrofauna (A), larger meiofauna ($\geq 0.5\text{mm}$, B), and meiofauna ($\leq 0.5\text{mm}$, C) at the sampled stations. 42

Figure 24 a, b: Relative abundance of the main metazoan taxa of macrofauna (A) and larger meiofauna (B). 43

Figure 25 a-c: Proportion of Protozoa and Metazoa in the macrofauna, larger meiofauna and meiofauna $\leq 0.5\text{mm}$ in the Iceland Basin (A), BIOTRANS area (B) and Madeira Basin (C). 44

Figure 26: Relative abundance of the main metazoan taxa of the meiofauna sized 0.03-0.5mm. 46

Figure 27 a-c: Vertical distribution of Nematoda (A), Foraminifera (B) and Harpactioidea and Nauplii (C) at the sampled stations. 47

Figure 28: Vertical profile of total adenylates at the sampled stations. 48

Figure 29: Vertical profile of protein at the sampled stations. 48

Figure 30: Vertical profiles of proteins after one hydrolysatation and after 6 hydrolysatations in sediments from the BIOTRANS area. 49

Figure 31: Vertical profile of ETS activity in sediments from the sampled stations. 50

Figure 32: Vertical profile of ATP contents in sediments from the sampled stations. 50

Figure 33: Profiles of turnover rates of Fluoresceindiacetat (FDA) applied to evaluate the exoenzymatic activity at the sampled standard stations as well as at a station on the Porcupine Abyssal Plain in 49°N , $16^{\circ}30'\text{W}$. 51

- Figure 34: Seasonality in the course of the sedimentation of POM according to particle sink traps records, Chlorophyll *a* contents in the sediments, and benthic biomass (total adenylates, bacterial biomass, Nematoda biomass) in the BIOTRANS area. 58
- Figure 35: Positions of multiple corer deployments in the transponder field at 47°10'N/19°35'W (cross = central point of transponder field). 59
- Figure 36: Concentration of Chlorophyll *a*-equivalents in sediments (sediment depth down to 10cm; the horizontal lines give the confidence limits at the 95% probability level; *n* = number of samples per data point; $\Sigma 0-5\text{cm}$ = integrated values over the reactive 0 - 5 cm sediment layer). 60
- Figure 37: Concentrations of Chlorophyll *a* und Phaeopigments during late July 1986 as compared to early August 1992. The 1992 curve was based on maximum values. 62
- Figure 38: Potential hydrolytical activity in sediments measured using Fluoresceindiacetat (sediment depth down to 10cm; the horizontal lines give the confidence limits at the 95% probability level; *n* = number of samples per data point; $\Sigma 0-5\text{cm}$ = integrated values over the reactive 0 - 5 cm sediment layer). 63
- Figure 39: Concentrations of total adenylates (ATP+ADP+AMP) used as measure for the benthic biomasse in sediments (sediment depth down to 10cm; the horizontal lines give the confidence limits at the 95% probability level; *n* = number of samples per data point; $\Sigma 0-5\text{cm}$ = integrated values over the reactive 0 - 5 cm sediment layer). Dashed lines = values from March 1985 without preceding deposition of phytodetritus. 64
- Figure 40: Concentrations of phospholipids used as measure of bacterial biomass in sediments (sediment depth down to 10cm; the horizontal lines give the confidence limits at the 95% probability level; *n* = number of samples per data point; $\Sigma 0-5\text{cm}$ = integrated values over the reactive 0 - 5 cm sediment layer). 65
- Figure 41: Production of β -Glucosidase in sediment samples incubated with sterile phytodetritus (concentrations 15 $\mu\text{mol Corg}$, 26 $\mu\text{mol Corg}$) at *in situ* pressure and temperature; period of incubation: 15 days. 66
- Figure 42: Hypothetical course of benthic reactions to sedimentation events. The amplitude of reaction depends on the availability of material which is biologically easy to be decomposed. (POM = particulate organic matter). 67
- Figure 43: Concentration of Chlorophyll *a* equivalents in sediments during February 1994 as compared to values from 1992 (sediment depth down to 10cm; the horizontal lines give the confidence limits at the 95% probability level; *n* = number of samples per data point; $\Sigma 0-5\text{cm}$ = integrated values over the reactive 0 - 5 cm sediment layer). 71
- Figure 44: Potential hydrolytical activity in sediments. 72
- Figure 45: OMEX transect across Goban Spur continental slope (Celtic Sea). 74
- Figure 46: Grain sizes (medians) and water contents in sediments from the Goban Spur transect (stations sampled during METEOR cruise M30/1). 77
- Figure 47: Temperatures (°C) and salinities (‰) in the near-bottom water layer of the Goban Spur transect measured during the DARWIN and PELAGIA cruises in spring/summer 1994 and autumn 1993. 78
- Figure 48: Concentration of oxygen ($\mu\text{mol O}_2/\text{l}$) in the near-bottom water layer of the Goban Spur transect measured in spring/summer 1994 and autumn 1993 and 1994. 78

Figure 49: Total adenylates and heterotrophic activity (FDA turnover) in the topmost centimeter of the sediments from Goban Spur transect (stations sampled during METEOR cruise M30/1).	79
Figure 50: Contents of pigments and particulate protein in the topmost centimeter of the sediments from Goban spur transect (stations sampled during METEOR cruise M30/1).	79
Figure 51: Contents of chloroplastic pigments (CPE) and heterotrophic activity (FDA turnover) in the upper 10 cm of the sediments from Goban Spur transect (stations sampled during PELAGIA cruise in October 1993).	81
Figure 52: Contents of chloroplastic pigments in the topmost centimeter of sediments from different water depths from Goban Spur transect between April and October.	82
Figure 53: Temporal development of pigment concentrations in the topmost centimeter of sediments from Goban Spur transect between April and October.	83
Figure 54: Bacterial biomass in sediments from the BIOTRANS station in March and August 1992 and in January 1994.	89
Figure 55: Changes in the potential activity of different hydrolytical enzymes in the 0-1cm horizon of sediments from the European continental slope (Goban Spur).	91

VERZEICHNIS DER TABELLEN

Tabelle 1: Benthische <i>in situ</i> Respirationsraten (SCOC) in der östlichen Hälfte des Nordatlantiks zwischen 6° N und 68° N.	52
Tabelle 2: Chloroplastische Pigmentäquivalente (CPE = Summe Chlorophyll <i>a</i> + Phäopigmente), <i>in situ</i> Respirationsraten der benthischen Lebensgemeinschaft (SCOC = sediment community oxygen consumption), partikuläres Gesamtadenylat (Summe ATP+ADP+AMP) aus allen untersuchten Stationen in der Tiefsee des östlichen Nordatlantiks zwischen 6°N und 68°N.	52
Tabelle 3: Korrelationsmatrix (multiple Regression der Daten aus Tabelle 1 von chloroplastischen Pigmenten (CPE), Respirationsraten (SCOC), geographischer Breite, Wassertiefe und Gesamtadenylaten (* signifikant 1% Bereich, * signifikant 5% Bereich).	53
Tabelle 4: OMEX-Expeditionen zwischen 1988 und 1994; Expeditionsdaten, Anzahl der Stationen und Stationswassertiefen auf dem Goban Spur Kontinentalhang.	75
Tabelle 5: Biochemische Analysen zur Bestimmung der Aktivität und Biomasse der benthischen Lebensgemeinschaft sowie des Eintrages von Phytodetritus in das Benthos während der OMEX-Expeditionen zwischen 1988 und 1994.	76
Tabelle 6: Bakterienkonzentrationen, Produktion (+/- sd) und spezifische Wachstumsrate in Sediment-Kontakt-Wasser und im Sediment vom Europäischen Kontinentalhang bei Goban Spur.	90
Tabelle 7: Gesamtbakterienzahl (TBN) und mittleres Zellvolumen (MCV) in Wasserproben von Goban Spur und vom King Arthur Canyon.	93
Tabelle 8: Einfluß des Inkubationsdruckes auf die bakterielle Aktivität, gezeigt als Thymidin-Aufnahme +/- sd [10^{-15} Mol / h] bzw. die spezifische Aktivität [10^{-21} Mol / Zelle].	93

Tabelle 9: Einfluß des Inkubationsdruckes auf die bakterielle Aktivität, gezeigt als Leucin-Aufnahme +/- sd [10^{-15} Mol / h] bzw. die spezifische Aktivität [10^{-21} Mol / Zelle].	94
Tabelle 10: Einfluß der Sedimentverdünnung auf die Esterase-Aktivität [mMol / h] im 0-1cm Horizont von Sedimenten entlang eines Transektes über den Europäischen Kontinentalhang bei Goban Spur.	95

LIST OF TABLES

Table 1: Benthic <i>in situ</i> respiration rates (SCOC) in the eastern N Atlantic between 6°N and 68°N.	52
Table 2: Chloroplastic pigment equivalents (CPE = sum of Chlorophyll <i>a</i> + phaeopigments), <i>in situ</i> respiration rates of the benthic community (SCOC = sediment community oxygen consumption), total particulate adenylates (sum of ATP+ ADP + AMP) from all sampled stations in the deep sea of the NE Atlantic between 6°N and 68°N.	52
Table 3: Correlation matrix (multiple regression of dates from Table 1: chloroplastic pigments (CPE), respiration rates (SCOC), geographic latitude, water depth and total adenylates (**significant at the 1% level, * significant at the 5% level).	53
Table 4: OMEX expeditions between 1988 and 1994; cruise data, number of stations, and water depths at stations on the Goban Spur continental slope.	75
Table 5: Biochemical assays for the determination of the benthic community's activity and biomass, and of the import of phytodetritus into the benthos during the OMEX expeditions between 1988 and 1994.	76
Table 6: Estimates of bacterial densities, carbon production (+/- sd) and specific growth rates in the sediment contact water (SCW) and the sediment at Goban Spur.	90
Table 7: Total bacterial numbers (TBN) and mean cell volumes (MCV) in different water samples from Goban Spur and King Arthur Canyon.	93
Table 8: Influence of pressure on bacterial activity during incubation shown as TdR uptake activity +/- sd [10^{-15} Mol / h] and as per cell activity [10^{-21} Mol / Zelle].	93
Table 9: Influence of pressure on bacterial activity during incubation shown as Leucin uptake activity +/- sd [10^{-15} Mol / h] and as specific activity [10^{-21} Mol / Zelle].	94
Table 10: Influence of sediment dilution on esterase activity [mMol / h] in the horizon 0-1cm in sediments along a transect across the European continental slope (Goban Spur).	95