

Copyright ©

Es gilt deutsches Urheberrecht.

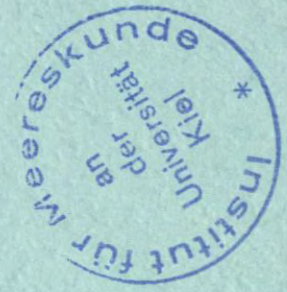
Das Werk bzw. der Inhalt darf zum eigenen Gebrauch kostenfrei heruntergeladen, konsumiert, gespeichert oder ausgedruckt, aber nicht im Internet bereitgestellt oder an Außenstehende weitergegeben werden ohne die schriftliche Einwilligung des Urheberrechtsinhabers. Es ist nicht gestattet, Kopien oder gedruckte Fassungen der freien Onlineversion zu veräußern.

German copyright law applies.

Copyright and Moral Rights for this thesis are retained by the author and/or other copyright owners. The work or content may be downloaded, consumed, stored or printed for your own use but it may not be distributed via the internet or passed on to external parties without the formal permission of the copyright holders. It is prohibited to take money for copies or printed versions of the free online version.

z 945 66b

BERICHTE
aus dem
SONDERFORSCHUNGSBEREICH 313
"SEDIMENTATION IM EUROPÄISCHEN NORDMEER"



Nr. 6

Beobachtungen an Benthos-Foraminiferen (Teilprojekt A3)

ALTENBACH, A.V. · LUTZE, G.F. · WEINHOLZ, P.



Inhalt:

Nr. 6

Beobachtungen an Benthos-Foraminiferen (Teilprojekt A3)

ALTENBACH, A.V., LUTZE, G.F., WEINHOLZ, P. *)

Faint, mirrored text from the reverse side of the page, including the title and authors' names.

*) Geologisches Inst. d. Universität, Olshausenstr. 40, 2300 Kiel, Germany (F.R.G.)



Inhalt:

Weinholz, P.:
FOCOS, eine Methode zum Zählen von Mikrofossilien
mit Hilfe eines Personal-Computers.....5

Lutze, G.F. & Thiel, H.:
Cibicidoides wuellerstorfi and *Planulina ariminensis*,
elevated epibenthic Foraminifera.....17

Lutze, G.F. & Altenbach A.V.:
Rupertina stabilis (WALLICH), eine hochangepaßte,
filtrierende Benthos-Foraminifere.....31

Altenbach, A. V., Unsöld, G. & Walger, E.:
The hydrodynamic environment of *Saccorhiza ramosa* (BRADY)..47

Lutze, G.F. & Salomon B.:
Foraminiferen-Verbreitung zwischen Norwegen und Grönland:
ein West-Ost Profil.....69

Lutze, G.F.:
Benthische Foraminiferen: Vertikale Verteilung in den
obersten Sedimentlagen und Probleme bei der Entnahme von
Standard-Proben.....79

Vorbemerkung

Aus unseren langjährigen Untersuchungen über die Verteilung der Benthos- Foraminiferen im Atlantik (NOSOFO-transect) schält sich ein neues Konzept heraus. Es wird immer deutlicher, daß weder Einzelfaktoren noch "Wassermassen" prinzipiell die Verbreitung regulieren. In den meisten Fällen scheinen dagegen die Ernährungsbedingungen den Ausschlag zu geben, also die Verfügbarkeit und die Qualität der Nahrung.

Die Mitarbeit im Sonderforschungsbereich 313 bietet uns eine einzigartige Gelegenheit, diese Vorstellungen in einem Gebiet mit saisonal extrem schwankenden Ernährungsbedingungen zu überprüfen, wobei es die enge Zusammenarbeit mit Biologen ermöglichen wird, die Befunde im Zusammenhang mit der gesamten Biozönose richtig einzuordnen.

Einige der hier vorgestellten Arbeiten sind als Zwischenergebnisse aufzufassen und sollen noch erweitert werden, andere in abgeänderter Form, jedoch englisch, in internationalen Zeitschriften erscheinen. Die erste Arbeit von Herrn Weinholz (S.5) über Methoden zur quantitativen Erfassung der Artanteile ist für die im SFB 313 weiter geplanten Arbeiten eine wichtige Voraussetzung.

FOCOS - eine Methode zum Zählen von Mikrofossilien mit Hilfe eines Personal-Computers.

P. Weinholz *)

Astract

FOCOS - computer aided counting of microfossils.

The use of a personal computer with a special keyboard offers a more efficient counting procedure of mikrofossils and micrograins. Comfortable facilities for input and editing are available. Additional, the changes of the number of species per specimens counted and the percentage of single species are continuously displayed as diagrams. The actual diversity index (Fisher-alpha index) may be called at any time. The output data are directly transferable to a data base.

Zusammenfassung

Eine neue Methode zur quantitativen Erfassung von Mikrofossilien und Gesteinskomponenten ermöglicht ein rationelleres Arbeiten. Hierfür wird ein Personalcomputer mit einer speziellen Tastatur verwendet. Neben komfortablen Eingabe- und Korrekturmöglichkeiten informieren Kontrollgraphiken laufend über Veränderungen der Artenzahl/Exemplare und der prozentualen Verteilung einzelner Arten. Zusätzlich kann jederzeit der aktuelle Diversitätsindex abgerufen werden (Fisher-alpha Index). Nach Beendigung der Zählung können die Daten direkt in eine Datenbank transferiert werden.

*) Geologisches Institut d. Universität, Olshausenstr. 40, 2300 Kiel, Germany (F.R.G.)

Einleitung

Quantitatives Arbeiten am Mikroskop bedeutet möglichst genaue Erfassung von Exemplar- und Artenzahlen. Genauigkeit heißt in diesem Fall, daß solange gezählt werden sollte bis sich die Anzahl der Arten sowie das Verhältnis der Exemplarzahlen der einzelnen Arten untereinander nicht mehr signifikant verändert.

Grundlage hierfür ist eine sinnvolle Methode zur Erfassung der Zählungen. Bisher gebräuchliche Erfassungsmethoden sind Strichlisten, mechanische bzw. elektrische Zähl tastaturen und Diktiergeräte. Bei genauerer Betrachtung weisen diese Methoden allerdings mehr oder weniger gravierende Nachteile auf. Bei der Verwendung einer Strichliste z.B. ist es unumgänglich, bei jeder Zählung vom Mikroskop aufzusehen, um einen Strich in die Liste zu setzen. Einen Vorteil demgegenüber besitzen die Zähl tastaturen, die nach einer gewissen Einarbeitungszeit ohne ständiges hin- und herwandern der Augen bedienbar sind. In der Regel verfügen diese, meist unhandlichen Tastaturen jedoch nur über 5 - 12 Tasten, was oftmals nicht ausreichend ist. In dieser Beziehung uneingeschränkt ist die Arbeit mit dem Diktiergerät. Man muß jedoch in Kauf nehmen, daß die so gewonnenen Zähl daten vor einer weiteren Bearbeitung zunächst wieder abgehört und in eine Strichliste überführt werden müssen. Das kombinierte Auslese- und Zählgerät von MADER (1987) erlaubt die Erfassung von 100 Arten, wobei die Zählungen über eine Computertastatur erfolgen. Verwendet man das Gerät jedoch allein für Zählungen ist die Art der Eingabe unbefriedigend.

Die genannten Methoden haben alle den Nachteil, daß sie dem Bearbeiter keinerlei Aufschluß darüber geben, ob die Größe der Zählung schon eine sichere statistische Aussage zuläßt, oder noch nicht. Weiterhin sind meist zeitaufwendige und fehleranfällige Dateneingaben per Hand für moderne Auswertungen mit dem Computer erforderlich.

Die geringe Qualität der gebräuchlichen Zählmethoden steht also in Gegensatz zu den immer aufwendigeren statistischen

Auswertungsmethoden, obwohl diese auf der Güte der Zählungen basieren.

Aus diesem Grund wurde auf einem Personalcomputer ein Zählprogramm entwickelt, welches den heutigen Anforderungen an quantitative Probenbearbeitungen weitgehend entspricht.

Methodik

Die Hardware

Als Hardware-Komponenten wurde ein Atari 1040ST Personalcomputer mit 720KB Floppy-Laufwerk und hochauflösendem Monitor ausgewählt. Er besitzt eine genügend hohe Rechengeschwindigkeit und ein Graphiksystem, welches eine schnelle Ausgabe von Zeichenketten auf dem Bildschirm erlaubt. Für die Eingabe der Zählungen wurden zwei externe Zähltastaturen an die Joystick-Ports angeschlossen. Sie verfügen über jeweils 16 Tasten, die entsprechend einer Dezimaltastatur griffgünstig angeordnet sind (Abb. 1). Die Gesamtkosten betragen etwa DM 2000,-.

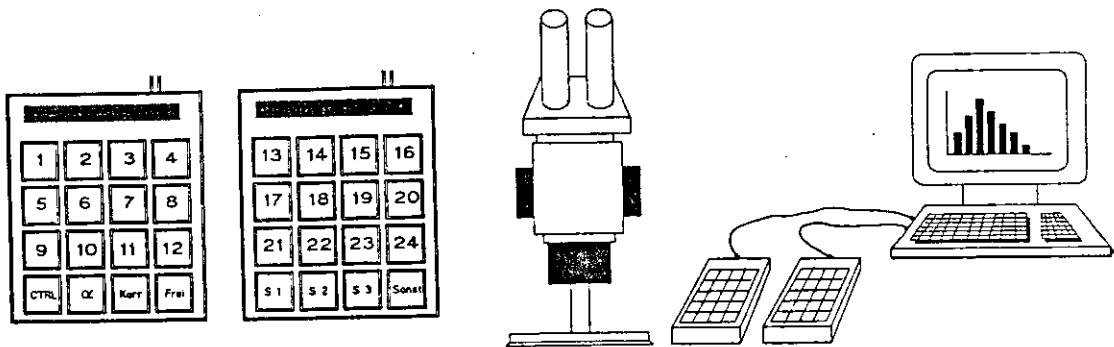


Fig. 1: Zähltastaturen und Geräteaufbau--Für die Zählungen werden zwei handliche Dezimaltastaturen mit spezieller Beschriftung verwendet. Links im Bild ist die Belegung der Tastatur vergrößert dargestellt.

Fig. 1: Scheme of the hardware configuration--Two handy decimal keyboards with special labels (left side) are used for input.

Die Software

Das Programm wurde hauptsächlich in der Sprache "C" geschrieben. Nur die Funktionen zur Tastatursteuerung wurden in Assembler programmiert.

Die Programmfunktionen

Die Tastatur

Während der Zählung sollte der Bearbeiter möglichst selten gezwungen sein vom Mikroskop aufzuschauen. Daher werden für die Eingaben zwei handliche Spezialtastaturen verwendet (Abb.1). Sie bestehen jeweils aus einem 4 X 4 Tastenfeld, welches nach kurzer Zeit "blind" bedienbar ist. Außerdem lassen sie sich griffgünstig positionieren, da sie per Kabel mit dem Rechner verbunden sind.

Die insgesamt 32 Tasten sind aufgeteilt in 29 Zähl- und 3 Funktionstasten. Von den 29 für die Zählung vorgesehenen sind wiederum 24 vorbelegbar, d.h. auf dem Bildschirm erscheint die Tastennummer kombiniert mit einem Artennamen (Abb. 2a, links). Die übrigen 5 Tasten sind frei belegbar (siehe Kap. 3.2). Wird durch Tastendruck ein Exemplar einer Art zugeordnet, erscheint der Name zur Kontrolle auf dem Bildschirm unterstrichen und es ertönt ein akustisches Signal. Gleichzeitig wird die Summe der gezählten Exemplare dieser Art sowie die Gesamtsumme um 1 erhöht. Beim ersten Exemplar einer Art, wird auch die Artensumme inkrementiert. Ebenso werden die Kontrollgraphiken erweitert. Alle genannten Angaben werden auf dem Bildschirm angezeigt.

Die drei Funktionstasten aktivieren sämtliche für den Programmablauf wichtigen Zusatzfunktionen. Der Bearbeiter ist daher weitgehend von der Computertastatur unabhängig. So wird die Korrektur einer Eingabe durch Betätigen der Taste "Korr" und nachfolgend der entsprechenden Artentaste ausgelöst. Die Betätigung dieser Taste erzeugt einen Kontrollton. Die Taste "α" bewirkt die Ausgabe der Diversitätsindizes (siehe Kap. 3.4) und durch Betätigen der Taste "CTRL" können verschiedene Sekundärfunktionen wie In- bzw. Dekrementieren

der Artenzahl, Ausgabe der Prozentwerte aktiviert werden (Abb. 2a, oben). Auch dabei ertönt jeweils ein Kontrollton.

Seltene Arten

Bei der Probenbearbeitung zeigt sich normalerweise, daß ein großer Teil der Individuen nur auf eine kleine Artenzahl entfällt. Hinzu kommen meistens mehrere Arten, die nur in wenigen Exemplaren vertreten sind. Für die seltenen Arten muß eine Strichliste angelegt werden, wenn die Artenzahl die Anzahl der Eingabetasten übersteigt. Die Berechnung der Diversität erfordert jedoch die Erfassung aller Arten. Sämtliche Exemplare der auf der Strichliste geführten Arten werden daher als "Sonstige" eingegeben. Das Inkrementieren der Artenzahl muß mit Hilfe einer Sekundärfunktion durchgeführt werden. Die Namen der auf diese Weise eingegebenen Arten werden nach Beendigung der Zählung abgefragt.

Mitunter kann es vorkommen, daß in manchen Proben eine zunächst als selten eingestufte Spezies außergewöhnlich hohe Abundanzen erreicht. Für diesen Fall stehen die Tasten "S 1-3" zur Verfügung. Die so gezählten Exemplare werden gleichzeitig unter dem Posten "Sonstige" aufgeführt. Auch hier muß die Veränderung der Artenzahl ebenfalls vom Bearbeiter selbst durchgeführt werden.

Oftmals erscheint es auch wünschenswert, Objekte zu erfassen, die nicht in die Diversitätsberechnung eingehen sollen. Hierfür ist die Taste mit der Aufschrift "Frei" vorgesehen. Um Verwechslungen zu vermeiden erzeugt die Betätigung dieser Taste einen speziellen Signalton.

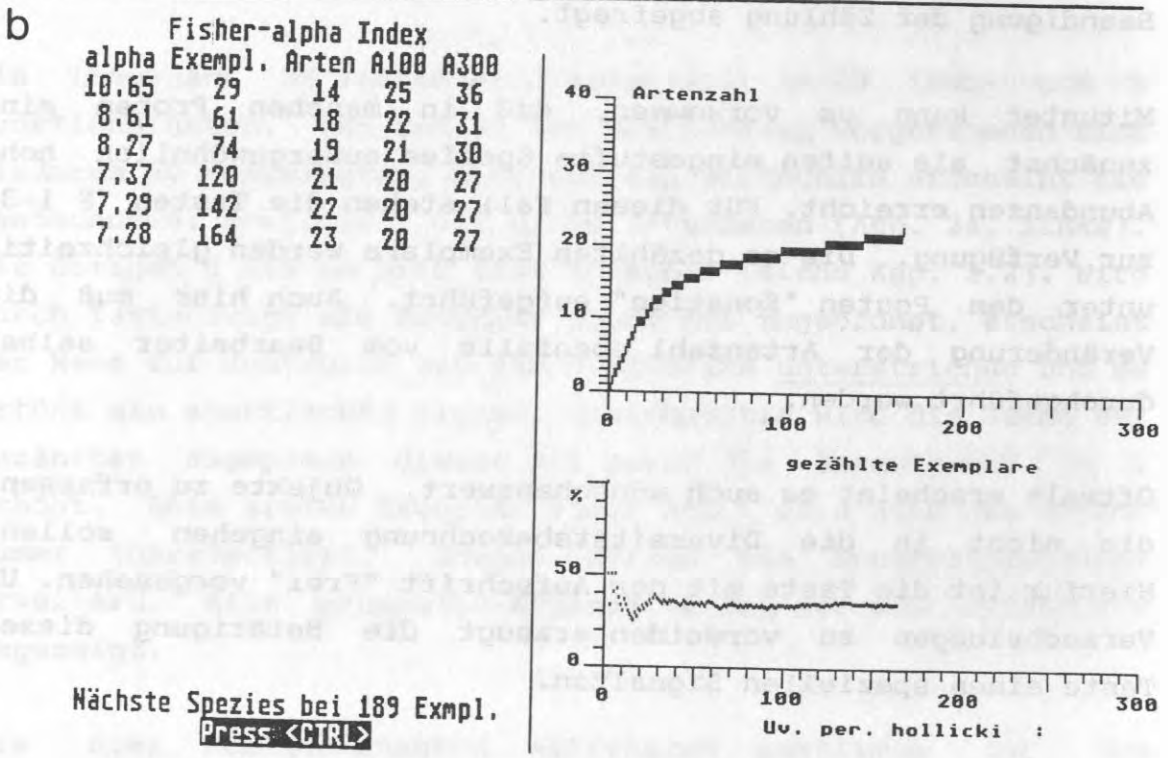
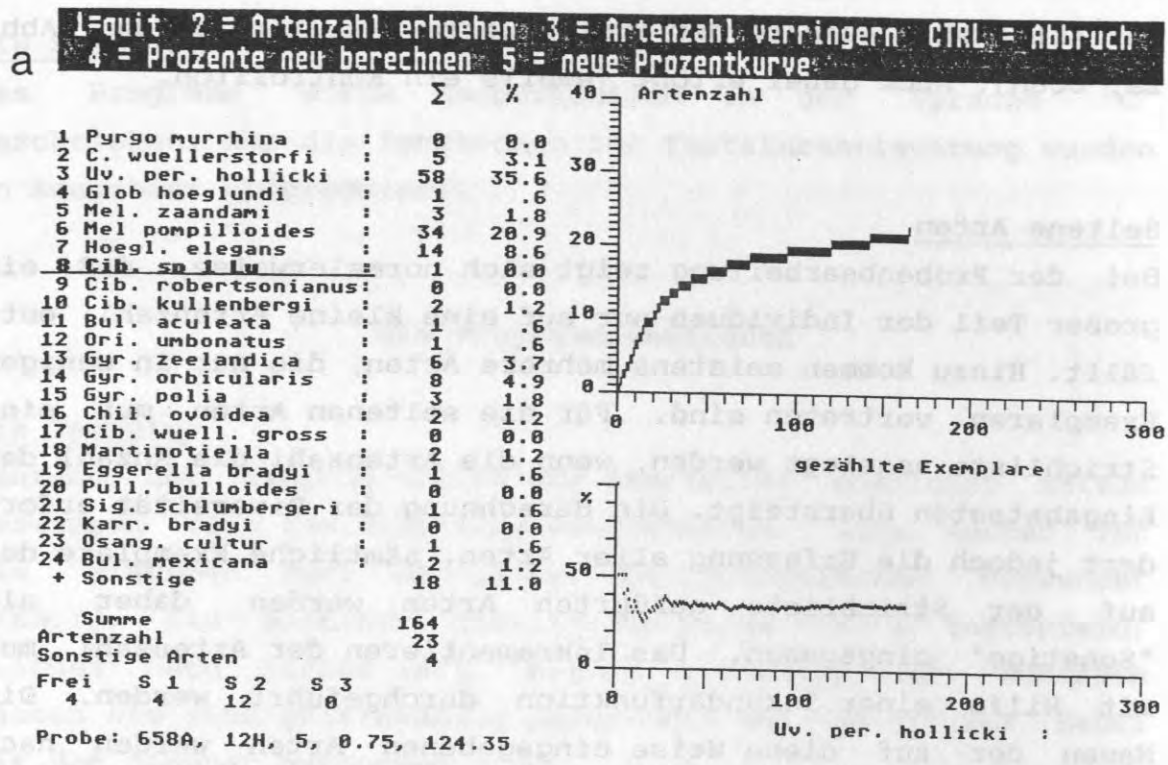


Fig. 2: Bildschirmausgaben a) Artennamen, Summen und Kontrollgraphiken werden laufend auf dem Bildschirm angezeigt. Die Sekundärfunktionen sind oben im Bild angegeben. b) Auf Tastendruck werden neben den Kontrollgraphiken Diversitätswerte und Hochrechnungen angezeigt.

Fig. 2: Screen output a) Speciesnames, sums and diagrams are continuously displayed. The diagrams show the ratio between the number of species and the number of specimens counted (upper diagram) and the actual percentage of a selected species (lower diagram). Control functions are listed on the top. b) A special display indicates diversity index, the amount of counted specimens and species and two projections of the number of specimens at different final sums. To the base the projected sum of specimens is displayed, at which a further species is expected.

Die Kontrollgraphiken

Bei der Bearbeitung von Probenserien ist in der Regel eine Mindestmenge von Exemplaren zu zählen, um die statistische Aussagekraft zu gewährleisten. Da die Mindestgröße einer Zählung jedoch stets in Beziehung zur Diversität der jeweiligen Probe, steht ist es zumindest fraglich, ob im Einzelfall zu unökonomisch zuviel oder statistisch zu wenig gezählt wurde.-- Ebenso ist die Verteilung der Arten auf der Zähl- schale zu berücksichtigen. So kann z.B. bei einer Schüttung durch unterschiedliches Rollverhalten eine Fraktionierung eintreten. Dies führt im Verlauf der Zählung zu sprunghaften und unregelmäßigen Veränderungen der Artenzahl und der Prozentanteile, was anzeigt, daß die jeweilige Teilmenge auf jeden Fall vollständig ausgezählt werden muß.

Um in diesen beiden Punkten eine Kontrollmöglichkeit zu schaffen werden auf dem Bildschirm ständig zwei Graphiken angezeigt (Abb. 2a,b). Im oberen Diagramm wird die Artenzahl gegen die Gesamtzahl der Exemplare dargestellt. Im Idealfall einer stochastischen Verteilung der Arten auf der Zähl- schale verläuft die Kurve gemäß einer Exponentialfunktion, deren Grenzwert die maximale Artenzahl der Probe ist. Bei einer deutlichen Abflachung der Kurve kann somit davon ausgegangen werden, daß die Diversität sich nicht mehr signifikant ändert.

Um eine möglichst hohe graphische Auflösung zu erhalten kann die Einteilung der X-Achse in drei verschiedenen Stufen erfolgen. Es kann gewählt werden zwischen Maximalzählungen von 300, 600 oder 900 Exemplaren. Auf der Y-Achse können maximal entweder 40 oder 80 Arten dargestellt werden.

Im unteren Diagramm werden die Veränderung der Prozentanteile einzelner Arten gegen die Gesamtzahl der Exemplare laufend angezeigt. Da mit jedem Tastendruck die Prozentwerte aller voreingestellten Arten Neuberechnet und gespeichert werden, kann zu jeder Zeit eine beliebige Art dargestellt werden. Bei Programmbeginn wird zunächst die erste Spezies der Liste gewählt. Die Anwahl einer anderen Kurve wird mittels der

Sekundärfunktion "neue Artenkurve" und nachfolgend der entsprechenden Artentaste durchgeführt. Der Name der dargestellten Spezies wird unterhalb des Diagramms angegeben.

Der Diversitätsindex

Neben der Ausgabe der Kontrollgraphiken steht eine Funktion zur Berechnung der Diversität zur Verfügung. Sie wird als Fisher- α Index (FISHER et al. 1943) angegeben, der in der geologischen und biologischen Literatur häufig verwendet wird (MURRAY 1973, GRAY 1984). Gleichzeitig wird die aus dem Index errechnete Artenzahl für eine bestimmte, wählbare Zählsumme angegeben, die eine dem α -Index trendgleiche Diversitätsangabe darstellt.

Diese Funktion wird durch Betätigen der Taste " α " ausgelöst. Angegeben werden sämtliche bisher berechneten Alpha-Index-Werte, die der Berechnung zugrunde liegenden Arten- und Exemplarzahlen sowie zwei Hochrechnungen. Die Exemplarzahlen, für die die Hochrechnungen erfolgen sollen, können voreingestellt werden. Am unteren Bildschirmrand (Abb. 2b) erscheint zusätzlich die Angabe, bei welcher Gesamtsumme eine neue Spezies zu erwarten ist. Nach Betätigen der Taste "CTRL" kann weiter gezählt werden.

Der Steuerfile

Bei der Bearbeitung großer Probenserien werden meistens die gleichen für den Programmablauf wichtigen Vorgabeparameter verwendet. Um langwierige Abfragen beim Programmstart zu vermeiden werden diese Informationen in einem sogenannten Steuerfile abgelegt. Bei Programmbeginn ist daher nur die Angabe der für die jeweilige Anwendung erstellten Datei nötig.

Abbildung 3 zeigt ein Beispiel für einen Steuerfile. Die beiden Werte in Zeile 1 werden für die Achseneinteilung benutzt (Kap. 3.3). Der erste Wert gibt die maximale Anzahl der Exemplare an (es kann gewählt werden zwischen 300, 600 und 900) und der zweite die maximale Zahl der Arten (entweder 40 oder 80). In der Zeile 2 können die Exemplarzahlen festgelegt

werden, für die die Hochrechnungen, basierend auf dem Diversitätswert, durchgeführt werden sollen (siehe Kap. 3.4). In den Zeilen 3 bis 7 können Texte angegeben werden, die beim Programmstart als Abfragen für die Probenspezifikation dienen. Die Texte dürfen nicht mehr als 20 Zeichen enthalten. Die Zeilen 8 bis 31 enthalten die der Tastatur zuzuordnenden Artnamen. Zeile 32 ist eine Leerzeile. Die folgenden Zeilen enthalten den Steuerkopf für die Datenbank. In diesem Fall wurde das Datenbankprogramm ADIMENS verwendet. Zeile 42 enthält als Abschlußzeichen ein Doppelkreuz. Da die Datei im ASCII-Code gelesen wird, kann sie mit jedem beliebigen Texteditor erstellt werden. Den Steuerkopf erhält man am einfachsten, wenn zunächst eine "Exportdatei" der Datenbank erstellt und in den Steuerfile kopiert wird.

Die Ausgabe der Zählraten

Für die Ausgabe der Zählraten stehen drei verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Zunächst kann der Bildschirminhalt als Hardcopy auf den Drucker ausgegeben werden (Abb. 2a,b). Diese Funktion wird durch gleichzeitiges Drücken der Tasten "Alternate" und "Help" aktiviert. Zum Ende des Programms werden sämtliche Zählraten inklusive der seltenen Arten sowie Diversitätswerte in einem File ausgegeben. Gleichzeitig wird eine weitere Datei erstellt, die als "Importfile" in die jeweilige Datenbank eingelesen werden kann. Es ist zu beachten, daß die Dateinamen keine Extension enthalten, da sie durch das Programm selbst festgelegt werden.

Schluß

Ein Rechenprogramm ermöglicht ein rationelles Arbeiten beim Zählen von Mikrofossilien und Gesteinskomponenten.

Zwei handliche Dezimaltastaturen mit spezieller Tastenbeschriftung dienen einer schnellen und sicheren Eingabe.

Artennamen, Summen und Prozentangaben informieren auf dem Bildschirm laufend über den Stand der Zählung.

Kontrollgraphiken verhindern, daß zuviel oder zuwenig gezählt wird.

Basierend auf dem Fisher alpha-Index werden Hochrechnungen der Artenzahlen für bestimmte Zählsummen durchgeführt.

Für den Programmablauf wichtige Voreinstellungen werden in einem Steuerfile abgelegt, so daß beim Programmstart nur wenige Angaben gemacht werden müssen.

Sämtliche Daten werden am Ende als Formularausdruck und als "Importdatei" für eine Datenbank ausgegeben.

Dank

Besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. G.F. LUTZE, der mir jederzeit mit wertvollen Anregungen und Ratschlägen zur Seite stand. Herrn Dr. A.V. Altenbach und Herrn Dr. U. Pflaumann danke ich für ihre kritischen Anmerkungen zum Ablauf und zur Handhabung des Programms.

Literatur

FISHER, R.A., CORBET, A.S. & WILLIAMS, C.B. (1943): The relationship between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population.-J. Anim. Ecol., 12: 42-58.

GRAY, S.J. (1984): Ökologie mariner Sedimente.- Springer, Berlin.

MADER, H. (1987): Auslesegerät, Zählgerät und Kreuztisch - ein neues automatisches Hilfsmittel für die Mikropaläontologie, Mikrofaziesanalyse und Petrographie.- N. Jb. Geol. Paläont., 5: 307-313.

MURRAY, J. (1973): Distribution and ecology of living benthic foraminiferids.- Heinemann Educational Books, London.

***Cibicoides wuellerstorfi* and *Planulina ariminensis*,
elevated epibenthic Foraminifera.**

Lutze, G.F.¹⁾ and Thiel, H.²⁾

Abstract

Observations on the microhabitat of several foraminiferal species are reported. *Planulina ariminensis* and *Cibicoides wuellerstorfi* are not only epifaunal but prefer a somewhat elevated position above the sediment/water interface for a better chance to catch food particles from slightly streaming water. They are attached to sponge skeletons, stones, hydroids and other objects protruding above the sediment surface. This explains that they are underrepresented in faunal counts of the life population deduced from standard sediment samples.

1) Geologisches Institut d. Universität, Olshausenstr. 40, 2300 Kiel, Germany (F.R.G.)

2) Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft d. Universität, Zeiseweg 9, 2000 Hamburg 50, Germany (F.R.G.)

Introduction

Several species of benthic Foraminifera gained considerable interest in paleo-oceanographic studies because of the isotopic signal fixed in the calcareous matter of their tests. This signal, however, can be used to reconstruct bottomwater conditions only in such cases, where it is formed in equilibrium with the surrounding bottomwater and not with the interstitial water of the sediment (Woodruff et al. 1980, Grossman 1984, Corliss 1985; Zahn et al. 1986). For this reason, studies of life conditions and microhabitats of benthic Foraminifera are required. However, most reports published during the past decades refer to shelf habitats (Lipps 1983). Several observations on bathyal microhabitats obtained during the past seven years are presented here to outline a group of benthic Foraminifera with definitely epifaunal life habitats. A distinct tendency to attach their tests in an elevated position above the seabottom is a common feature of this group. Another aspect is the discrepancy between the small proportions reached by these species in the life fauna and the often dominant role in the assemblage of empty tests (as derived from sediment samples).

Methods

We studied samples of surface sediments preserved in methanol and stained with rose bengal. These samples were washed through a 63 μ m screen and dried before inspection. Percentages given in this text refer to the >250 μ m grain size fraction. In addition, in-vivo observations were made immediately after the boxcore samples were recovered. Since it proved difficult to maintain proper temperatures during inspection, the microscope was installed in the in the main refrigeration room of R.V. "Polarstern".

Cibicidoides wuellerstorfi (SCHWAGER 1866)

In 1982 in a study of stained sediment samples from "Valdivia" cruise 10 (1975) we noticed several specimens of this species to be firmly attached to an elastic hydrozoan stalk of 7mm length (Fig.1). All specimens were extremely well stained, whereas unattached stained specimens were not only very rare but rather weakly stained, suggesting their cytoplasm having been already in some state of decay when the sample was obtained. The station (GIK 13 289) lies off Mauritania at a water depth of 2485m (positions see Table 1). In the entire area the proportions of the species vary between 0% and 1.5% of the living fauna, with a few exceptions reaching 1.65% to 3.5% (see distribution plot Fig.3b). Proportions in the assemblage of empty tests are much higher, they often reach 8 - 10% and below 2 500m 10 - 20% are common (Fig.3a).

In a sample from similar depth off Ireland we observed *C. wuellerstorfi* attached to a *Rhabdammina* - tube, which probably stood in an upright position rising at least 5-7 mm above the seabottom (station GIK 16 216; depth 2590 m, "Walter Herwig"-Cruise 1983).

These observations stimulated a search for benthic Foraminifera on hard substrates (stones, shells, hydrozoa), freshly recovered from boxcore-samples during the 1984-cruise of the Polarstern into the Norwegian and Greenland Sea (Arctis II). We found *C. wuellerstorfi* attached to stones, sponge skeletons and polychaete-tubes (station GIK 23 247) in much higher population density than hitherto reported. On stones, protruding ca. 3-5mm above the average seabottom, we observed patches with densities of 100-280 specimens per 10cm² (Fig.5; GIK 23 246, 1860m depth) and noticed this in the cruise report (Lutze in Augstein et al. 1984, p. 125). Again the entire basin floor between Greenland and Norway is characterized by high proportions of this species in the dead assemblage and only occasional observation of stained specimens in our standard samples (see Greenland-Norway Transect, Lutze & Salomon 1987, Report 6, SFB 313).

Planulina ariminensis d'ORBIGNY 1826

On several cruises of the research vessel "Meteor" the second author frequently found skeletons as well as living animals of the sponge genus *Pheronema* in depths between 300 and 800m off the NW-African coast. Similar observations were made in depths between 1100 and 1600m in front of the Portuguese coast. They were made by means of a photo sledge, recovering 20 photos from the seabottom over a distance of 100m (Thiel 1970). The sponges and their skeletal remains are usually 10 to 15 cm high and occur rather isolated with average distances of several meters in between (Fig.2 a-c). During "Meteor" - Cruise 53 in 1980 we recovered specimens of these former sponges in a boxcorer sample and found them densely covered with firmly attached living benthic Foraminifera, which partly exposed pseudopodes and were densely filled with brownish green protoplasm. The following foraminiferal species were found attached to a skeleton of *Pheronema raphanus* in 800m depth at station GIK 15 666 :

<i>Planulina ariminensis</i> **	<i>Gavelinopsis translucens</i>
<i>Discanomalina vermiculata</i> * ³)	<i>Vulvulina pennatula</i> *
<i>Textularia pseudogramen</i>	<i>Rhizammina algaeformis</i>
<i>Ehrenbergina undulata</i> *	<i>Dendrophrya</i> sp.
<i>Psammosphaera fusca</i>	<i>Crithionina</i> sp.

Most frequently occurred *P. ariminensis*; rather abundant were species marked with an *, the reminding species occurred only once or twice. - Similar observations were made in dry residues obtained from two stations in corresponding depths, but 250 km and 600 km south of station 15666: they contained larger fragments of the thin terminal tubes of *Marsipella*

³) considered as a synonym of *P. coronata* and *crassa* !

elongata NORMAN, which are mainly built out of sponge spicules. Several *P. ariminensis* and *Discanomalina vermiculata* were still found firmly attached to these 4 to 7mm long pieces, despite of the rather rough treatment during the washing procedure (St.15 628 and 15 641). The terminal tubes of *Marsipella* were probably raised above the bottom to allow optimal extension of pseudopodes. Epibionthic Foraminifera attached to them inhabit a similar elevated position as those upon the lower parts of sponge skeletons.

In the case of *P. ariminensis*, the discrepancy between proportions in the life fauna and the dead assemblage (sediment samples) is even larger than in *C. wuellersdorfi* (Fig.4, a and b). Well stained specimens of *ariminensis* were only occasionally found, in sharp contrast to their abundance upon the sponge skeletons. Weakly stained tests may actually represent recently dead *ariminensis*, containing partially decomposed protoplasm (membrane protected cytoplasm will often not completely decay for months: Boltovskoy & Lena 1970).

Other species

In several cases the bathyal species *Cibicidoides kullenbergi* was found attached to hard substrates like pieces of shell or even larger tests of Foraminifera (stations GIK 15 670 and 15 669; in 1470m and 2030m depth) The connection with the substrate appears to be rather elastic and may be a kind of "Puffermasse" in the sense of Rhumbler 1938, p.160/61 . We suppose that this species uses small hard substrates to stay slightly above the sediment/water interface and has to be considered as epifaunal. This is supported by the observations of Corliss 1985, who found it in high abundance only in the top centimeter of his sliced sediment core. Similar forms of attachment are shown by the related *C. pseudoungerianus*, a dominant species of the deep shelf and upper continental slope (attached to hydroids, Dobson & Haynes 1973).

Discussion

Striking differences between living and dead faunal assemblages were observed in various environments and discussed in detail by Murray 1976 (p.93..). They are explained as a result of faunal mixing due to environmental changes: a relict assemblage representing a former biotope is then mixed with the recent production of foraminiferal tests. Differences in productivity between dominant species might cause only minor dissimilarities between the two assemblages (Murray 1976).

The present examples demonstrate that mixing of the production of different microhabitats might create similar effects (post mortem detachment of clinging species, see Murray 1976, p.78). In fact, major proportions of the dead assemblage are produced in a microhabitat, which is usually not sampled because of its scattered distribution. The mixed dead assemblage is then compared with the infauna dominated life assemblage of the finegrained sediments.

The general feature of our observations is a trend to obtain an elevated position - some 5-7mm or even cm - above the seabottom. What is the advantage of an elevated position like this? Lipps (1983) suggested that Foraminifera with tests which elevate the apertural region above the substratum usually are passive suspension-feeders. They extend their pseudopodial network into the free bottom water. Others maintain their apertures in the "feeding currents" of brachiopods (Zumwalt & Delaca 1980). Altenbach & Walger (1987) emphasize the advantage of elevated suspension-feeding even in areas with very weak currents and mark the critical point of these adaptations: the extended pseudopodes can protrude into a certain position of the velocity profile of the near bottom shear flow. This position with rapidly increasing velocity offers an increased flux of nutrient particles to be captured by the animals. The occurrence of *C. wuellerstorfi* as an epibiont even on vagrant macrobenthos is an additional indication for its preference of both, elevated positions and streaming water (Altenbach, Linke et al. 1987, in prep.), and an analogy of several earlier observations of this kind in

more shallow water(Delaca & Lipps 1972, Haward & Haynes 1976).

Habitats of these species are thus characterized by streaming water passing by and often by a certain scarcity of foodparticles in the bottom sediment. In contrast, they appear to be underrepresented in areas with a high flux of organic particles (Lutze et al. 1986). An example of this kind might well be seen in the distinctive depression of the *wuellerstorfi* - distribution, just below the "HPR - area" of the main coastal upwelling centre (Fig.3). The dominant occurrence of *C. wuellerstorfi* in arctic basins might reflect the unusual nutritional conditions in that area determined by a severe seasonality. These conditions favour suspension-feeding species in contrast to grazing or infaunal species. Generally, we believe that adaption to nutritional conditions rather than watermass properties control foraminiferal distribution. Foraminiferal faunal changes in space (lateral) and time (cores) are due to changes in feeding strategies, which are most effective under the prevailing conditions and for the time being (nutritional adaption). In the Golfe of Gascogne an assemblage, nearly identical to our 'sponge-assemblage', was referred to certain water mass properties of the Mediterranean Outflow Water (Pujos 1970). Median diameter of bottom sediments increase in that area and indicate, that again water movement and related flux phenomena are the controlling factors. Besides the fact, that the assemblage is widely distributed in various parts of the Atlantic, far out of reach of the MOW (Gulf of Mexico, Gulf of Guinea).

Literature

- Altenbach, A.V. & Walger, E.(1987): The hydrodynamic environment of *Saccorhiza ramosa* (BRADY).-- Deep Sea Res., subm. and Berichtsband SFB 313 1985-1987, Publ. 34.
- Boltovskoy, E. & Lena, H. (1970): On the decomposition of the protoplasm and the sinking velocity of the planctonic foraminifers.-- Int. Revue ges. Hydrobiol. 55: 797-804.
- Corliss, B.H.(1985): Microhabitats of benthic foraminifera within deep-sea sediments.- Nature 314: 435-438.
- Delaca, T.E. & Lipps, J.H.(1972): The mechanism and adaptive significance of attachment and substrate pitting in the foraminiferan *Rosalina globularis* (d'Orbigny).-- J. foraminiferal Res. 2: 68-72.
- Dobson, M. & Haynes, J. (1973): Association of Foraminifera with hydroids on the deep shelf.-- Micropaleontology 19: 78-90.
- Grossmann, E.L.(1984): Stable isotope fractionation in live benthic Foraminifera from the Southern California borderland. -- Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology 47: 301-327.
- Haward, N.J.B. & Haynes, J.R.(1976): *Chlamis opercularis* as a mobile substrate for Foraminifera.-- J. foraminiferal Res. 6: 30-38.
- Lipps, J.H.(1983): Biotic interaction in benthic Foraminifera.- Chapter 8 in Tevesz, M.J.S. & McCall, P.L.(eds.): Biotic interactions...., Plenum press, N.Y., London.
- Lutze, G.F. & Altenbach, A.; : "In-vivo"-Untersuchungen an Benthosforaminiferen. - in Augstein et al.(1984), die Expedition Arktis II, Repts. on Polar Res. 20: 124-125.

Lutze, G.F., Pflaumann, U. & Weinholz, P. (1986): Jungquartäre Fluktuationen der benthischen Foraminiferenfaunen in Tiefsee-Sedimenten vor NW-Afrika -- Eine Reaktion auf Produktivitätsänderungen im Oberflächenwasser.-- "Meteor"-Forsch. Ergebnisse C40: 163-180.

Murray, J.W.(1976): Comparative studies of living and dead benthic foraminiferal distributions.-- Foraminifera 2: 45-109, Academic press.

Pujos, M. (1970): Influence des eaux mediterraneen sur la repartition de certains foraminiferes benthiques dans le Golfe de Gascogne.-- Cahiers Oceanographiques 22:827-831.

Rhumblar, L. (1938): Foraminiferen aus dem Meeressand von Helgoland.-- Kieler Meeresforschungen 2: 157-222.

Thiel, H.(1970): Ein Photoschlitten für biologische und geologische Kartierungen des Meeresbodens.-- Mar.Biol.7: 223-229

Woodruff, F., Savin, S.M. & Douglas, R.G.(1980): Biological fractionation of oxygen and carbon isotopes by recent benthic Foraminifera.-- Mar. Micropaleontol. 5: 3-11.

Zahn R., Winn, K. & Sarnthein, M.(1986): Benthic foraminiferal $\delta^{13}\text{-C}$ and accumulation rates of organic carbon: *Uvigerina peregrina* group and *Cibicidoides wuellerstorfi*. - Paleooceanography 1: 27-42.

Zumwalt, G.S. & Delaca, T.E. (1980): Utilization of brachiopod feeding currents by epizoic Foraminifera.-- J. Paleontol.54: 477-484

GIK 16 216	56°24.2'N	11°58.5'W	2590m	off Ireland
GIK 23 247	69°29.5'N	17°07.0'W	1375m	off Iceland
GIK 23 246	69°23.1'N	12°52.5'W	1867m	off Iceland
GIK 13 289	18°04.4'N	18°00.6'W	2485m	off Mauritania
GIK 15 628	29°05.0'N	11°58.9'W	760m	off Morocco
GIK 15 641	32°25.7'N	09°51.9'W	1850m	off Morocco
GIK 15 666	34°57.6'N	07°07.1'W	802m	off Morocco
GIK 15 669	34°53.5'N	07°48.9'W	2030m	off Morocco
GIK 15 670	34°54.5'N	07°34.6'W	1470m	off Morocco

Table 1: Location and depth of stations mentioned in the text.

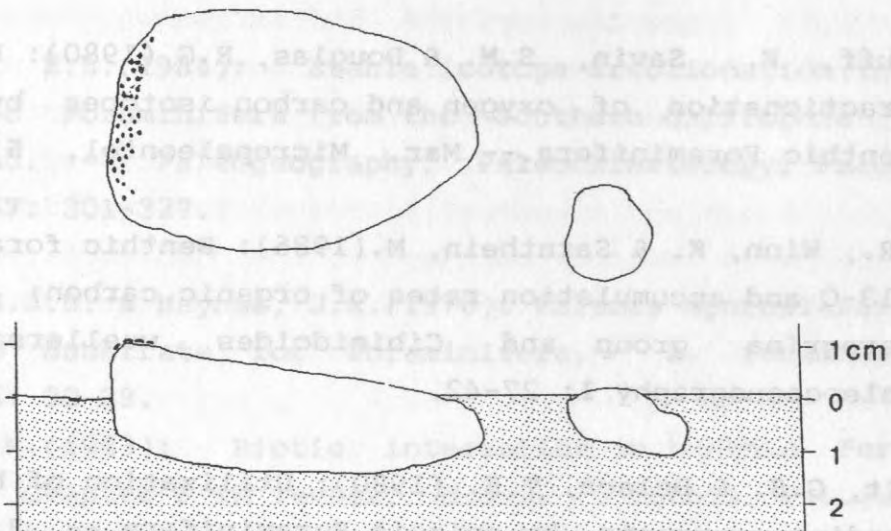


Fig. 5: Colony of *C. wuellerstorfi* situated on an edge of a stone. -- Station 23 246, north of Iceland, depth 1867m.-- 30 to 40 specimens on about 3 cm. Elevated approximately 1.5 cm above the bottom. General appearance same as Fig. 2d.

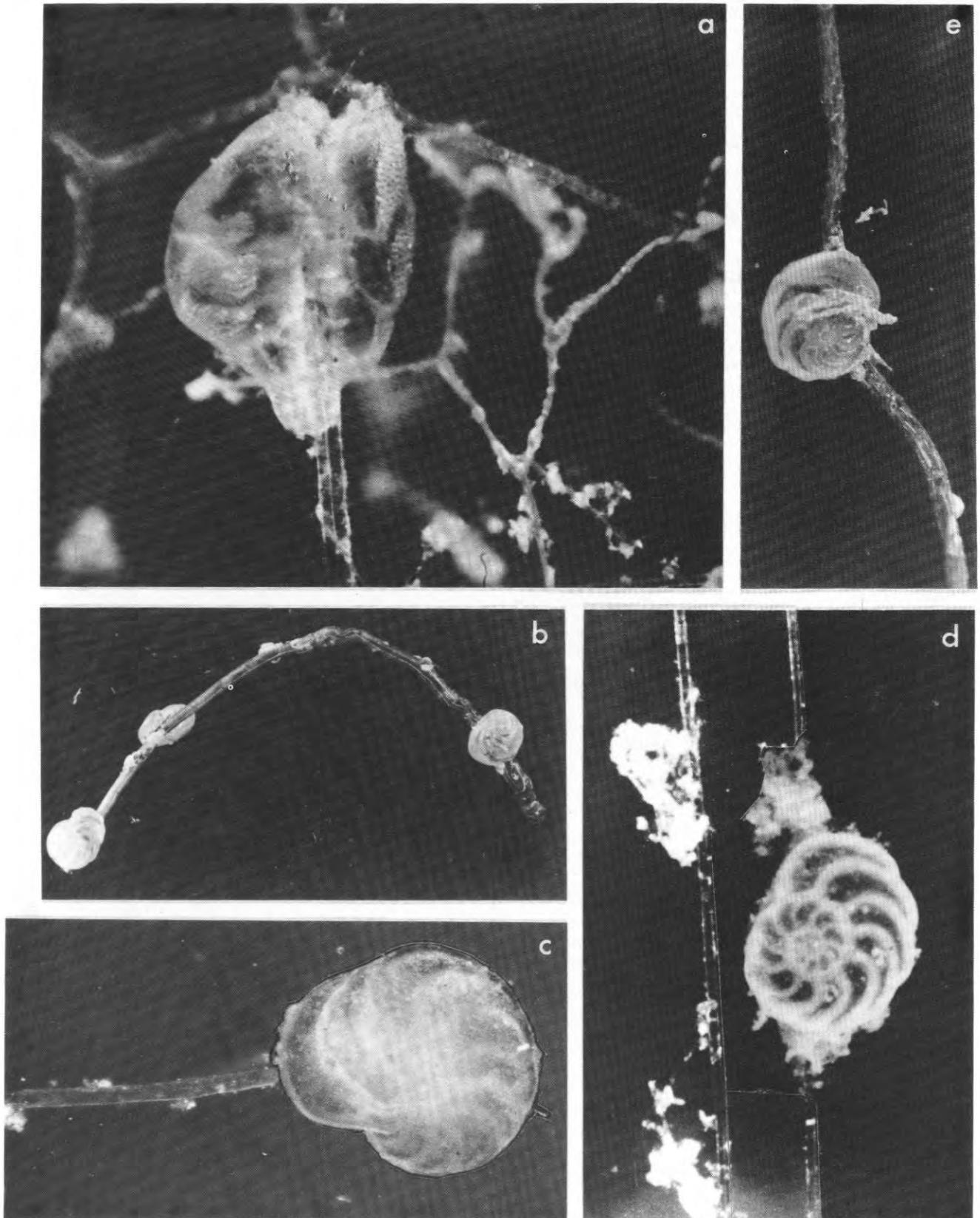


Fig. 1: Three elevated epibenthic species: a) a living specimen of *Discanomalina vermiculata* attached to a sponge spicule, station 15666; b) 3 specimens of *Cibicidoides wuellerstorfi* on a hydroid stalk, stained, dry, station 13289; c) living *C. wuellerstorfi* and d) *Planulina ariminensis* on sponge spicules.

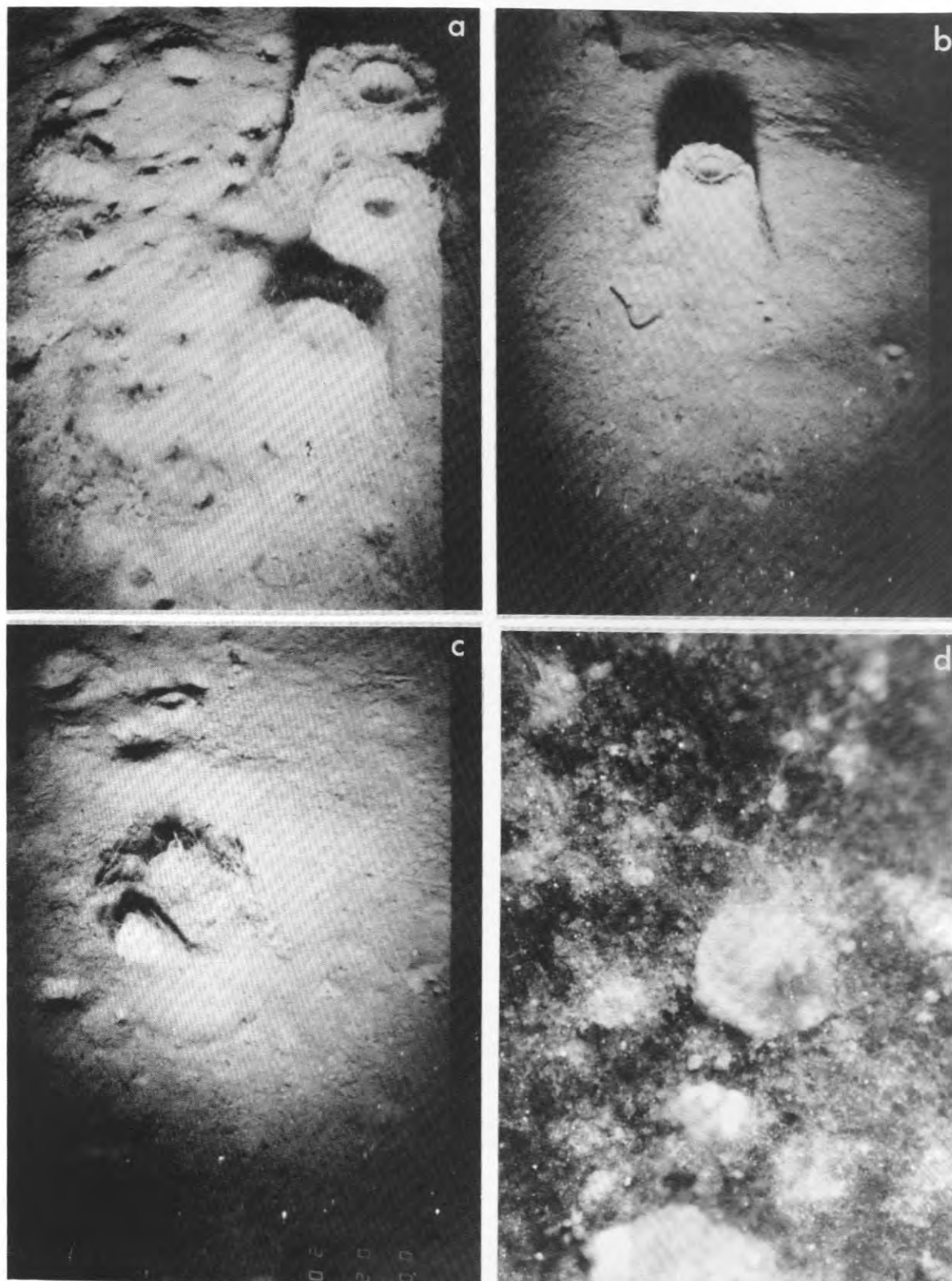


Fig. 2: Photo-sledge documentation of *Pheronema* sponges. - Off Morocco, depth approx. 800 - 900m, height of the sponges 10 to 15cm (a,b); Fig.2c: partly destroyed skeleton of dead *Pheronema*, similar to that described in the text. The skeletons serve as a perfect substratum for 'elevated epibenthic' foraminifers.-- Fig. 2d: living *C. wuellerstorfi*, St. 23 246, Norwegian Sea, the test is attached to a stone and entirely covered with sticky cytoplasm and detritus.

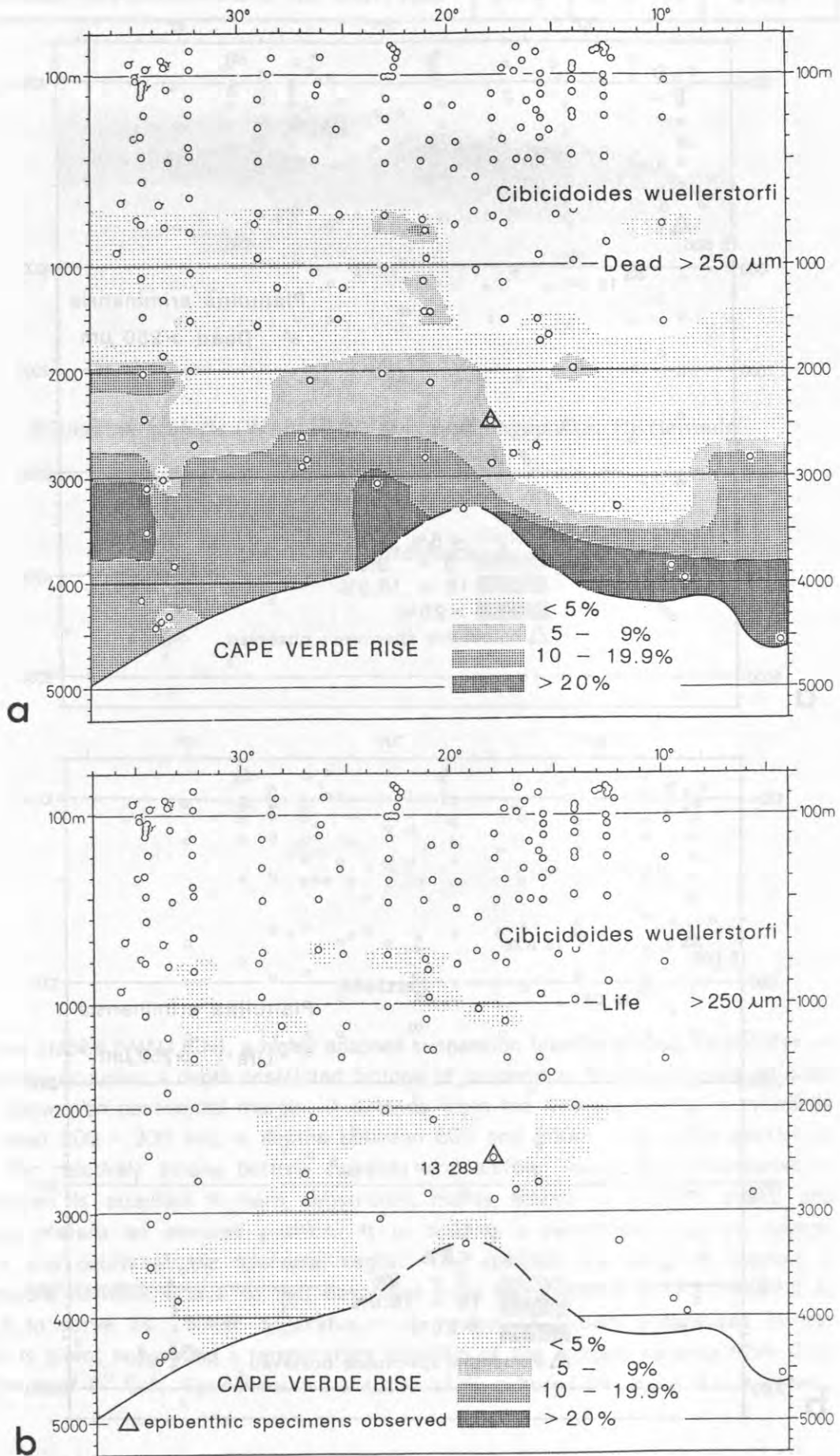


Fig. 3: Distribution of *Cibicidoides wuellerstorfi* off NW - Africa.-- Percentages arranged in a depth/latitude diagram; a) proportions in the dead assemblage are continuously high below 2 500m; b) patchy occurrences

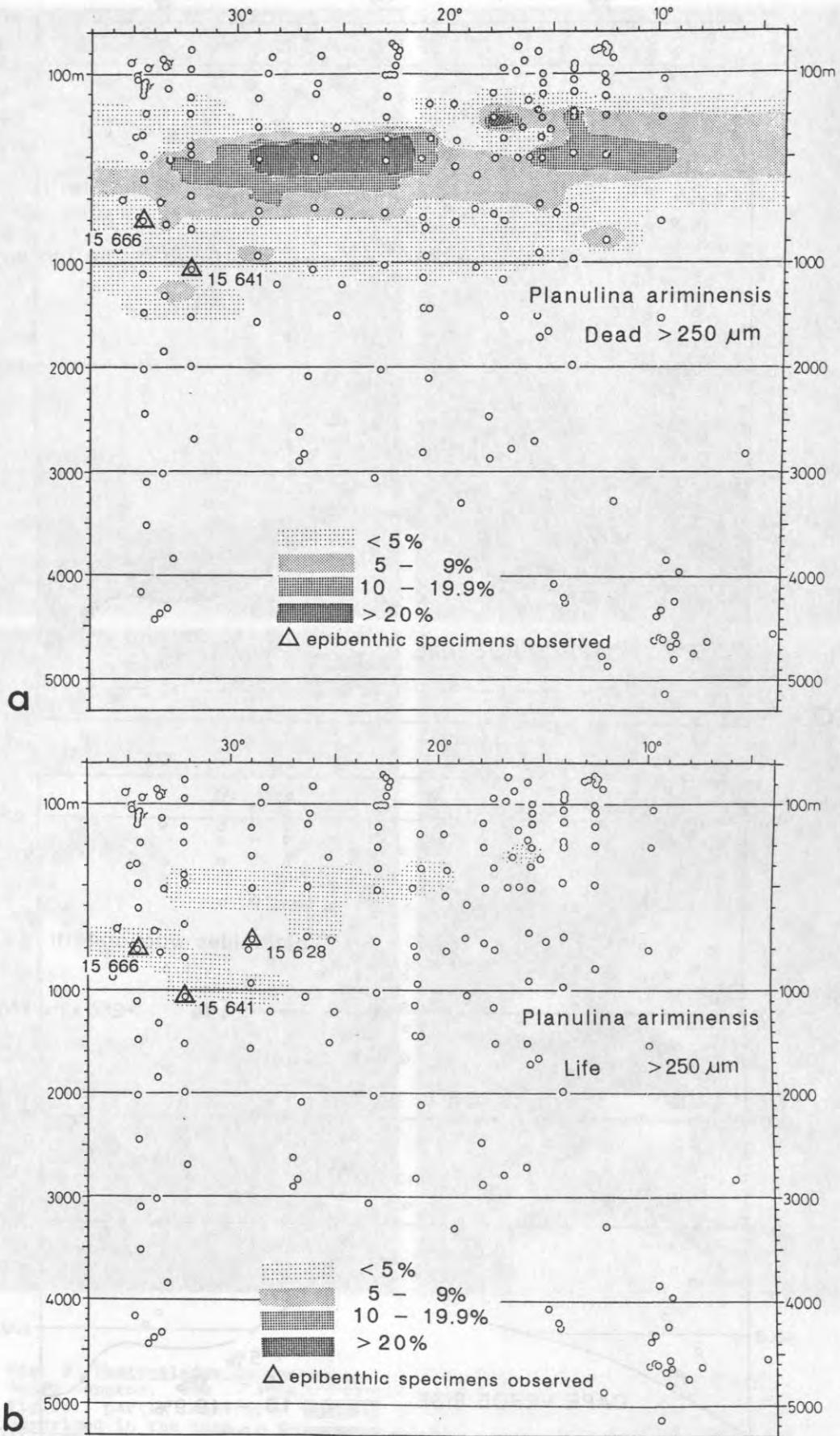


Fig. 4: Distribution of *Planulina ariminensis* off NW - Africa.-- Percentages arranged in a depth/latitude diagram (NOSOFO slope plot); a) high proportions in the dead assemblage, with distinct maxima in depths around 500m, b) in contrast to that: only sparse occurrences in the life assemblage, as deduced from stained sediment samples.

***Rupertina stabilis* (WALLICH), eine hochangepaßte, filtrierende
Benthos-Foraminifere.**

Lutze, G.F. & Altenbach, A. V.

Abstract

Rupertina stabilis (WALLICH), a highly adapted suspension feeding benthic foraminifer.-- The species occupies a depth restricted biotope of suspension feeding animals situated at the Norwegian continental margin. It extends from the Voering plateau northwards for at least 200 - 300 km, in depths between 600 and 800m. This slope position is known for relatively strong bottom currents and shifting watermass boundaries.-- The species is attached to hard substrates, mainly stones or hydroid stalks and obviously prefers an elevated position. It is building a permanent cyst of sponge spicules and debris at the apertural region. The spicules are used to support a pseudopodial network similar to that described from *Halyphysema* (LIPPS 1983). It is believed to serve as a filter apparatus.-- A review of known occurrences in the Atlantic is given, suggesting a temperature adaption of the species ranging from 0 to a maximum of 8° Cels. Specimens were successfully cultured for about 2 - 3 weeks.

Einleitung

Erst in letzter Zeit werden häufiger Beobachtungen über Lebensweise und Mikrohabitate benthischer Foraminiferen veröffentlicht, obwohl sie für die Interpretation fossiler und rezenter Faunengemeinschaften unentbehrlich sind. So weist LIPPS noch 1979 auf den Mangel an biologischen Daten hin, welche die ökologischen Schlußfolgerungen vieler Veröffentlichungen abstützen müßten. In seiner ausgezeichneten Zusammenstellung der Foraminiferen-Synökologie (in TEVESZ & McCALL 1983, S.342) gibt LIPPS Beispiele für suspensionsfressende Benthosforaminiferen. Sie haben generell Gehäuse entwickelt, die den Mündungsbereich über die Sediment-Oberfläche hinaus erheben und benötigen vielfach Stützen, um die Pseudopodien-Filamente in einer Strömung ausbreiten zu können. Die von LIPPS angeführten Gattungen *Homotrema* und *Halyphysema* verwenden dazu agglutinierte Schwammstacheln. Als vermutlich ähnlicher Fall wurde bereits von CHRISTIANSEN 1971 die Lebensstellung von *Marsipella arenaria* beschrieben, allerdings gibt dieser Autor nicht an, ob es sich bei den zur Ausbreitung der Pseudopodien verwendeten "threads" um Schwammstacheln handelt. 1983 fanden wir in einer Probe vom Norwegischen Kontinentalhang eine große Zahl von *Rupertina*-Gehäusen, die sämtlich im Mündungsbereich agglutinierte Schwammstacheln zeigten. Auch BRADY(1884) hatte bereits, ohne eine Erklärung dafür zu geben, Schwammnadeln an solchen Gehäusen beschrieben. Wir haben daher in der Folgezeit den Fundort mehrfach aufgesucht, um die vermutete Deutung dieses Phänomens mit biologischen Beobachtungen zu untermauern. Dabei stellte sich heraus, daß *Rupertina* mit anderen Suspensionsfressern und echten Filtrierern eine klar abgrenzbare Biozönose bildet, gewissermaßen als Reaktion des Benthals auf eine spezifische Form der Partikelzufuhr.

Methoden

Siedlungsdichten und Prozentanteile der Art wurden an Standardproben (400 cm³ Oberflächensediment) ermittelt, die bei Entnahme in Methanol/Bengalrotlösung konserviert und vorsichtig über ein 63µm Sieb geschlämmt wurden. Kulturversuche

wurden an Bord in einem Durchflußbecken durchgeführt, das an die Bordwasserleitung (Seewassersystem, 7-8⁰ Cels.) angeschlossen war (1984). Ein Teil der lebend entnommenen Rupertinen wurde in Petrischalen bei 2-4⁰ Cels. gehältert. Auf den späteren Expeditionen (1985, 1986) wurden die zu beobachtenden Foraminiferen in Kleinaquarien gehalten, die mit einem Eheim-Durchflußkühlssystem auf 4⁰ C temperiert waren. Näheres wird jeweils bei der Beschreibung der Beobachtungen mitgeteilt.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Beobachtung der Mikrohabitate dieser Foraminiferen war die Verwendung von Großkastengreifern (erfaßte Fläche jeweils 50 x 50cm, bei teilweise ungestörter Oberfläche). Die sofortige mikroskopische Beobachtung konnte in einem speziell ausgerüsteten "Bio-Container" erfolgen, in dem u.a. ein Operations-Mikroskop mit Fotoeinrichtung fest installiert ist.

Der Rupertina-Biotop

Lage und Ausdehnung: Der Biotop erstreckt sich als schmales Band am oberen Kontinentalhang über dem Voringplateau, die Lage ist in Abb. 1 wiedergegeben. Die Stationen mit hohen Siedlungsdichten von *Rupertina* (und entsprechend hohen Biomassewerten) liegen zwischen 66⁰ 10' und 67⁰ 45' N und damit ca. 176 km auseinander. All diese Stationen weisen Wassertiefen zwischen 600 und 700m auf, mit einer Ausnahme von 800m. Man kann also davon ausgehen, daß sich der Biotop in der Horizontalen mindestens 200 km weit erstreckt, während er in der Vertikalen nur einen Tiefenbereich von wenig mehr als 100m einnimmt.

Nach neuesten Befunden von der Polarstern-Expedition 'Arktis IV/1987' ist der Biotop noch auf 82⁰ N ungefähr in derselben Wassertiefe ausgebildet.

Hydrographie: Die Tiefenlage der Massengrenzen der norwegischen Tiefenwasserkörper schiebt sich in der Nähe des Voring-Plateaus und des Norwegischen Kontinentalhanges nach oben (Mosby 1959, 1972). Dadurch liegen oberhalb von 1000m Wassertiefe die Grenzen des Norwegischen Bodenwassers (NSBW), des Norwegischen Tiefenwassers (NSDW), der Mischwasserzone

(Transition Layer, TL) und des Nordatlantik Wassers (NAW) am Kontinentalhang relativ dicht zusammen. Am häufigsten dürfte der Rupertinen-Biotop im Bereich der Transition Layer liegen. - Die Art toleriert in ihrem Lebensbereich also die Temperaturen verschiedener Wasserkörper und damit Werte zwischen -0.4 und 8° .

In Übereinstimmung mit diesen Beobachtungen von MOSBY(1972) wurde auf der Poseidon Expedition 137 im Februar 1987 die Obergrenze des NSBW (-0.9°C) in 828m angetroffen, während sie auf hoher See bei etwa 1500m liegt. Die Wassermassengrenzen von Tiefenwässern sind anfällig für gezeitenbedingte, interne Wellen, die zu hohen Strömungsgeschwindigkeiten führen (FAHRBACH & MEINCKE 1978). Damit sind im Siedlungsbereich der Rupertinen relativ starke Bodenströmungen zu erwarten.

Strömungsmessungen aus diesem Gebiet wurden von SOERSTROM et al. (1983) vorgelegt. Während im überlagernden, freien Wasserkörper in Tiefen von 200 m und 300 m die Strömungsrichtung ausschließlich zwischen NNW und ESE liegt, sind im bodennahen Bereich (5m über Grund) die Strömungen umlaufend verteilt, stark wechselnd, mit einem Maximum bei 10°N bis 30°N . In dieser Richtung treten die höchsten gemessenen Geschwindigkeiten auf (41 cm sec^{-1}), die Durchschnittswerte liegen bei 15 cm sec^{-1} .

Substrat und Primärproduktion: Die Sedimente bestehen, der hohen Wasserbewegung entsprechend, aus relativ grobem Material. Korngrößenanalysen zeigen eine deutlich polymodale Verteilung mit überwiegendem Sandgehalt (Hauptanteil in der Fraktion $200-300\ \mu\text{m}$). Die weiteren Verteilungsmaxima liegen im Grobsand bis Kiesbereich, selten im Feinkornbereich (Tab. 1). Die Sedimentationsraten dürften in dem teilweise steinigen Sediment extrem gering sein, feine Partikel werden bei den Strömungsgeschwindigkeiten kaum sedimentiert und rasch resuspendiert. So liegt auch der Gehalt an org.C bei nur 0.4 Gewichtsprozent im Oberflächensediment und nimmt in 3 cm Sedimenttiefe auf 0.28 % ab (Dr. Rumohr, frdl. mündl. Mitt.). Was an 'Feinanteil' vorhanden ist (teilweise feiner gelbgrauer Mulm) dürfte von den filtrierenden Organismen eingebracht sein.

Die jährliche Primärproduktion im Norwegischen Küstenstrom liegt bei 90-120 g org.C m⁻². Der überwiegende Teil davon wird während der Frühjahrsblüte (von April bis Juni) produziert, und innerhalb sehr kurzer Phasen steigt dabei die Produktion auf 4,5 g org. C m⁻² pro Tag (Rey 1980). Die Zufuhr von primärproduziertem Material aus der euphotischen Zone dürfte darum im Lebensraum der Rupertinen deutlich saisonal erfolgen.

Biozönose: Die beobachteten Kastengreiferflächen waren meistens relativ dicht von größeren Metazoen besiedelt, von denen gleichfalls die meisten als Suspensionsfresser (Filtrierer) anzusprechen sind:

- Bryozoen
- Hydrozoen
- Kieselschwämme
- filtrierende Crustaceen
- filtrierende Polychaeten

Die hohen Strömungsgeschwindigkeiten bedingen lange Transportzeiten für feinkörnige Sedimentpartikel und insbesondere organische Partikel. Damit sind Suspensionsfiltrierer, bei geringen Sedimentationsraten von Nahrungspartikeln aber höheren Transportraten von organischem Material pro Zeiteinheit im Bodenwasser, augenscheinlich begünstigt.

Andere Foraminiferen: Zusammen mit *Rupertina* (40%) kommen in der >250µm-Fraktion besonders häufig *Reophax scorpiurus* (15%) und *Cribrostomoides subglobosum* (7%) vor, sowie zusammen 15% *Saccorhiza ramosa* und *Rhabdammina abyssorum*, die ebenfalls als Suspensionsfresser anzusprechen sind (ALTENBACH et al. 1987). Über 50% der größeren Foraminiferen haben demnach hier diese Lebensweise. - In der >125µm-Fraktion ist die dominierende Art ebenfalls *Rupertina* (17%), danach folgen jedoch *Trifarina angulosa* (12%), *Cassidulina teretis* (10%) und *Reophax scorpiurus* (9%). Die Anteile der suspensionsfressenden Arten sind in der kleinen Fraktion also wesentlich niedriger. Die Werte der 125µm-Fraktion wurden aus MACKENSEN 1985 entnommen.

Beobachtungen an *Rupertina*

Die Siedlungsweise ist ausgesprochen fleckenhaft, auf freistehenden Steinen und auf Hydrozoengeflecht werden Flecken mit sehr dichter Besiedlung gefunden, die Siedlungsdichten betragen dort bis zu $100/10\text{cm}^2$. Der über eine größere Fläche gemittelte Durchschnitt liegt niedriger, so ergeben die Standardproben im zentralen Teil des Biotops Höchstwerte zwischen 5 und $11/10\text{cm}^2$. In den marginalen Bereichen wurden dagegen lediglich Werte von 0.4 bis $2.4/10\text{cm}^2$ angetroffen. Die von der Art gehaltene Biomasse liegt noch höher als nach diesen Zahlen zu erwarten ist, da *Rupertina* offenbar prall mit Protoplasma gefüllt war und mit $15\mu\text{g}_{\text{orgC}}$ pro adultes Exemplar etwa die 9-fache Biomassemenge einer ausgewachsenen *Uvigerina* erreicht (Messungen nach ALTENBACH 1987). Tabelle 1 zeigt, daß dadurch mehrfach Werte von über $70\mu\text{g}$ *Rupertina*-Biomasse auf 10cm^2 auftraten. Ähnlich hohe Werte wurden z.B. unter dem Auftriebswasser-Gebiet vor NW-Afrika an den dort dominierenden Arten ermittelt (ALTENBACH 1985). Dort handelt es sich um ein ausgesprochenes Hochproduktionsgebiet (LUTZE et al. 1986).

Die von uns lebend gefundenen *Rupertinen* trugen im Mündungsbereich ausnahmslos eine Art Sandzyste, in die stets einige mehr oder weniger lange Schwammstacheln von Kieselschwämmen eingearbeitet waren, die seitlich weit herausstanden (Fig.4a). Wiederholte Beobachtungen an lebenden, aktiven Exemplaren zeigten eindeutig, daß diese Zysten keine fest agglutinierte Wandung haben und daß die Schwammnadeln zumindest teilweise in ihrer Lage verändert werden können, also flexibel eingebaut sind. Es fällt auch auf, daß die Nadeln immer trichterartig nach oben angeordnet sind, so daß sie bei seitlich angewachsenen, waagerechten Gehäusen eine andere, "abgekippte" Anordnung haben.- An den Stacheln befindet sich klebriges Protoplasma, an dem vorüberströmende Partikel haften bleiben. Teilweise gehen von den Nadeln weiter gespannte Pseudopodien-Netze aus, die zwischen abgestorbenen Hydrozoenstengeln und anderen festen Teilen ausgespannt werden (Fig.3c). Dicht stehende *Rupertinen*, deren Stacheln sich nahezu berühren, bilden ein gemeinsames Pseudopodien-Geflecht (wie von ZUMWALT & DELACA an *Homotrema* beobachtet, in LIPPS 1983, S.342). Die Netze und das

Protoplasma an den Stacheln werden nicht zurückgezogen bei Störungen durch Starklicht (Blitzlicht) und starker Wasserbewegung. Schäden treten aber offenbar auf, wenn viel Detritus aufgewirbelt wird und an den Pseudopodien haften bleibt (die Gehäuse sehen dann wie bepudert aus). Obwohl wir die Nahrungsaufnahme, also Verdauung oder Aufnahme von an den ausgebreiteten Pseudopodien haftenden Partikeln, nicht direkt beobachten konnten, halten wir die ausgebreiteten Nadeln für eine spezielle Anpassung zum passiven Herausfiltern von Nahrung aus dem vorbeiströmenden Bodenwasser. Dafür sprechen auch vielfältige Bemühungen, höher in das strömende Wasser hineinzukommen: Noch dünnste, herausragende Hydrozoenstengel werden besiedelt und tiefer, z.B. zwischen Steinen angeheftete Gehäuse werden im Durchschnitt um ein vielfaches höher (gestreckter) als die exponiert siedelnden Exemplare. Die Fußplatten (attachment discs) geben den Gehäusen meistens einen festen Halt. Dennoch können auch unter natürlichen Bedingungen Gehäuse abgerissen werden. Die scharfkantigen Fußplatten werden dann zum Teil zurückgebildet und gewissermaßen "gerundet". Auch in Petri-schalen gehältere Tiere entwickelten teilweise diese Rückbildungen. Solche abgetrennten Rupertinen können sich unter günstigen Bedingungen erneut festsetzen, und zwar mit jedem beliebigen Teil des Gehäuses.

Da die Schwammnadel-Zysten äußerlich *Crithionina* -artigen, halbkugelförmigen Sandschalern ähneln, die auch am hier behandelten Fundort vorkommen, könnte es sich bei ihnen theoretisch auch um eine eigenständige, parasitär oder kommensalisch auf *Rupertina* lebende Art handeln. Es wurden daher mehrfach Zysten abpräpariert und für sich allein beobachtet. Die Zysten desintegrierten jedoch und die Plasmareste zersetzten sich. Dünnschnitte durch Zysten wurden elektronenmikroskopisch untersucht und zeigten die gleiche schaumige (vakuolenreiche) Protoplasmastruktur wie sie innerhalb der benachbarten, peripheren Bereiche des zugehörigen Rupertinengehäuses vorgefunden wurde. Diese besondere Struktur unterscheidet sich deutlich von der im inneren Bereich der Foraminiferen-Zellen (auch bei *Rupertina*). Wir gehen daher davon aus, daß es sich bei den Zysten um Bildungen der Rupertinen handelt. Beim Anbau neuer Kammern werden die Zysten offenbar nicht entfernt, sondern

allenfalls leicht angehoben. dafür sprechen die die Abdrücke der größeren Schwammnadeln, die im elektronenmikroskopischen Bild deutlich sichtbar sind (Fig.4b). Die Nadeln liegen dadurch gleichsam in Rillen und können bei stärkerer Strömung leichter in Position gehalten werden.

Die in den Durchflußbecken gehälterten Rupertinen gediehen am besten bei Temperaturen um 4° Cels., kurzfristiges Ansteigen der Temperaturen auf über 12° führte zum Absterben. Die in Petrischalen gehaltenen Exemplare blieben noch ca. 3 Wochen am Leben. Danach konnte keine intakten Pseudopodien-Netze oder Nadelzysten mehr beobachtet werden.

Die Verbreitung der Art im Atlantik (Fig.2) kann aus den relativ wenigen Literaturangaben natürlich nur unvollständig abgeleitet werden. Es wird aber bereits deutlich, daß sie nicht in höheren Temperaturen als max. 8° vorkommt und daß auch die sonstigen Umweltbedingungen (z.B.Strömungen) unseren Fundorten in der Arktis entsprechen. Das gilt besonders für die von HERB (1971) mitgeteilten Fundstellen in der Antarktis. Offenbar kommt *Rupertina stabilis* auch im Pazifik in entsprechenden Biotopen vor, worauf verschiedene Hinweise in der älteren Literatur hindeuten. Sie kann also als weltweit verbreitete Kaltwasserart mit besonderer Anpassung an strömendes, Nahrungspartikel führendes Wasser aufgefaßt werden. Dies wurde auch durch unsere neuesten Untersuchungen an lebendem Material aus der zentralen Arktis bestätigt. Bei 82° N tritt unter der ganzjährigen Packeisdecke in etwa 700 m Wassertiefe *Rupertina stabilis* auf Bryozoen auf. Die weit nach Norden unter das Packeis reichenden Ausläufer des Westspitzbergen-Stromes führen zu ostwärts gerichteten, hangnahen Strömungen, in denen im Bereich des Lebensraumes der Rupertinen maximale Konzentrationen an Trübstoffen gemessen wurden (Fahrtbericht zur Expedition ARKTIS IV/3 des F.S. Polarstern, 2.9.1987).

Diskussion

Die festgestellte Verteilung als schmales Band am Kontinentalrand zeigt einmal mehr, daß spezifische Foraminiferen-Gemeinschaften nicht an Wasserkörper "als Ganzes" gebunden sind, sondern an bestimmte Bereiche derselben mit einer besonderen Ernährungs-Situation. Hier handelt es sich dabei um den nicht genau lagekonstanten Grenzbereich zwischen dem Nordatlantikwasser (NAW), dem Tiefenwasser (NSDW) und dem Bodenwasser (NSBW) der Norwegischen See. In diesen Sprungschichten dürfte es einerseits zur Anreicherung vertikal und horizontal transportierter Nahrungspartikel kommen, andererseits dürften durch interne Wellen und zyklonale Vorgänge in der unmittelbaren Nachbarschaft Bodenströmungen verursacht werden, welche die feinen Partikel vorübergehend in Suspension halten und an den Suspensionsfresser-Zönosen vorbei führen.

Es muß noch geprüft werden, in wie weit diese Strömungen auch durch reliefbedingte Bündelung (Rinnen) verstärkt werden können. Immerhin fällt aber auf, daß die Biotope offenbar horizontal angeordnet sind und nicht den ganzen Hang über mehrere Hunderter Tiefenmeter erfassen, wie es bei flächenmäßiger Abwärtsströmung zu erwarten wäre.

Das erwähnte Vorkommen auf 82°N zeigt hydrographisch ganz andere Verhältnisse: es liegt voll im dort allerdings wesentlich kälteren Nordatlantikwasser. Dagegen ist die Ernährungssituation ähnlich, da vergleichbare Bodenströmungen und ein hoher Anfall von organischem Detritus aus höheren Wasserschichten festgestellt wurde. Man kann daraus nur ableiten, daß weder die Bodenwassermassen als Ganzes, noch einzelne ihrer physikalischen Parameter (t , s , σ) prinzipiell die Verbreitung der Foraminiferen regulieren, sondern sehr häufig die Menge, die Form und zeitliche Varianz des Nahrungsangebotes.

Literatur

- ALTENBACH, A. V. (1985): Die Biomasse der benthischen Foraminiferen.- Auswertungen von "Meteor"-Expeditionen im Östlichen Nordatlantik.-- Dissertation Universität Kiel.
- ALTENBACH, A. V. (1987): The measurement of organic carbon in Foraminifera.-- J. Foraminiferal Res. 17(2): 106-109.
- ALTENBACH, A.V. UNSÖLD, G. & WALGER, E. (1986): The hydrodynamic environment of *Saccorhiza ramosa* (BRADY).-- Berichte des Sonderforschungsbereiches 313, 6 (in print).
- BRADY, H.B. (1884): Report on the Foraminifera dredged by HMS "Challenger" during the years 1873-1876.-- Repts. Voyage Challenger, Zool.9: 1-814.
- CHRISTIANSEN, O.(1971): Notes on the biology of Foraminifera.- Vie et Milieu 22: 465-478.
- EARLAND, A.(1934): Foraminifera III. The Falklands sector of the Antarctic.-- Discovery Reports 10: 1-208.
- FAHRBACH, E. & MEINCKE, J. (1978): High frequency fluctuation near the bottom over the continental slope. - "Meteor" - Forschungsergebnisse, Reihe A, 20:1-12.
- FLINT, J.M.(1899): Recent Foraminifera.-- Rept. U.S. National Museum for 1897: 249-349.
- HERB, R.(1971): Distribution of recent benthonic Foraminifera in the Drake Passage.-- Antarct. Res. Series 17: Biology of the Antarctic seas IV, G.A.LLANO & I.E.WALLEN editors, p.251- 300.
- LIPPS, J.H.(1983): Biotic interactions in benthic Foraminifera.-- in TEVESZ & McCALL, eds: Biotic interactions... Plenum Press, New York.

LUTZE, G.F., PFLAUMANN, U. & WEINHOLZ, P.(1986): Jungquartäre Fluktuationen der benthischen Foraminiferenfaunen in Tiefsee-Sedimenten vor NW-Afrika - Eine Reaktion auf Produktivitätsänderungen im Oberflächenwasser.-- "Meteor"-Forsch. Ergebnisse C 40: 163-180.

MOSBY, H. (1959): Deep water in the Norwegian Sea. - Geofys. Publ. 11: 1-62.

MOSBY, H. (1972): Basic problems in the Norwegian Sea. - Ambio Spec. Rep., 2: 2-10.

REY, F. (1980): Primary production estimates in the Norwegian Coastal Current between 62°N and 72°N. - In: Saetre, R. & Mork, M. (eds.), The Norwegian Coastal Current. Proc. from the Norwegian Coastal Current Symp., Vol. II, p. 640-648.

SOERSTROM, S.E.(1983): Preliminary investigations in the Traenabanken-Lofoten Area.--Rept. 2.0108, Continental Shelf Institute IKU, Norway.

THIEDE, J. und Fahrtteilnehmer (1987): Vorläufiger Bericht PVFS Polarstern Expedition ARK IV/3.--Alfred Wegener Institut Bremerhaven und Geologisches Institut Universität Kiel.

WALLICH, G.C.(1877): On *Rupertia stabilis*, a new sessile foraminifer from the North Atlantic.-- Ann. Mag. Nat. History, Ser. 3, 12: 448-468.



Station GIK	Tiefe (m)	Breite N	Entn.-Zeit Monat/Jahr	standing stock sediment rocks	Biomasse µg/10cm ²	Korngrößen Anteile (Vol %)			
						<63µm	63-2000µm	>2000µm	
23 222	666	66°51.9	8/1983	11.4	171.0	32.2	48.3	19.4	
23 237	644	66°53.7	9/1984	100					
23 000	668	66°53.8	7/1985	4.9	65	74.4	35.7	50.6	13.7
23 014	893	67°48.8	7/1985	0.4		6.4	55.9	19.4	24.7
23 015	796	67°47.2	7/1985	2.0		32.2	41.1	38.9	20.0
23 016	614	67°45.4	7/1985	0.8		12.8	8.8	79.4	11.8
23 022	606	67°45.5	7/1985	0.5		6.5	9.9	76.2	13.9
23 023	638	67°45.6	7/1985	6.0	80	86.6	15.4	65.3	19.3
23 027	601	66°32.7	7/1985	2.4		38.6	49.3	38.8	11.9
23 076	607	66°20.7	7/1986	0.7		5.2	66.3	32.5	1.2

Tabelle 1: Siedlungsdichten, Tiefen und Sediment.

Erläuterung zu Fig.2:

Verbreitung von *Rupertina stabilis* im Atlantik.

Die Stationen wurden nach Tiefe und Breitengrad in das Nord/Süd-Profil eingetragen. Schwarz: eigene Beobachtung, weiß: Literaturtitat.

- 1) Locus typicus, WALLICH 1877: 3 Lokalitäten vor der Ost- und Westküste Südgrönlands, 198m und 2205m Wassertiefe.
- 2) bis 6) Porcupine- und Challenger-Stationen aus BRADY 1884
- 7) Meteor-Station 12 332 vor den Cape Verde Isl. Auch hier vergesellschaftet mit Bryozoen, Kieselschwämmen und Hydrozoen-Kolonien.
- 8) EARLAND 1934, bei den Falklandinseln, 1 500m Tiefe
- 9) u. 10) FLINT 1899, Albatross-Stationen im Golf v. Mexico und vor der Ostküste der USA, 1749 und 2161m Tiefe.
- 11) HERB 1971, Eltanin-Stationen 305, 161.

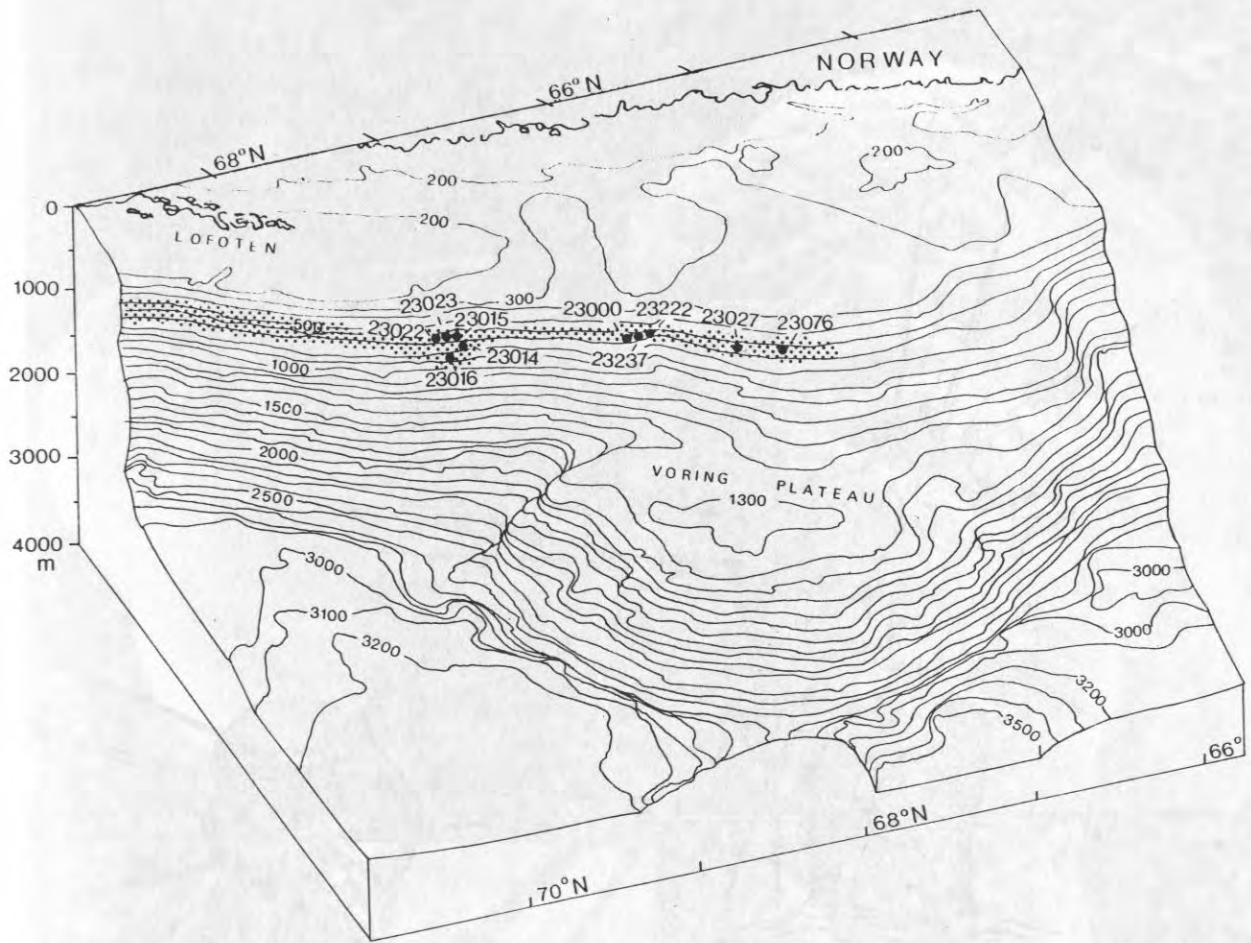


Fig. 1: Ausdehnung des Rupertina-Biotops am Kontinentalhang vor Norwegen und Lage der Stationen.

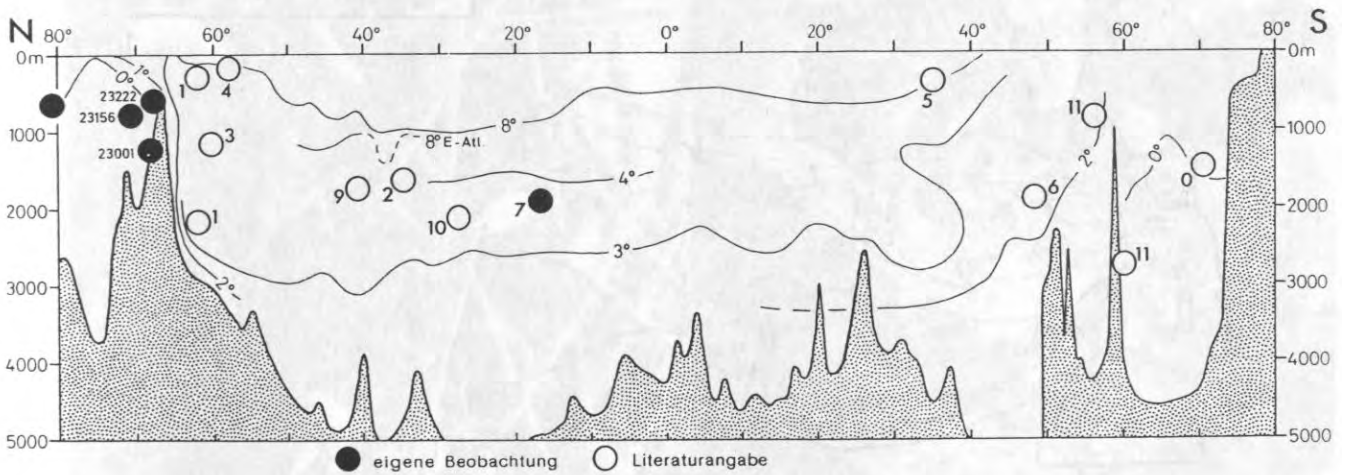


Fig. 2: Vorkommen im gesamten Atlantik.-- Black: own observation. White: literature reference.-- The numbers are explained on page 42.

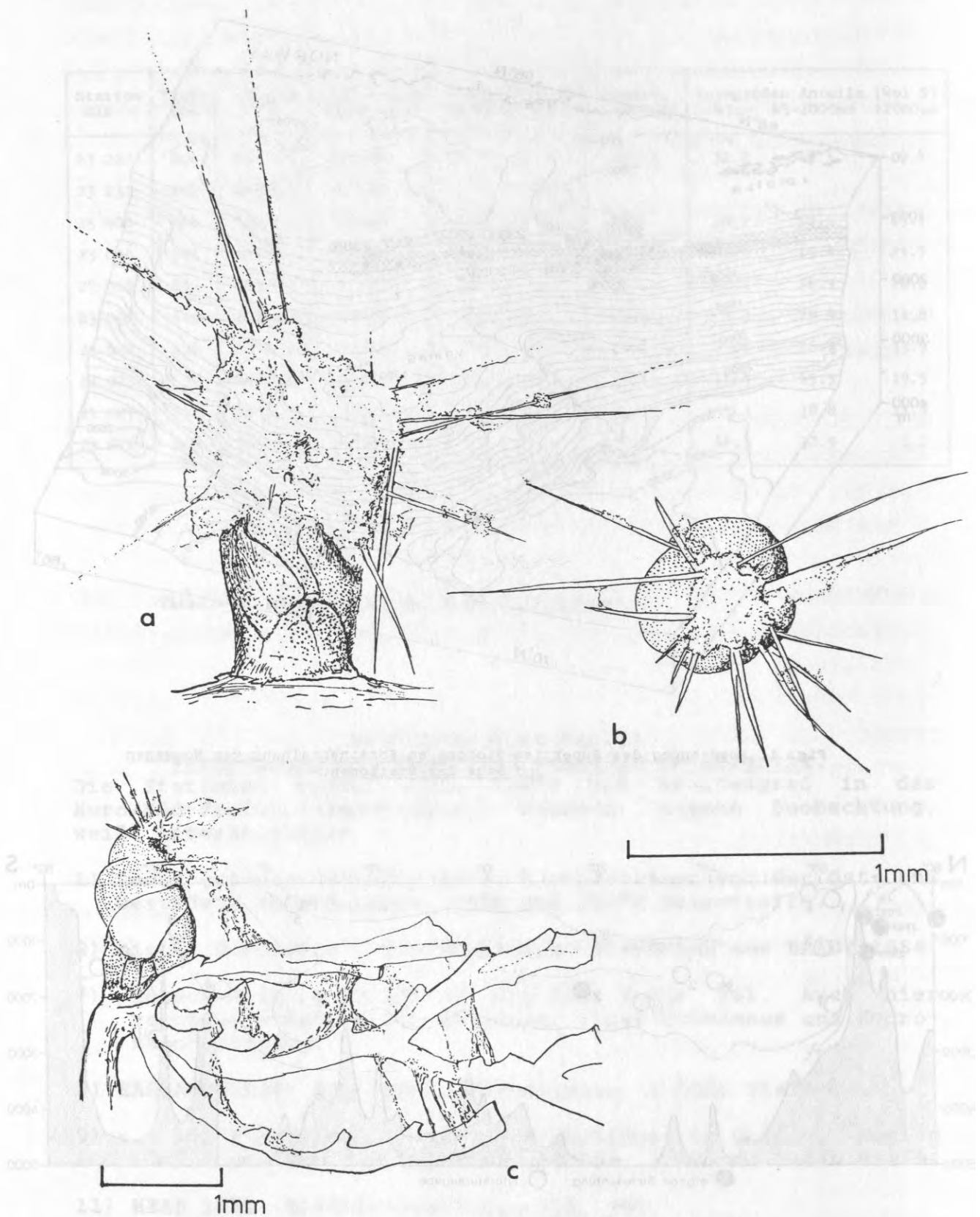


Fig. 3: *R. stabilis* in Lebendstellung.-- a: von der Seite, b: von oben, c: auf Hydrozoen-Stengeln, zwischen diesen ein Pseudopodien-Netz ausbreitend.

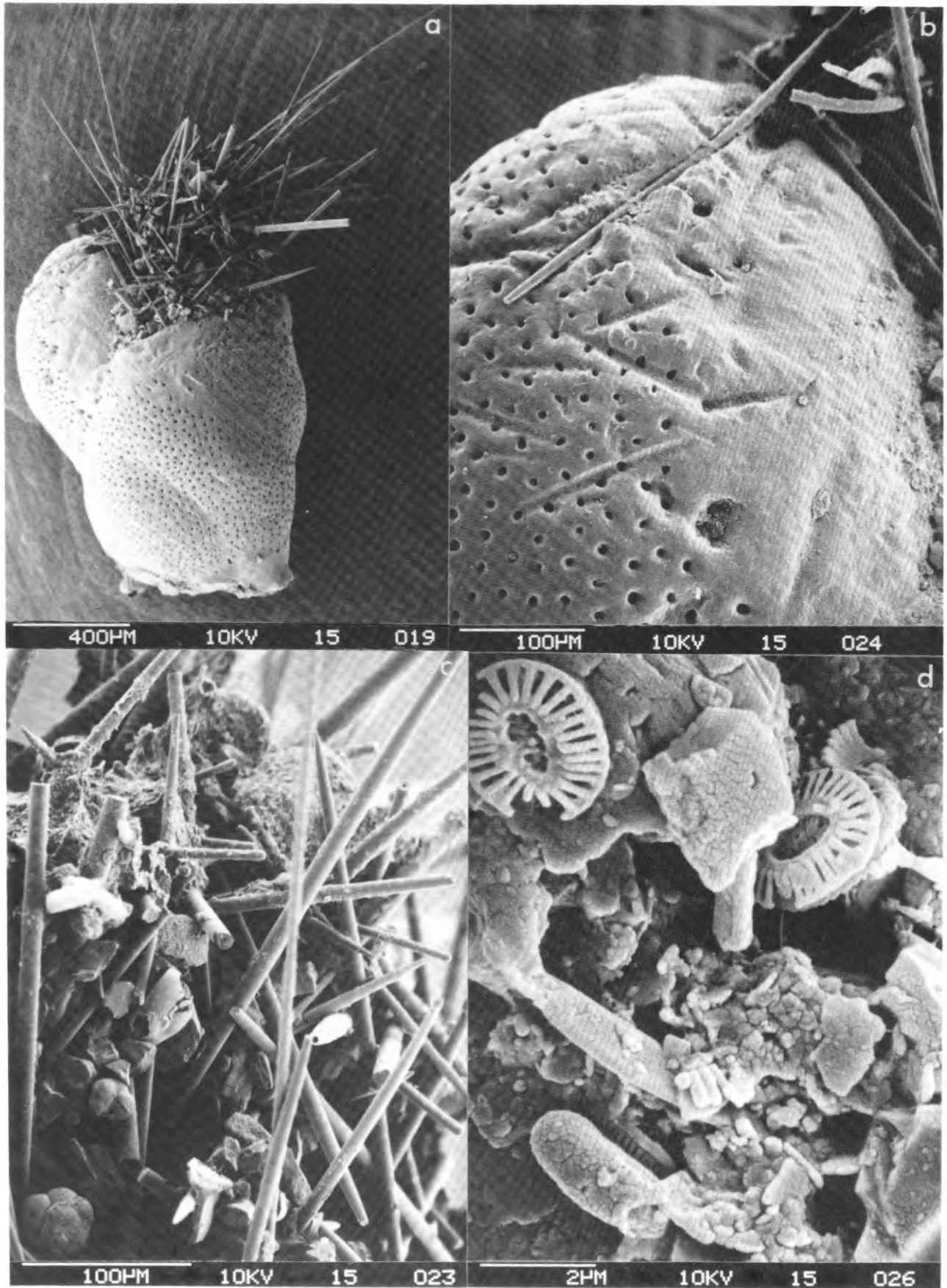


Fig. 4: Detail-Aufnahmen mit dem Rasterelektronen-Mikroskop.-- a: Übersichts-Aufnahme, b: Oberfläche der jüngsten Kammer. Die im Mündungsbereich angeordneten Schwammnadeln liegen z.T. in Rillen, die bei der Kammer-Neubildung entstehen, c: Detail der Schwammnadel-Zyste, oben Reste einer Art von 'Agglutinerung', d: diese in stärkerer Vergrößerung, mit Coccolithen und anderen eingefangenen Partikeln.

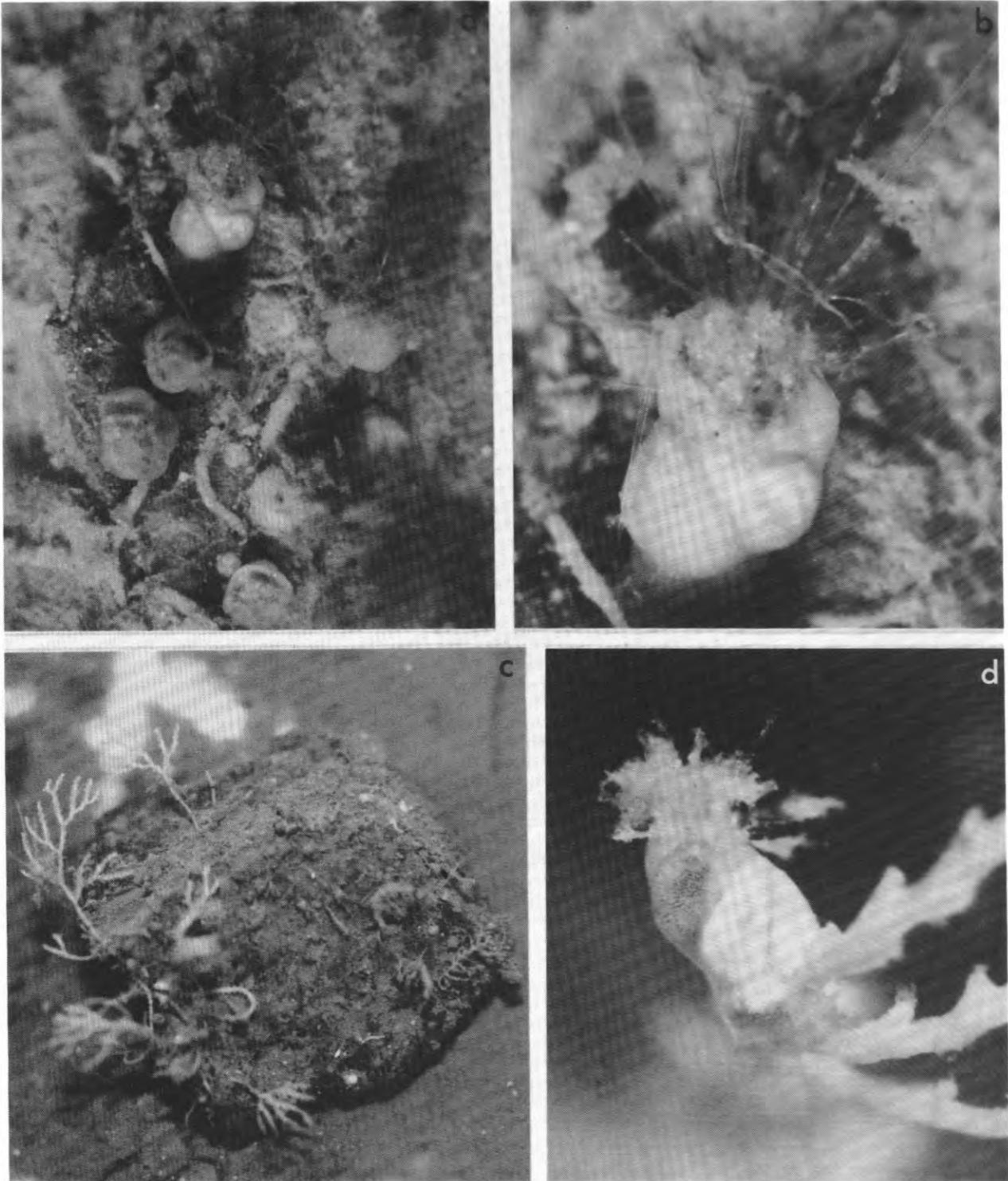


Fig. 5: Aufnahmen von lebenden Rupertinen.-- Die gezeigten Exemplare wurden in Plastikschaalen gehältet. a: die auf einem Stein angehefteten Gehäuse stehen so dicht, daß ihre Schwammnadelzysten sich teilweise berühren, b: Aufsicht, c: Stein mit Hydrozoen-Stengeln, relativ dicht besetzt mit Rupertinen, d: das in Fig. 3c zeichnerisch dargestellte Exemplar auf Hydrozoen-Stengeln.

The hydrodynamic environment of *Saccorhiza ramosa*

Altenbach, A.V., Unsöld, G. and Walger, E.*)

Astract

During the study of deep-sea box-corers at sea, 3 specimens of the agglutinated benthic foraminifer *Saccorhiza ramosa* were observed in live position. The test emerges erect from the surface of the sediment, in which it is moored by a root structure, so providing firm support for the protoplasmic net spread above the surface of the sediment for suspension feeding. The test protrudes into the velocity profile of the near bottom shear flow, wherein the local mean velocity rapidly increases with increasing distance from the bottom. Therefore, the higher the test the higher will be the flux of nutrient particles available for capture by the animal. But, at the same time, there is increased danger that the test will be laid down by a stronger current event. Thus *Saccorhiza ramosa* has to solve an optimization problem. Possible factors controlling its solution are discussed, considering the current conditions in the observed habitat, as they can be derived from the sedimentary record laid down in the substrate.

*) Geologisches Institut d. Universität, Olshausenstr. 40, 2300 Kiel, Germany (F.R.G.)

Biological material and methods

During cruise 65 of R.V. "Meteor" off NW-Africa (Gambia Abyssal Plain and Kane Gap) surface samples were taken with a large box-corer (50x50x60 cm) at locations with depths ranging from 3500 to 5000 m. Selected portions of the undisturbed sample surface were carefully removed, using a flat, thin-walled plastic box with a basal surface of ca. 10 cm x 7.5 cm, cut open on one side. By slowly and gently pressing the box laterally into the sediment, surface samples of ca. 1.5 cm thickness could be removed under seawater cover. Without delay the samples were scrutinized under a stereomicroscope.

A prerequisite for observations as described below is the skilful handling of the box corer by the experienced crew of RV "Meteor". In the present case, in addition, they were favoured by calm weather. The surface of the sediment sample was perfectly undisturbed, the seawater covering it being crystal clear.

At each of the stations 16404, 16405, and 16410 (Fig. 1, Tab. 1) one test of the agglutinated benthic foraminifer *Saccorhiza ramosa*, still standing erect in the sediment, was recovered with the box sample allowing study of three specimens found in situ.

Table 1: Depth and location of samples.

name of sample	depth (m)	latitude (N)	longitude (W)
GIK 16 404	4787	12° 40,3'	21° 17,9'
GIK 16 405	4870	12° 15,6'	21° 24,7'
GIK 16 410	3969	8° 54,6'	20° 51,0'

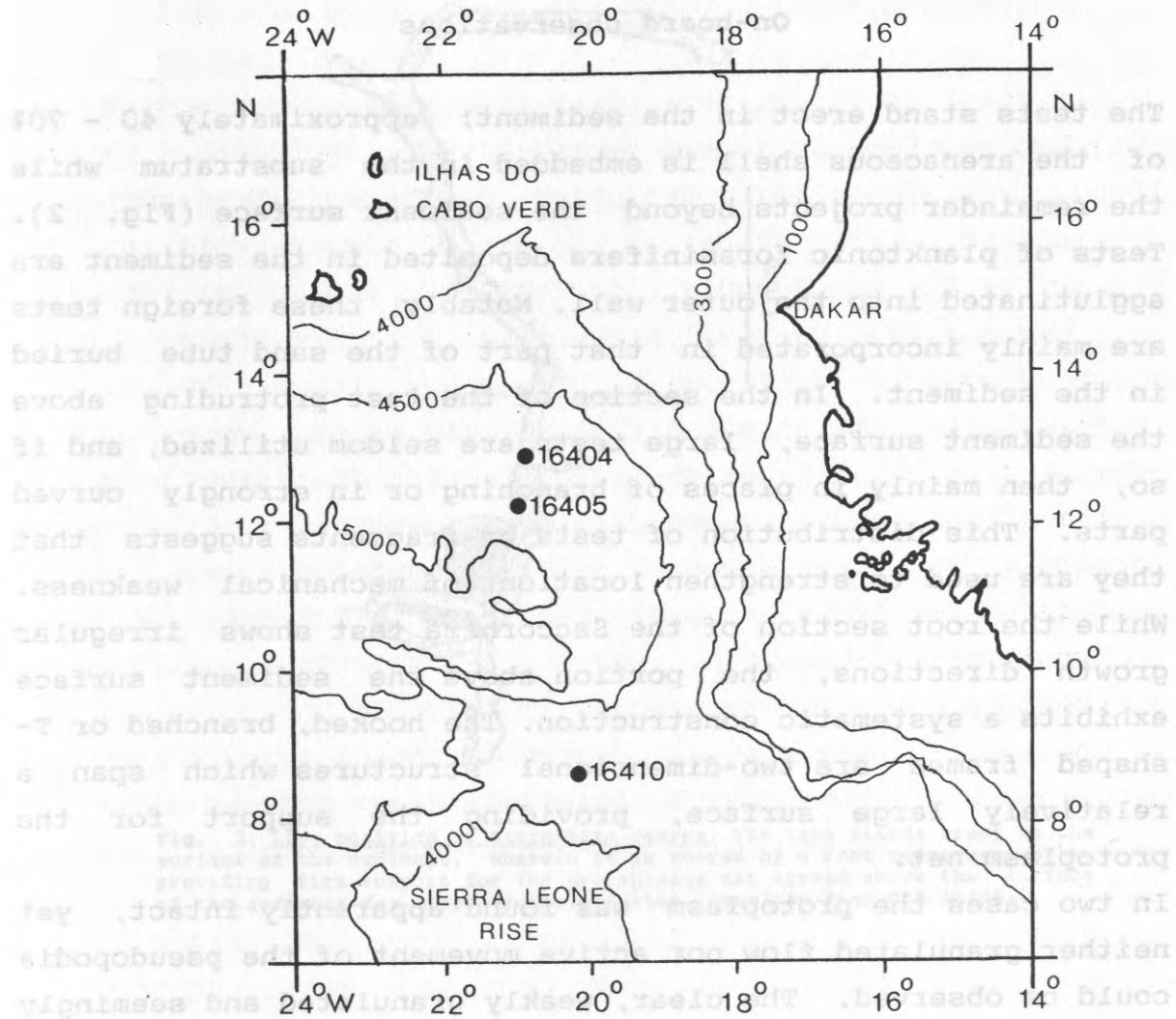


Fig. 1: Location map of sediment surface samples GIK 16404, 16405 and 16410, where specimens of *Saccorhiza ramosa* were found in live position.

On-board observations

The tests stand erect in the sediment; approximately 40 - 70% of the arenaceous shell is embedded in the substratum while the remainder projects beyond the sediment surface (Fig. 2). Tests of planktonic foraminifera deposited in the sediment are agglutinated into the outer wall. Notably, these foreign tests are mainly incorporated in that part of the sand tube buried in the sediment. In the section of the test protruding above the sediment surface, large tests are seldom utilized, and if so, then mainly in places of branching or in strongly curved parts. This distribution of tests or fragments suggests that they are used to strengthen locations of mechanical weakness. While the root section of the Saccorhiza test shows irregular growth directions, the portion above the sediment surface exhibits a systematic construction. The hooked, branched or T-shaped frames are two-dimensional structures which span a relatively large surface, providing the support for the protoplasm net.

In two cases the protoplasm was found apparently intact, yet neither granulated flow nor active movement of the pseudopodia could be observed. The clear, weakly granulated and seemingly very viscous protoplasma was wrapped around the frame in the form of a flat sail (Fig. 3).

Cytoplasmatic movements could not be observed, either initially or for several days after being placed dark and cooled down to 5 °C. It could not be determined if the massive thick habitus of the plasm was merely a reaction to the pressure and temperature shock or due to an irreversible damage caused by the sampling. It was also not possible to determine to what extent the protoplast contributes to the development of the pseudopodia.

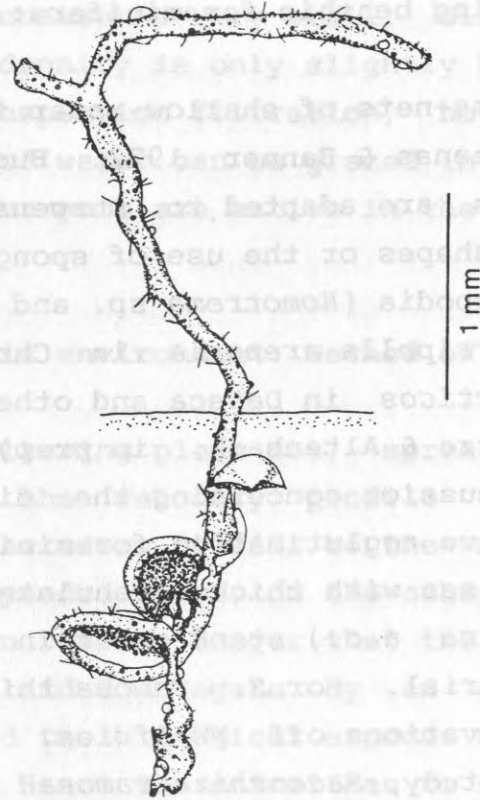


Fig. 2: Live position of *Saccorhiza ramosa*. The test stands erect on the surface of the sediment, wherein it is moored by a root construction, so providing firm support for the protoplasmic net spread above the surface of the sediment for suspension filtration. Specimen from GIK 16405.

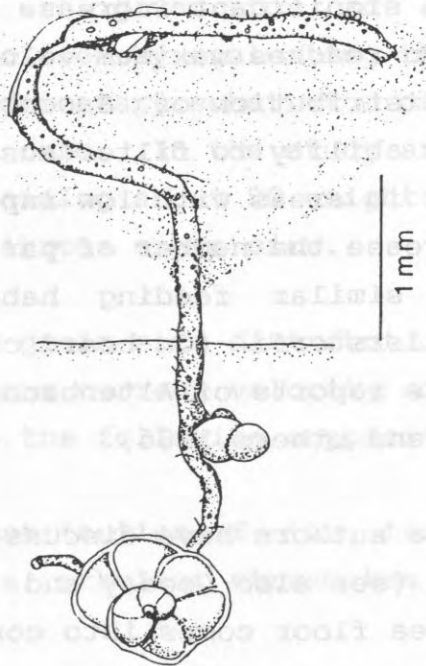


Fig. 3: Live position of *Saccorhiza ramosa*. The clear, weakly granulated and seemingly very viscous protoplasm of *Saccorhiza ramosa* is wrapped around the frame in the form of a flat sail. Specimen from GIK 16404.

Suspension feeding benthic foraminifera: Discussion

Freely floating plasma-nets of shallow-water foraminifera are well known (see Sheenan & Banner 1972, Buchanan & Hedley 1960). Some species are adapted to suspension feeding by specialized test shapes or the use of sponge spicules for support of the pseudopodia (*Homotrema* sp. and *Halyphysema* sp. in Lipps 1983; *Marsipella arenaria* in Christiansen 1971; *Notodendrodes antarcticos* in DeLaca and others 1980; *Rupertina stabilis* in Lutze & Altenbach, in prep). Gooday (1983) presumes in his discussion concerning the different feeding habits of the primitive agglutinating foraminifera, that those found in the deep-sea with thick granulated plasma (i.g. *Saccorhiza*, *Rhabdammina* a.o.) stand erect in the sediment and filter suspended material. For *S. ramosa* this assumption is verified by our observations off NW-Africa.

In the area of this study, *Saccorhiza ramosa* is most abundant on the northern continental slope and rise, grouped in the "*Cibicidoides kullenbergi* / *Cibicidoides wuellerstorfi* - biofacies" by Lutze and Coulbourn (1984). Other species are dominant on the southern continental slope ("*Uvigerina peregrina* - biofacies"). Flux rates of organic matter to the sea floor also show a significant increase south of 21°N, where primary production reaches maximum values (Altenbach 1987). Thus the spatial distribution of *Saccorhiza ramosa* appears to be related to its ability to filter suspended material which may favour it in areas with low input of food, where even weak currents increase the number of particles caught per time unit. Recently, similar feeding habits were observed in *Cibicidoides wuellerstorfi* (On-board observations of Lutze (1984) and cruise reports of Altenbach, Linke and Romero-Wetzel in Gerlach and others 1986).

Most of the above authors have discussed the efficiency of suspension feeding (see also Gooday and Cook, 1984). Plasma spread upon the sea floor comes into contact with only those food-particles found in the immediate vicinity. Yet, plasma spread as a spatial net above the sediment surface will be a more effective tool, as soon as the velocity of an advective current surmounts the settling velocity of the food-particles.

This velocity increase is very small, since the particles are tiny and their density is only slightly higher than that of sea water. By suspension filtration, however, a considerably bigger volume of water can be grazed in search for food if only very weak currents are active in the habitat.

Hydrodynamic environment: Method of reconstruction

A suspension filtering plasm net, spread above the bottom, projects into the velocity profile of the near bottom current, and therefore it will be the more efficient, the higher it is suspended. Yet, on the other hand, the animal is exposed to the increasing danger that the supporting construction will be laid down again by an extraordinary strong current event and the biological expense of having erected it will be in vain. Hence the animal has to solve an optimization problem. If we could estimate the approximate velocity of maximum current conditions possible in the environment of *Saccorhiza ramosa*, we should be able to understand how it has solved that problem.

Promising conditions are given for an attempt to infer limiting current velocities by evaluating the the grain size distribution of the sedimentary substratum on which the animal lives in the present case. In the study area, this was a globigerina ooze containing about 30 weight percent of grain sizes smaller than 50 mikrons sieve size.

The evaluation of the grain size distribution of a sediment with respect to maximum current velocity since its time of deposition is based on the following suppositions:

- The frequency distribution of the instantaneous local velocities in a turbulent stream has a finite upper limit.

- If the sediment contains a sufficient proportion of coarse grains with individual critical velocities sufficiently higher than the upper limit of the instantaneous velocities effective on the sediment surface, then this will become armoured with a cover of residual sediment, in which that grain sizes are enriched, which cannot be mobilized at the corresponding current conditions.
- Thus the upper limit of the range of mobilized grain sizes marks the effect of the upper limit of the instantaneous velocities at the level of the bed surface.
- Since experiments for the determination of critical shear velocities are conducted using sediments with rather narrow grain size ranges, the resulting variables (critical shear velocity, mean grain size) effectively approximate the variable pairs (critical shear velocity, mobilized maximum grain size) for the residual sediment formation.

Experimental observations underlying these suppositions are described and discussed more detailed in Rumohr et al. (1987, pp. 210-219). This paper also contains a diagram of the SHIELDS type which displays

$$\tau_o^+ = f(Re_*)$$

where $Re_* = u_* \cdot d / \nu$

$$\tau_o^+ = \tau_o^* / (g \cdot (\rho_s - \rho) \cdot d)$$

with u_* bottom shear velocity ν kinematic viscosity

ρ_s grain density ρ fluid density

d grain diameter g gravity constant

This diagram was experimentally determined by Unsöld (1984). It is based on a wider grain size range than the classical SHIELDS diagram and it should be more reliable, since the critical state was not merely determined by visual inspection, but by carefully measuring transport rates. Thus it contains a family of curves with the parameter $Q_s^+ = \text{const}$,

where $Q_s^+ = Q_s / (\rho_s \cdot g \cdot d \cdot u^*)$ dimensionless transport rate,

with Q_s transport rate as weight per unit width per second.

The diagram is the contour line representation of the lowermost portion of the surface $Q_s^+ = f(\tau_{cr}^+, Re)$, as schematically depicted by YALIN (1972). The contour line $Q_s^+ = 10^{-7}$ was completed by extrapolation and used in the computation described below.

If one wants to use the SHIELDS function, one needs to know the densities of the particles. These have been determined by the following procedure:

The portion of the foraminiferal ooze containing the coarser grains above 0.05 mm diameter was separated by wet sieving, then split by dry sieving into fractions of 1/3 phi degrees width.

The distribution of the settling velocities of these particles in water was determined, using a sedimentation balance (settling distance 3 m, tube diameter 0.2 m, scale of the resulting equivalent diameter approximately logarithmic with 3 cm/(phi grade), scale of weight proportion 25 cm/(sample weight), see Walger 1966).

From the distances between the distribution curves of the settling diameters and of the sieve diameters (Fig. 4A) at equal percentiles, it is evident that the sediment particles have settling velocities which are the same as spheres with 'effective densities' as shown in Fig. 4B (open circles).

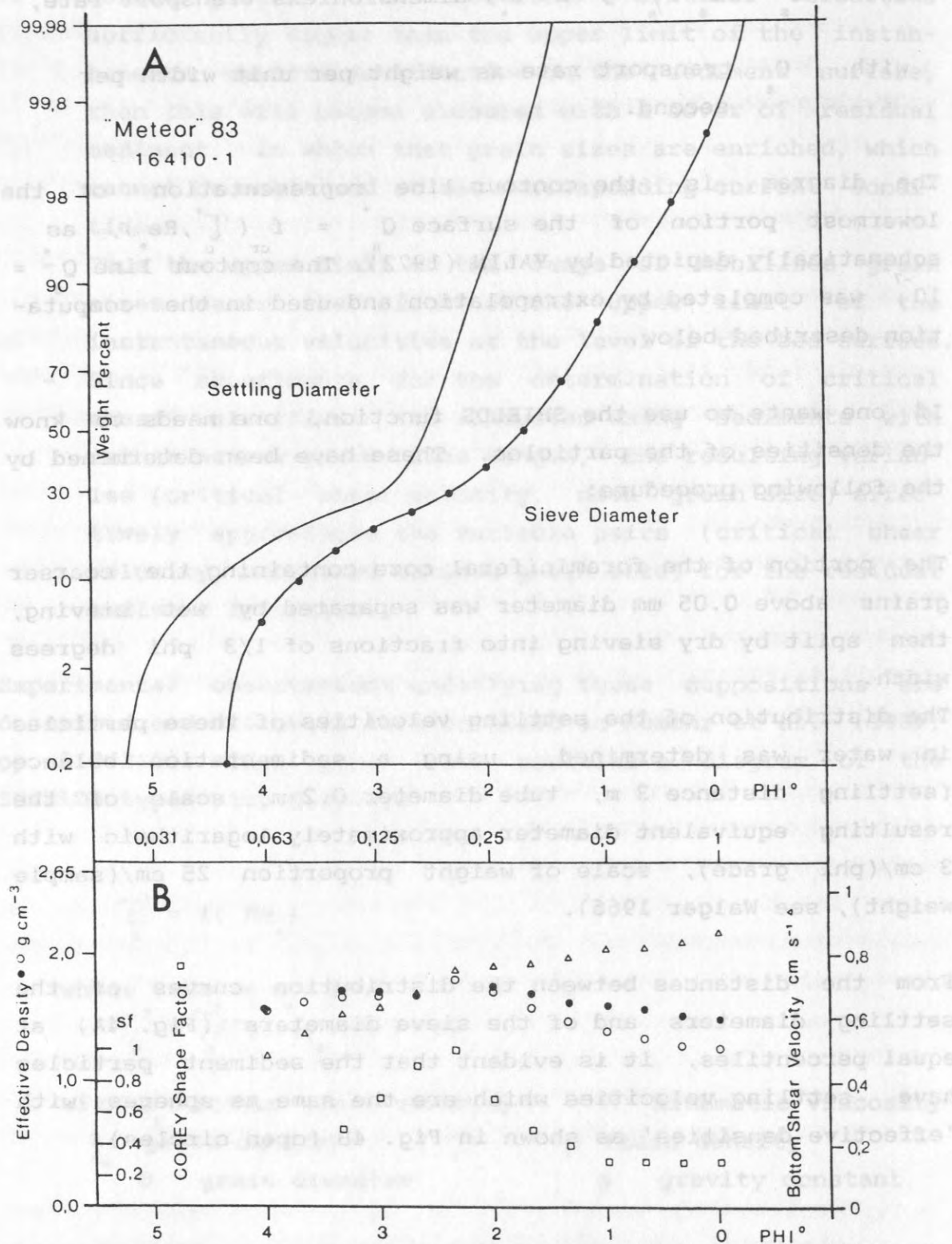


Fig. 4A: Full circles: sieve mesh width used. Test sieves according to DIN 4188 (German standard).

Fig. 4B: For each of the corresponding sieve size fractions:
 Full circles: apparent density, neglecting the shape effect.
 Open circles: apparent density, regarding the shape effect.
 Open squares: Corresponding COREY shape factors.
 Triangles : resulting critical bottom shear velocity.

Both the grain size distributions (Fig. 5) have a remarkably steep flank towards finer grain sizes, whose foot region corresponds to near 0.2 mm sieve diameter. Downwards it is continued by a markedly lower, broad secondary mode. Such a form of a grain size distribution allows to interpret it as the result of a residual sediment formation, in which the upper limit of the size range of grains which could be mobilized, is indicated by the position of the steep flank, in the present case lying near 0.2 mm sieve size.

Discussion of the method

One may doubt that this interpretation is justified because the sample represents only the coarsest one-third of the whole sediment more so, and the remaining 70 percent of material is in the fine grain size range, which tends to make a sediment cohesive. But the critical shear velocities of muddy sediments with a comparable water content can be as low as 0.5 cm s^{-1} or less, as found by Unsöld (unpublished data), in experiments with an underwater flume on muds in the Kiel Bight of the western Baltic. If the surface of such a sediment is violated by erosion, the formation of a residual sediment becomes possible if grains with sufficiently high individual critical velocities are available, as in the present example. Since the residual layers may be only a few grain diameters thick, they can hardly be detected by a sampling procedure as described above, especially if muddy material is present which would bury the layer soon after its formation, possibly even before the generating current event has faded away.

One may therefore hesitate to accept the above proposition, but what could be an alternative? Why should we not use a 'mean grain size', which is one of the usual measures of central tendency? Should this measurement be determined from the total sediment or, if not, from what proportion? None of these alternative methods can be physically justified. Furthermore, use of the HJULSTROEM diagram, based on a 'mean grain size', is not valid since it refers to 'mean current

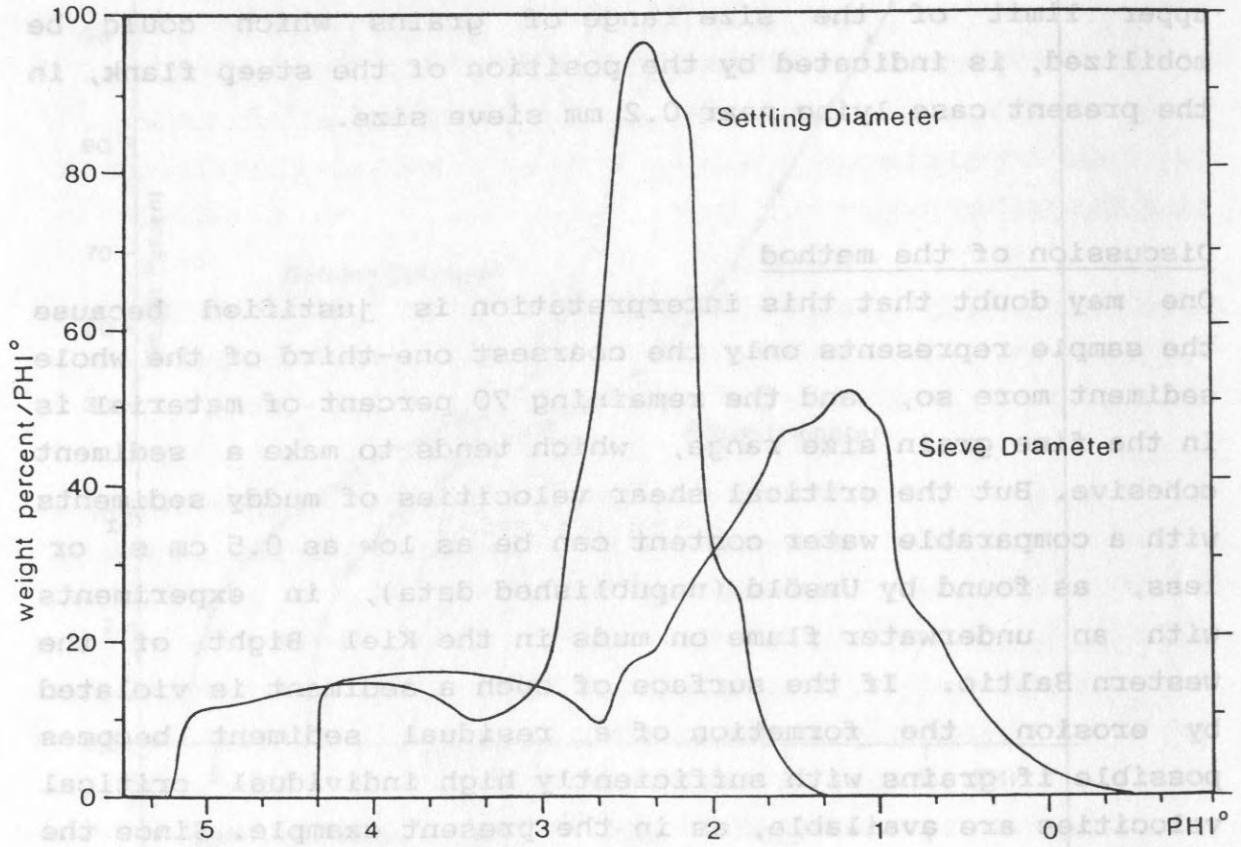


Fig. 5: Frequency curves corresponding to the cumulative distribution curves from fig. 4A.

velocity' and therefore 'water depth' must be a parameter (Sundborg 1956). Obviously 'water depth' is not a relevant parameter in the situation we are dealing here.

In contrast, the method proposed in this paper has, a sound physical basis, which is experimentally justified. Whether or not the coarse tail of the grain size distribution of the whole sediment can be justifiably interpreted as representing a residual material may also be tested as shown below:

Reconstruction of the current regime for sea water with:

salinity	$s = 35$	g kg^{-1}
temperature	$t = 2$	$^{\circ}\text{C}$
density	$\rho = 1.028$	g cm^{-3}
kin. viscosity	$\nu = 0.016$	$\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$
and particles with density	$\rho_s = 1.8$	g cm^{-3}

results in the estimate that the maximum last current forming the bottom should have effected a bottom shear velocity of

$$u_* = 0.75 \text{ cm s}^{-1} \text{ at } Q_s^+ = 10^{-7} .$$

If one makes the same estimate for any of the sieve fractions, it is seen, that the critical shear velocities would have a maximum in the fraction 0.2 to 0.25 mm, towards coarser grain sizes falling again. This would be at variance with the basic assumption characterized above.

However, the discrepancy can be removed by taking into account a factor neglected so far in determining the 'effective densities' of the particles: eventual effects of particle forms deviating from ideal sphericity were entirely expressed in terms of density, which, consequently, is increasingly underestimated with decrease in the size and sphericity of the respective particle.

To adjust the effective densities for form effects is a

difficult task. The attempt to overcome the problem is based on a graph of the relation 'Drag Coefficient C_D versus Reynolds Number Re ' with the Corey Shape Factor, sf , as parameter (Schulz, ^wWilde & Albertson 1954). Using this graph, the highest possible shape factors were determined, which were just sufficient to ensure a monotonous increase of the critical shear velocity with grain size. In Fig. 4B these shape factors (open squares) and the resulting effective densities (full circles) and critical shear velocities (open triangles) are displayed.

Computationally scanning the range of possible values showed that there is some latitude of judgement, which one must expect given the weaknesses in the basic knowledge. It is therefore surprising that the margins of judgement proved to be relatively narrow. Inspection of the actual particle shapes in the corresponding sieve size fractions of an other sample from the same site showed a fair agreement with the mean shape factors determined by the procedure as described above: The fine grained fractions below 0.2 mm sieve size show that with decreasing grain size, there is a larger proportion of shell fragments with flaky forms, while the coarser grained fractions (>0.25 mm) show that increasing grain size fractions include shells of foraminifera whose form is sharp-edged and lens-shaped.

The finally chosen numbers, displayed in Fig. 4B, are rather conservative, so there is a large margin for error within the overall results.

Since d_{90} of the coarser portion of the grain size distribution is smaller than 0.6 mm - the more so d_{90} and even d_{65} of the total sediment -, the flow over the bottom will be hydraulically smooth, assuming that the near bottom velocity profile can be adequately described by the logarithmic law of the wall.

Then the 'characteristic length' of the current state is $y_0^* = v/u_*$, and the thickness δ of the viscous sublayer can be estimated as $\delta = 5y_0^* = 0.1 \text{ cm}$. Within the transition

layer, extending up to $y = 70y_0 = 1.4 \text{ cm}$, in the region lying between approximately $y = 7y_0 = 1 \text{ m}$ and $y = 12y_0 = 12 \text{ mm}$ above the bottom, the variance of the turbulent velocity fluctuations has a broad maximum, as indicated in Fig. 5: the current there is extremely 'gusty'.

The *Saccorhiza* tests sampled in living position are not higher than just 2 mm. Thus, the situation observed (Fig. 6), suggests that the animals stop building higher when they leave the viscous sublayer and begin to feel the increasing violence of the 'gusts' which have their main source in the lower region of the transition layer (Fig. 6A).

Discussion of the result

The current state, as reconstructed above from the sedimentary record, under the assumptions made, results for a bottom distance of 1 m in an estimated temporary mean current velocity u_{100} of about 20 cm s^{-1} (Fig. 6B). Such a value fits unconstrainedly into the environment of the sampling site. The range of validity of the logarithmic velocity profile is very limited - to be cautious, we should assume it to be an adequate description for not more than 1 meter distance from the bottom. There above we must reckon with markedly higher temporary mean current velocities, which do not fit any more into an exactly logarithmic velocity profile with just that parameters as recorded in the sediment (SCHAUER, in: Rumohr et al. 1987, pp.191-200).

About the recurrence periods of current conditions as estimated above or similar ones we do not have any sufficiently reliable knowledge. The only time scale to be considered in that respect is given by the expectation, that individuals of *Saccorhiza* are able to build up a casing of the height observed within days. This would be the minimum response time of the animal to changing current conditions.

An indication that the animals may have to withstand somewhat stronger currents for a short time can be seen in their

'mooring technique'. Large particles are incorporated into the basal part of the test, thus anchoring it within the sediment and providing protection against being unrooted.

And even to the fate that their casings sometimes are actually laid down, they seem to be accustomed. In all the samples gathered previously they were found in that position, but with some individuals still showing indications of vitality. However, in judging such observations also the sampling conditions must be taken into account: The sample containing the upright casings was obtained at extraordinarily calm weather, and so was preserved from stronger disturbances of the sediment surface, as they normally occur when the sampler breaks through the rough surface of the sea or cannot be set down gently enough on deck of the pitching ship. But, even if compelling evidence is still be lacking, the probability is high, that individuals of *Saccorhiza* actually are able to survive also, if they are lying on the sediment surface, because otherwise the genus could hardly persist in an environment, where very strong currents cannot be impossible events.

On the other side: In their environment must not infrequently also much weaker current conditions prevail, as is documented by the finegrained portions of the sediment with grain sizes smaller than 0.05 mm, corresponding to shear velocities below about 0.5 cm s^{-1} . Then the animals are embedded entirely in the viscous sublayer, and especially under such slackened currents they will profit from reaching a higher section of the velocity profile, where the flux of nutrient particles may still be rewarding.

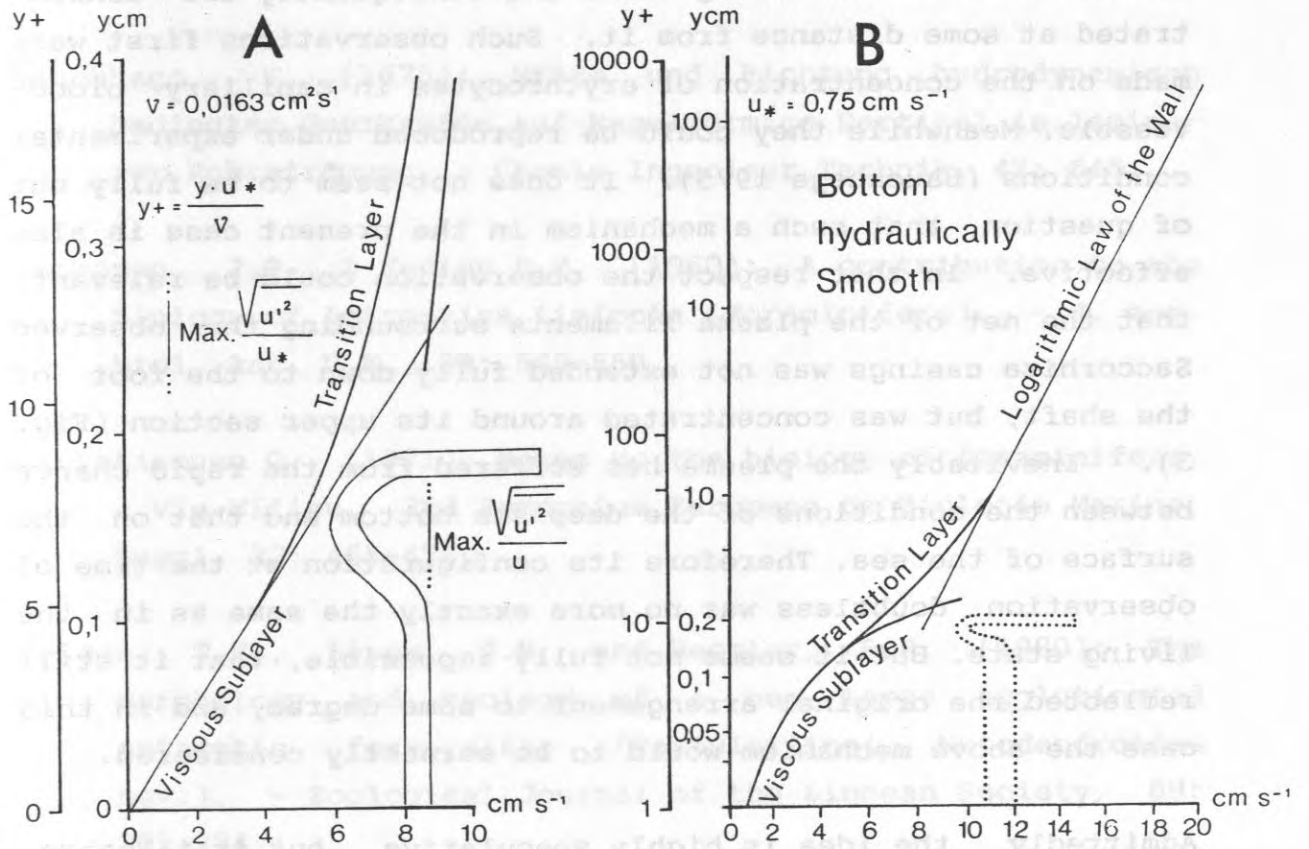


Fig. 6: Position of a 2 mm high test of *Saccorhiza ramosa* within a current velocity profile as deduced from the grain size distribution of the sediment.

Fig. 6A: The regions of maximum relative standard deviation of the turbulent velocity fluctuations are indicated. Their position depends upon the choice for the reference value: the local mean velocity u is more likely to be biologically relevant than the rather abstract bottom shear velocity u_* .

Fig. 6B: Logarithmic scale for the bottom distance: The partition of the velocity profile into viscous sublayer, transition layer and turbulent boundary layer shows up more clearly. Note: the image of the test is distorted in accordance to logarithmic distortion of distance scale.

An additional point of view which should be discussed, is given by observations which showed, that in laminar flows suspended particles, whose density is only slightly higher than that of the transporting fluid, are displaced from the contact with the confining walls and consequently are concentrated at some distance from it. Such observations first were made on the concentration of erythrocytes in capillary blood-vessels. Meanwhile they could be reproduced under experimental conditions (Bauckhage 1975). It does not seem to be fully out of question, that such a mechanism in the present case is also effective. In that respect the observation could be relevant, that the net of the plasma filaments surrounding the observed Saccorhiza casings was not extended fully down to the foot of the shaft, but was concentrated around its upper section (Fig. 3). Inevitably the plasma has suffered from the rapid change between the conditions of the deep sea bottom and that on the surface of the sea. Therefore its configuration at the time of observation doubtless was no more exactly the same as in the living state. But it seems not fully impossible, that it still reflected the original arrangement to some degree, and in this case the above mechanism would to be earnestly considered.

Admittedly, the idea is highly speculative, but it illustrates, that we should not omit any one of the complex hydraulic processes active in the near wall region of a shear flow, if we intend to understand the accommodation of an animal living there under the necessity to make the best of it.

Acknowledgements

We thank Dr. P. J. Moodie and Dr. A. J. Gooday for critically reading the manuscript, Prof. G.F. Lutze for useful discussions and M. Baumann, B. v. Brevern, L. Witte, U. Faber and S. Mülhan for the drawings and their help with the labwork. The studies were supported by the German Research Foundation (Deutsche Forschungsgemeinschaft). This is contribution no. 34 of the Sonderforschungsbereich 313, Kiel University.

References

- Altenbach, A. V. (1987): Deep sea benthic foraminifera and flux rates of organic carbon. - Benthos '86; 3rd Int. Symp. Benthic Foraminifera / Geneve, (in print).
- Bauchhage, K. (1975): Größe und Richtung hydrodynamisch bedingter Querkräfte auf kugelförmige Partikel in laminarer Rohrströmung. - Chemie Ingenieur Technik, 47: 645.
- Buchanan, J.B. & Hedley R.H. (1960): A contribution to the biology of *Astrorhiza limicola* (Foraminifera). - J. mar. biol. Ass. U.K., 39: 549-560.
- Christiansen O. (1971): Notes on the biology of foraminifera. - Vie Milieu, 3rd Symposium Europeen de Biologie Marine, Suppl. 22: 465-478.
- Delaca, T.E., Lipps, J.H. and Hessler, R.R. (1980): The morphology and ecology of a new large agglutinated Antarctic foraminifer (Textulariina: Notodendroidae nov.). - Zoological Journal of the Linnean Society, 69: 205-224.
- Gerlach, G., Thiede, J., Graf, G. and Werner, F. (1986): Forschungsschiff Meteor, Reise 2, vom 19. Juni bis 16. Juli 1986. - Berichte aus dem Sonderforschungsbereich 313, 4: 16-17. Kiel, F.R.Germany.
- Gooday, A.J. (1983): Primitive Foraminifera and Xenophyophorea in IOS epibenthic sledge samples from the NE-Atlantic. - Institute of Oceanographic Sciences, Report, No. 156, 33pp. Wormley, Great Britain.
- Gooday, A. J. and Cook P. L. (1984): An association between komokiacean foraminifers (Protozoa) and paludicelline ctenostomes (Bryozoa) from the abyssal northeast Atlantic. - Journal of Natural History, 18: 765-784.

- Lipps, J.H. (1983): Biotic interactions in Benthic Foraminifera. In: Tevesz, M.J.S. and McCall, D.L. (eds.): Biotic interactions in recent and fossil benthic communities. p. 331-376.
- Lutze, G.F. and Coulbourn, W.T. (1984): Recent benthic foraminifera from the continental margin of Northwest Africa: community structure and distribution. - Marine Micropaleontology, 8: 361-401.
- Lutze, G.F. (1984): "In-vivo" Untersuchungen an Benthosforaminiferen. In: Augstein, E., Hempel, G., Schwarz, J., Thiede, J. and Weigel, W., Die Expedition ARKTIS II des FS "Polarstern" 1984. - Berichte zur Polarforschung, 20: 124-125. Bremerhaven, F.R. Germany.
- Lutze, G.F. and Altenbach, A.V. (1987): *Rupertina stabilis* (WALLICH), a highly adapted suspension feeding benthic foraminifer. - (in prep.)
- Rumohr, J., Walger, E. and Zeitschel, B. (1987): Seawater-Sediment Interactions in Coastal Waters. An interdisciplinary approach. 338 p., Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo.
- Sheenan, R. and Banner, F.T. (1972): The pseudopodia of *Elphidium incertum* (Williamson). - Revista Espaniola Micropaleontologia, 4: 31-63.
- Sundborg, A. (1956): The River Klaraelven. A study of fluvial processes. - Geografiska Annaler, 38: 130-316.
- Unsöld, G. (1984): Der Transportbeginn rolligen Sohlmaterials in gleichförmigen turbulenten Strömungen: Eine experimentelle Überprüfung und Erweiterung der SHIELDS-Funktion. - Reports Sonderforschungsbereich 95, Wechselwirkung Meer-Meeresboden, Universität Kiel, 70, 141p.

Schulz, E.F., R.H. Wilde and M.L. Albertson (1954): Influence of shape on the fall velocity of sedimentary particles. - Colorado State University and U.S. Army Corps of Engineers, Missouri River Division, Sediment Series, 5, 163 p.

Walger, E. (1966): Critical remarks on sedimentation balances. - In: 2nd International Oceanographic Congress, Abstracts of papers, no. 458 - SymII, Moscow 1966.

Yalin, M.S. (1972): Mechanics of Sediment Transport. VIII, 290 p., Oxford Press, New York...

Foraminiferal-Verbreitung zwischen Norwegen und Grönland
im Ost-West-Profil

Lacze, G.F. and Salomon, B.

Abstract

Foraminiferal distribution between Norway and Greenland: an East-West transect. The main feature is an extremely low foraminiferal diversity. In the 1250 m transect only two species make up more than 50% of the basin faunal assemblages: *Elphidium* and *Ammonia*. Approaching the coast species numbers become close to normal, above 700m depth assemblages are dominated by epibenthic species, such as *Rapertina* and *Cibicides*. Standing stock is low in the basins but rather high in the Voring-Plateau. Along the inflowing Atlantic waters a zone starting at 1000m exceeding densities is found under the main upwelling area off North-West Africa.

**Foraminiferen-Verbreitung zwischen Norwegen und Grönland:
ein Ost-West Profil.**

Lutze, G.F. und Salomon, B.

Abstract

Foraminiferal distribution between Norway and Greenland: an East-West transect.-- The main feature is an extremely low foraminiferal diversity. In the >250 m-fraction only but three species make up more than 90% of the basin fauna: *Cibicides wuellerstorfi*, *Cibicides lobatulus* and *Pyrgo murrhina*. Approaching the slopes species numbers become close to 'normal', above 700m depth assemblages are dominated by epibenthic species, such as *Rupertina stabilis* and *Cibicides refulgens*-- Standing stock is low in the basins but rather high on the Voring-Plateau, below the inflowing Atlantic water; at some stations it is even exceeding densities observed under the main upwelling area off North-West Africa.

*) Geologisches Institut d. Universität, Olshausenstr. 40, 2300 Kiel, Germany (F.R.G.)

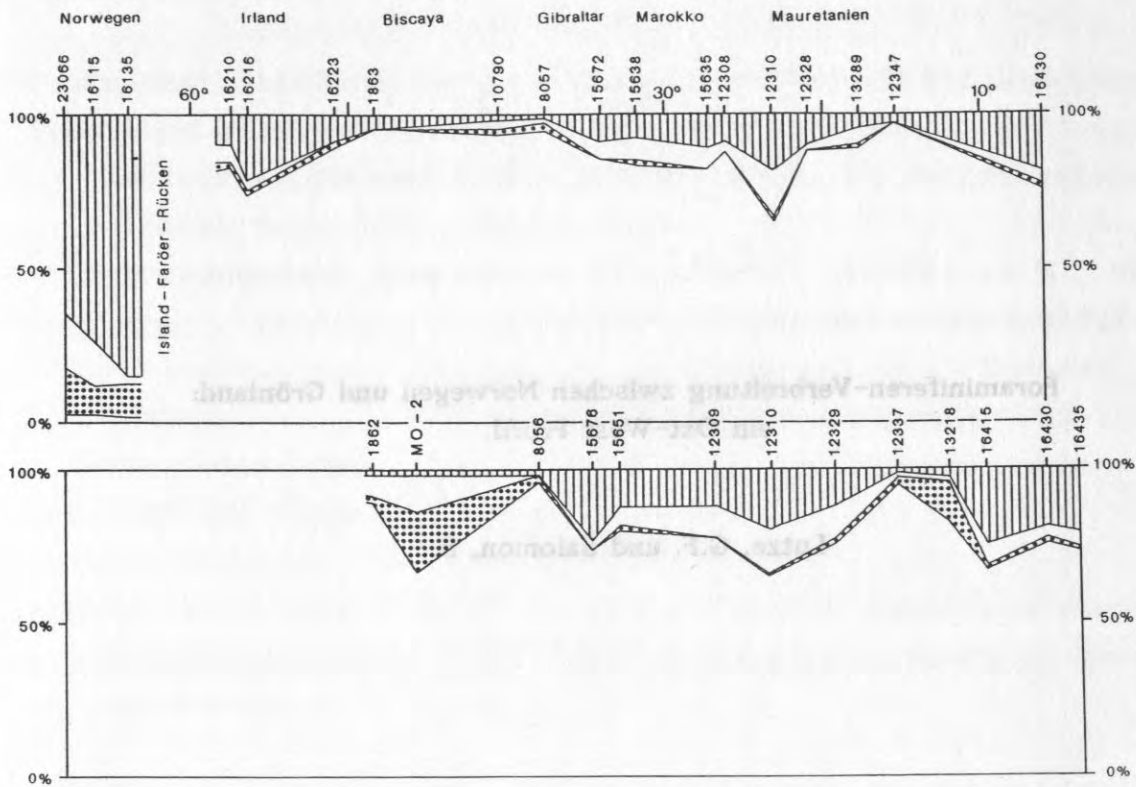


Fig. 1: Nord-Süd Profile durch den östlichen Nord-Atlantik.--Das obere Profil in ca. 2000m Tiefe; das untere in über 3000m Tiefe. Die Anteile der dominierenden subarktischen Arten (s. Fig. 2) gehen südlich des Island/Farøer-Rückens sehr stark zurück und erreichen zusammen nur in zwei Fällen über 30%.-- Diese Arten kommen aber in den entsprechenden Tiefen im gesamten Atlantik vor.-- Signaturen wie Fig.2!, Totfauna.

Fig. 1: North-South transect through the eastern North Atlantic.--The upper transect combines stations in appr. 2000m depth of water, the lower transect such of more than 3000m depth. It is obvious, that the subarctic species (see Fig.2) are drastically reduced in abundance south of the Iceland/Farøer ridge. Together they never exceed 30% but are usually present in their appropriate depth.-- Signaturen according to Fig.2, dead assemblage.

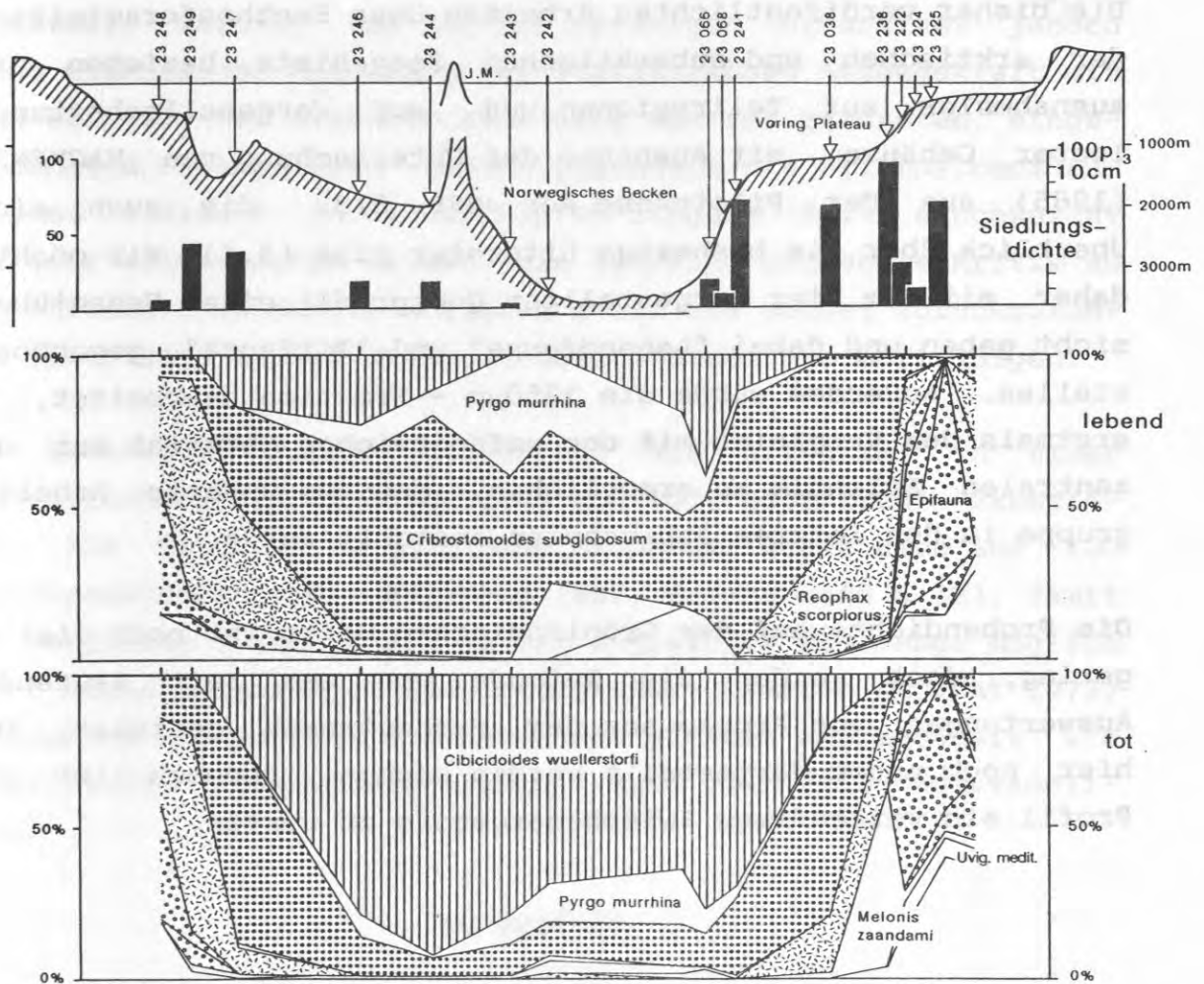


Fig. 2: Das Querprofil von Grönland nach Norwegen.-- In den Becken, also unterhalb 1500m Wassertiefe, dominieren nur 3 Arten: *Cibicidoides wuellerstorfi*, *Cibrostomoides subglobosum* und *Pyrgo murrhina*. Über einer Zone mit *Reophax scorpiurus* (um 1000m) folgt an beiden Hängen ein Gebiet, das von epibenthischen Arten dominiert wird (*Rupertina stabilis*, dann *Cibicides refulgens* u.a.). Das Profil liegt auf ca. 69.5'N.

Fig. 2: The transect between Greenland and Norway.-- The basins are dominated by only but three species: *Cibicidoides wuellerstorfi*, *Cibrostomoides subglobosum* and *Pyrgo murrhina*. They are bordered by zones with *Reophax scorpiurus* (around 1000m depth) and, above that, with several epibenthic species like *Rupertina stabilis* and *Cibicides refulgens*. The transect is situated at about 69.5' northern latitude.

Vorbemerkung

Die bisher veröffentlichten Arbeiten über Benthosforaminiferen der arktischen und subarktischen Seegebiete beziehen sich ausnahmslos auf Teilregionen und auf Vergesellschaftungen leerer Gehäuse, mit Ausnahme der Untersuchung von MACKENSEN (1985) aus der Pilotphase des SFB 313, die auch einen Überblick über die bisherige Literatur gibt (S.4). Wir möchten daher mit dem hier dargestellten Querprofil eine Gesamtübersicht geben und dabei "Lebendfauna" und "Totfauna" gegenüberstellen. Außerdem wurde die $>250\mu\text{m}$ - Fraktion bearbeitet, um erstmals den Vergleich mit dem umfangreichen Material aus dem zentralen Atlantik zu ermöglichen, das von unserer Arbeitsgruppe in den letzten Jahrzehnten erstellt wurde.

Die Probendichte auf der Grönländischen Seite ist noch viel zu gering, doch werden die Befunde von zur Zeit laufenden Auswertungen von Proben aus der Frahmstrasse gestützt, die hier noch nicht dargestellt werden können. Dennoch ist das Profil als vorläufiges Zwischenergebnis zu werten.

Methoden

Unsere Proben erfassen durchschnittlich eine Fläche von 400cm²; bei der Entnahme wurde etwa der oberste cm des Sediments abgehoben und in Methanol/Bengalrot-Lösung konserviert. Im Labor wurde das Sediment über ein 63 μm -Sieb geschlämmt. In den meisten Fällen wurde der Rückstand untersucht, nur bei den grobsandigen Proben vom Kontinentalhang wurde mit mehrfachem Flotieren in Perchloraethylen angereichert. Die untersuchte Fraktion $>250\mu\text{m}$ wurde trocken abgetrennt. Die Auswahl gerade dieser Fraktion erfolgte wie bei unseren früheren Untersuchungen vor allem deswegen, weil die großwüchsigeren Arten besonders wichtig sind für die Berechnung der Biomasse, bei einer Einbeziehung der kleinen Arten aber statistisch nur völlig unzureichend erfasst werden. Die Auszählung nach Arten erfolgte an repräsentativen Teilmengen

(sog. 'splits'), die bei den leeren Gehäusen ('Totfauna') so berechnet wurden, daß sie etwa 200 Exemplare enthielten. Bei der Lebendfauna mußte aus Zeitgründen auf etwa 100 Exemplare abgestellt werden, was bei der niedrigen Diversität jedoch keine wesentliche Minderung der statistischen Aussagekraft mit sich bringt. Zur sicheren Erkennung des rot gefärbten, eingetrockneten Protoplasmas mußten besonders die *Cribrostomoides*-Gehäuse vielfach in Wassertropfen längere Zeit eingeweicht und/oder aufgebrochen werden. Die mehrfach geäußerte Kritik an der Färbemethode dürfte weitgehend auf die Unlust zurückzuführen sein, sich dieser zeitraubenden Prozedur zu befleißigen.

Die Diversität wurde ausgedrückt als Artenzahl in einer theoretischen Stichproben-Größe von 100 "gezählten" Exemplaren, die tatsächlich gefundene Artenzahl wurde also auf 100 zurückgerechnet (vgl. WEINHOLZ 1987, dieser Band S.12), damit ein Vergleich zwischen Proben mit ungleicher Zählmenge möglich ist. Diese Artenzahlen sind mit Fisher- Werten (MURRAY 1973) weitgehend trendgleich und haben die gleiche Aussagekraft wie komplizierte Diversitätsformeln, sind aber viel verständlicher.

Diversität

Das auffälligste Phänomen der subarktischen Beckenfaunen in der 'GIN-See' (Grönländisch-Isländisch-Norwegische See) ist die extrem niedrige Artenzahl, besonders in der Fraktion $>250\mu\text{m}$, die teilweise den in Brackmeeren wie der östlichen Ostsee ermittelten Werten entspricht. Während die Artenzahl im offenen Atlantik in entsprechenden Wassertiefen meistens bei 25 liegt, bewegt sie sich in den subarktischen Becken nur zwischen 3 und 6, wobei der letztere Wert eine seltene Ausnahme darstellt. Wir haben zunächst angenommen, daß diese drastische Reduzierung auf die hier untersuchte Korngößen-Fraktion beschränkt sein könnte, doch zeigten Vergleiche mit MACKENSEN(1985) und LAGOE(1977), daß die Diversitäten in der $>125\mu\text{m}$ - und der $>63\mu\text{m}$ -Fraktion gleichfalls sehr niedrig sind. Den von LAGOE zwischen 78 und 84N ermittelten Artenzahlen

von 12 bis maximal 15 stehen im offenen Atlantik Werte von 27 bis 36 gegenüber (LUTZE 1980).

Übersicht

Artenzahlen der Totfauna, bezogen auf 100 gezählte Exemplare, Tiefen zwischen 2000 und 3000m

	:	subarktische und	:	Atlantik vor
	:	arktische Becken	:	NW-Afrika

>250µm	:	3 - 6	:	um 25 (18-31)

>63µm	:	12 - 15	:	27 - 36

Oberhalb von ca.1500m Wassertiefe, also zum Beispiel auf dem Vöring-Plateau, steigen die Diversitäten auf nahezu "normale" Werte, wiederum in allen Fraktionen. Die niedrigen Werte in den Becken führt MACKENSEN(1985) darauf zurück, daß sich nach den drastischen Umwelt-Änderungen während der Vereisungen noch nicht genügend lange ein Gleichgewicht einstellen konnte (Theorie der Zeit-Stabilität). Wir meinen aber, daß diese Umstände auch die Hang-Diversitäten beeinflusst haben müßten und halten es deswegen für viel wahrscheinlicher, daß die extreme Saisonalität der Nährstoff-Zufuhr wenige daran besonders angepaßte Arten begünstigt. Hier läge dann derselbe Mechanismus vor, der in Becken oder unter Auftriebsgebieten mit überhoher Nährstoffzufuhr gleichfalls die Diversität reduziert (wie z.B. in den Becken des Southern Californian Borderland oder im HPR-Gebiet vor NW-Afrika).

Dominierende Arten der Becken

Fig.2 zeigt eindeutig, daß die Beckenflächen von den 3 subarktischen 'Charakter'-Arten *Cribrostomoides subglobosum*, *Cibicidoides wuellerstorfi* und *Pyrgo murrhina* beherrscht werden, die Anteile von über 80-90% erreichen. In der Totfauna (Vergesellschaftung leerer Gehäuse) dominiert *C. wuellers-*

torfi, die gewissermaßen die Anteile der anderen Arten zusammenschiebt, während sie in der Lebendfauna eine geringere Rolle spielt. Hauptursache dafür dürfte die Lebensweise dieser Art sein, die fleckenhaft und in hoher Siedlungsdichte auf isolierten Hartsubstraten (Steine, Muschelschalen) lebt und zum 'elevated epibenthos' gerechnet werden muß (LUTZE & THIEL 1987, dieser Band). Das Mikrohabitat dieser Art kann also mit den Standard-Sedimentproben nicht repräsentativ erfaßt werden.

Die tiefsten Bereiche der Becken (Norwegisches Becken, unterhalb 2500m Wassertiefe) zeichnen sich durch höhere Anteile von *Pyrgo murrhina* aus. Dieser *C.wuellerstorfi* / *P.murrhina* Dominanzbereich entspricht in der >125µm-Fraktion der *Oridorsalis umbonifera*-Artengruppe MACKENSEN's (1985). In der kleinstwüchsigeren Lebendfauna dominiert meistens *Epistominella exigua*.-- Auch für den darüberliegenden Tiefenbereich von 1250 bis 2500m, der von *C. subglobosum* und *C. wuellerstorfi* beherrscht wird, ergab die Faktorenanalyse von MACKENSEN entsprechende 'Artengruppen': die *subglobosum*-Gruppe in der Lebendfauna und die *wuellerstorfi*-Gruppe in der Totfauna. Es zeigt sich also, daß sich mit beiden Fraktionen ungefähr dieselben biofaziellen Grenzen erkennen lassen, und daß die schlichte Kartierung von Dominanzbereichen - etwa im Sinne von WALTON 1964 - zu Ergebnissen führen kann, die dem Ergebnis aufwendiger statistischer Analysen zumindest sehr ähnlich sind.

Dominierende Arten der höheren Kontinentalhänge

Fig. 2 zeigt auf beiden Flanken der Beckenfaunen deutliche Maxima von *Reophax scorpiurus*. Diese Art dominiert vielfach die Lebendfaunen in Tiefen zwischen 1250m und 800m, zusammen mit *C. subglobosum* und *Melonis zaandami*. Diesem Tiefenbereich schreibt MACKENSEN (1985) seine *Melonis* - Artengruppe zu.--

Oberhalb von 800m tritt *R.scorpiurus* zusammen mit verschiedenen epibenthischen Arten auf, unter denen wechselnd *Rupertina stabilis*, *Saccorhiza ramosa* und *Cibicides refulgens* besonders hohe Anteile erreichen. In diesem Bereich sind die Artenzahlen

bereits sehr hoch; MACKENSEN hat hier für die $>125\mu\text{m}$ -Fraktion eine *Trifarina angulosa* - Artengruppe errechnet.

Siedlungsdichten

Die unter dem einströmenden Atlantikwasser auf dem Vöring-Plateau gefundenen Siedlungsdichten von zwischen 70 und 100 Exemplaren in 10cm Oberflächen-Sediment sind mit die höchsten bisher überhaupt festgestellten. Sie sind zum Teil höher als die unter dem Auftriebsgebiet vor NW-Afrika festgestellten Werte. Wir haben daher zunächst Fehler bei der Ansprache der gefärbten opaken Sandschaler-Gehäuse angenommen, die oft nur im Mündungsbereich äußerlich eine Rotfärbung erkennen lassen (s.o.). Stichprobenartige Kontroll-Analysen durch A. ALTENBACH ergaben aber, daß die meisten als "lebend" angesprochenen Gehäuse tatsächlich noch Protoplasma enthalten dürften.-- Vor Grönland, also unter dem südwärts fließenden Ost-Grönland-Strom ergaben zwei Stationen ebenfalls relativ hohe Werte.

Ausblick

Natürlich ist die vor Grönland erreichte Probendichte noch viel zu gering. Dennoch führt das hier vorgelegte Zwischenergebnis zu neuen Fragestellungen: treten am grönländischen Kontinentalhang tatsächlich (und weitflächig) ähnliche Vergesellschaftungen und Siedlungsdichten auf, wie vor Norwegen? Wenn diese Frage bejaht werden könnte, wäre weiter zu prüfen, ob diese Übereinstimmung bei so unterschiedlicher hydrographischer Situation im Sinne unserer Hypothese mit ähnlichen Bedingungen der Nahrungszufuhr erklärt werden kann.

Erfreulicherweise haben auch andere Arbeitsgruppen im SFB 313 ihr Interesse an Arbeiten vor Grönland bekundet. Wir können also hoffen, im Rahmen der Dissertation von FrI. Thies diesen Fragen nachgehen zu können. Dabei wäre allerdings auch eine gründliche Überprüfung der Taxonomie einiger Hauptarten erforderlich, z.B. der hochvariablen *Pyrgo murrhina*, um sicherzu-

stellen, daß hier nicht mehrere Taxa unerlaubt zusammengefaßt werden.

Literatur

HERB, R.(1971): Distribution of recent benthonic Foraminifera in the Drake Passage.-- Antarct. Res. Series 17: Biology of the Antarctic seas IV, G.A.LLANO & I.E.WALLEN editors, p.251- 300.

LAGOE, M.B.(1977): Recent benthic Foraminifera from the central Arctic Ocean.-- Journ. foram. Res.7: 106-130.

LUTZE, G.F.(1980): Depth distribution of benthic Foraminifera on the continental margin off NW Africa.-- 'Meteor'Forsch.-Ergebn.C 32: 31-80.

LUTZE, G.F.& THIEL, H.(1987): *Cibicidoides wuellerstorfi* and *Planulina ariminensis*, elevated epibenthic Foraminifera.-- Ber. Sonderforschungsbereich 313, 6: 17-30 (This volume).

MACKENSEN, A.(1985): Verbreitung und Umwelt benthischer Foraminiferen in der Norwegischen See.-- Dissertation Kiel.

MURRAY, J.(1973): Distribution and ecology of living benthic foraminiferids.- Heinemann Educational Books, London.

WALTON, W.R.(1964): Recent foraminiferal ecology and paleoecology.-- In IMBRIE & NEWELL, approaches to paleoecology, J. Wiley and Sons Inc., New York...: p.151-237.

WEINHOLZ, P.(1987): Focos, eine Methode zum Zählen von Mikrofossilien mit Hilfe eines Personal-Computer.-- Rep. Sonderforschungsbereich 313, 6: 5-16.

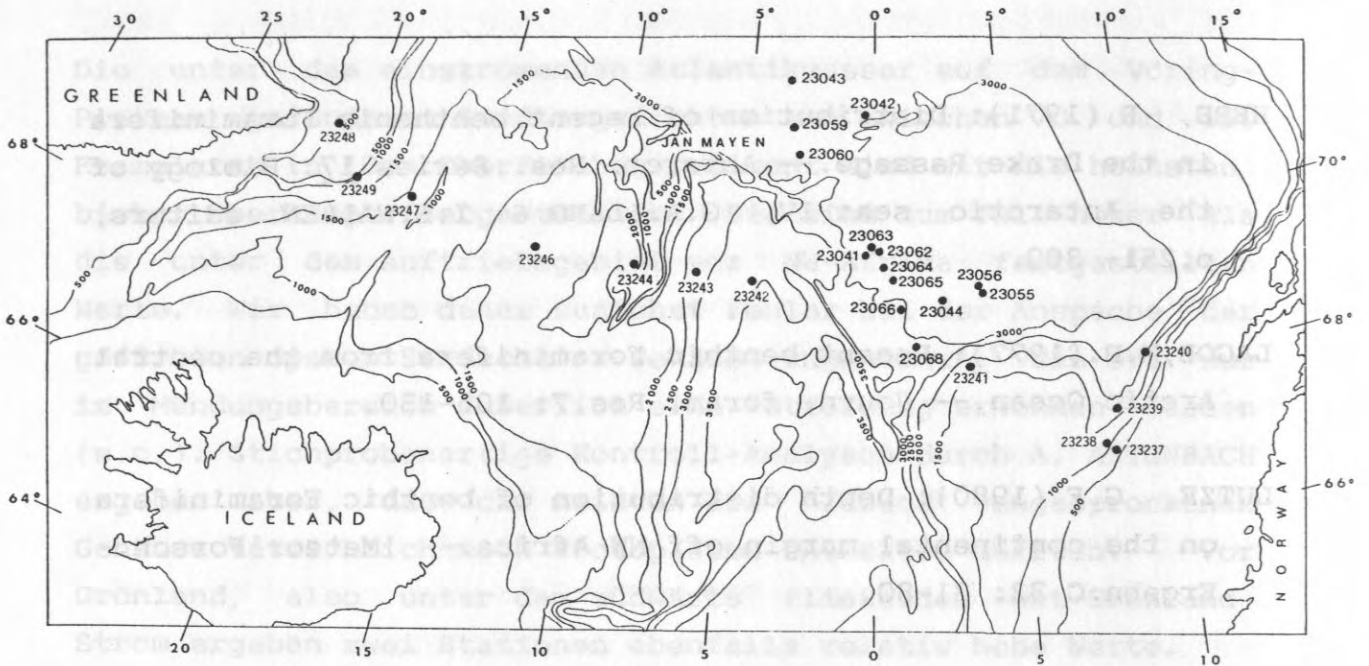


Fig. 3: Lage der Stationen

**Benthische Foraminiferen: Vertikale Verteilung in den
obersten Sedimentlagen und Probleme bei der Entnahme von
Standard-Proben**

Lutze, G.F.

Abstract

Microhabitats of benthic Foraminifera find increasing interest in stable isotope studies, because it appears important to know, whether calcareous tests were secreted in equilibrium with the surrounding bottomwater, or (in contrast) with the interstitial water of the sediment. Several examples of vertical distribution within the sediment are presented in this preliminary study and it is suggested, that lateral and vertical patchiness should be considered. In general, the vertical distribution appears to be a dynamic process, depending largely upon the amount of food available in certain layers of the sediment.-- Implications to foraminiferal standard sampling are discussed, resulting from the fact, that often less than 50% of standing stock per unit area is inhabiting the surface sediment (top-centimeter)

Vorbemerkung

Die Mikrohabitats und Siedlungstiefen benthischer Foraminiferen haben neuerdings erhöhte Beachtung gefunden, weil das in fossilen Kalkschaler-Gehäusen niedergelegte Isotopen-Verhältnis bestimmter Elemente (O, C) wichtige palökologische Rückschlüsse zuläßt (WEFER 1985). Verschiedene Autoren haben aber gezeigt, daß Mikrohabitat-Effekte die Ableitungen verfälschen können (GROSSMAN 1984, CORLISS 1985). Das dürfte besonders eintreten, wenn Karbonatgehäuse vorwiegend im Kontakt mit dem Porenwasser sekretiert werden, also mehrere cm tief im Sediment leben. Das dieses im Flachwasser häufig vorkommt, konnte bereits BOLTOVSKOY (1966) zeigen; aus den Arbeiten von GROSSMAN und CORLISS läßt sich ableiten, daß in bathyalen Tiefen vor allem *Chilostomella ovoidea* sowie verschiedene Arten von *Globobulimina* Sedimenttiefen von über 5cm bevorzugen. Auch *Melonis zaandami* (= *baarleanum* WILL.) scheint tiefer im Sediment zu leben, jedoch über dem Globobuliminen-Stockwerk in Tiefen zwischen 1 und 4cm. Dagegen sind *Oridorsalis umbonatus*, *Bulimina aculeata*, und *Reophax*-Arten in den obersten Sediment-Zentimetern am häufigsten (freundl.mündl. Mitteilung und Mskr.

Erl. zu Fig.1: Schichtweise Untersuchung des Foraminiferengehaltes (gefärbte Gehäuse).-- Zu den beiden Thiel-Stechern wurde in dem unteren Diagramm jeweils der Durchschnitt aus allen 5 Schichten dargestellt sowie das Ergebnis der Standard-Oberflächenprobe. Bei St. 12340 noch zusätzlich ein Durchschnittswert aus 3 weiteren Thiel-Stechern.

In den mittleren Diagrammen geben die Kreise die jeweils ermittelte Foraminiferen-Konzentration an, die sich auf die links nebenstehende Schicht bezieht, hierzu die untere Skala.

Die schwarzen Punkte zeigen die daraus abgeleitete "prozentuale Erfassung" in theoretischen cm-Schichten. In der Probe von St. 23006 wurde beispielsweise eine Dichte von 120 Foraminiferen pro 10cm² ermittelt, und im obersten Sediment-Zentimeter wären nur 38% der auf/unter der Fläche lebenden Exemplare erfaßt, so daß sich ein Faktor 2.7 ergibt, hierzu die obere Skala.

- (1) *Globobulimina*, (2) Infauna mit *Uvigerina cylindrica*,
- (3) *Fursenkoina fusiformis*, (4) *Cassidulina crassa* und *teretis*,
- (5) Epifauna with *Cancriis auriculus*, *Hanzawaia concentrica*,
- (6) Sandschaler mit *Cribrostomoides subglobosum*, *Reophax scorpiurus* u.a. (7) *Uvigerina* sp. 221

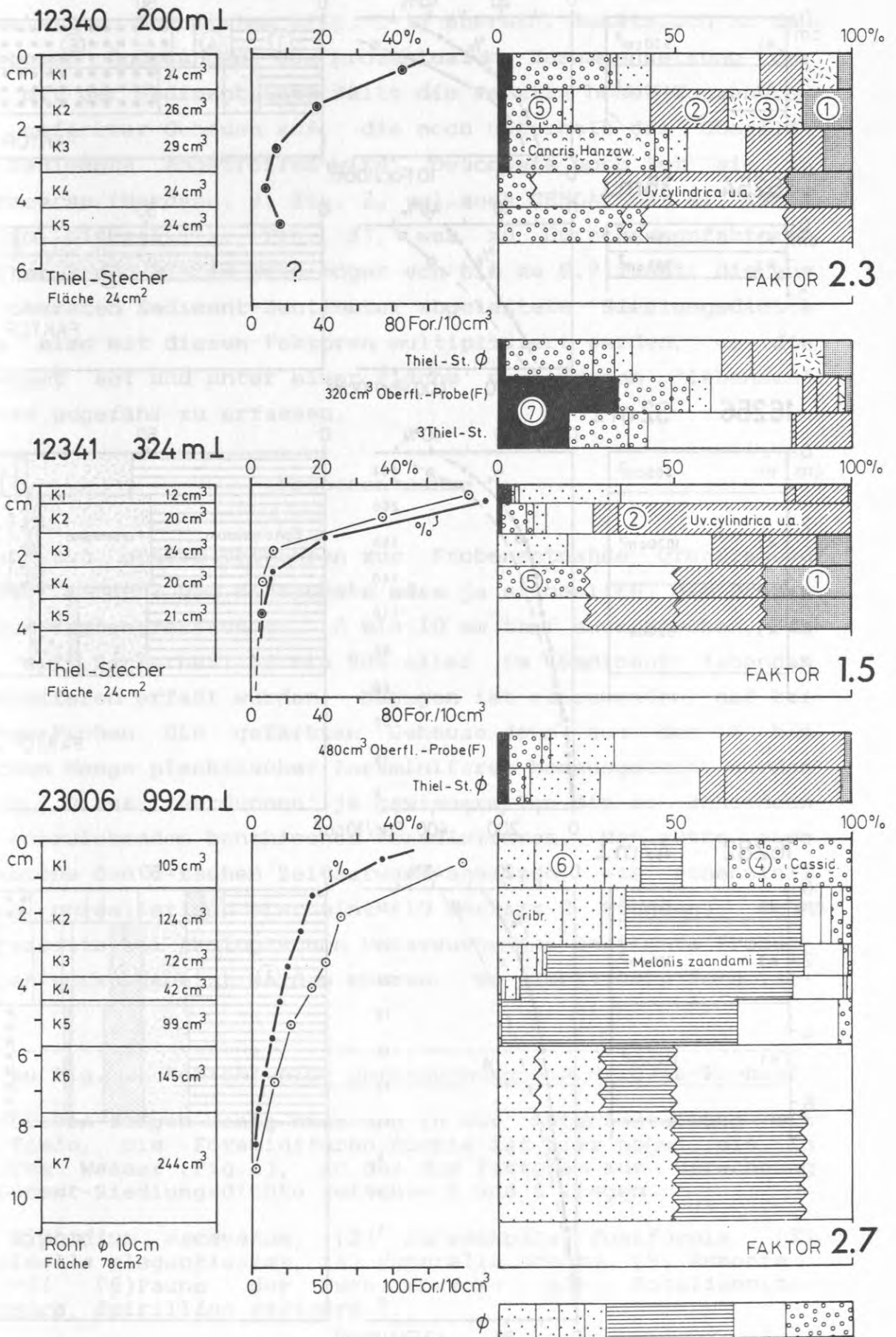
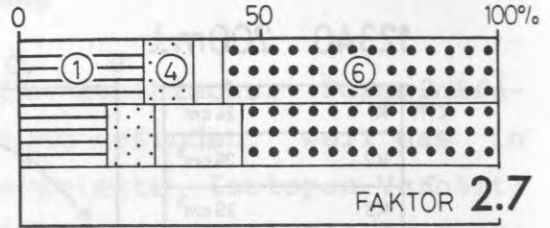
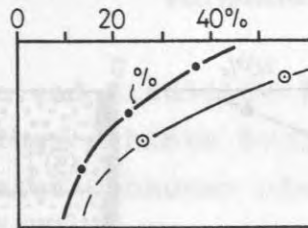
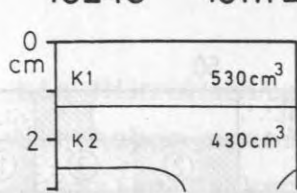
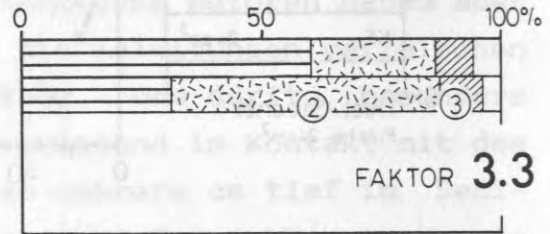
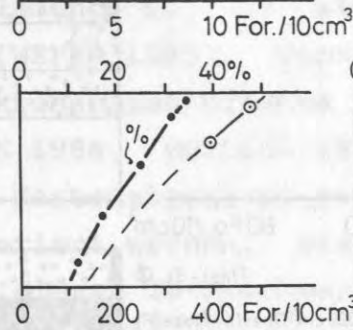
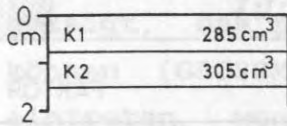


Fig. 1: Vor NW-Afrika und Norwegische See (GIK 23006).---
Erläuterungen S.80

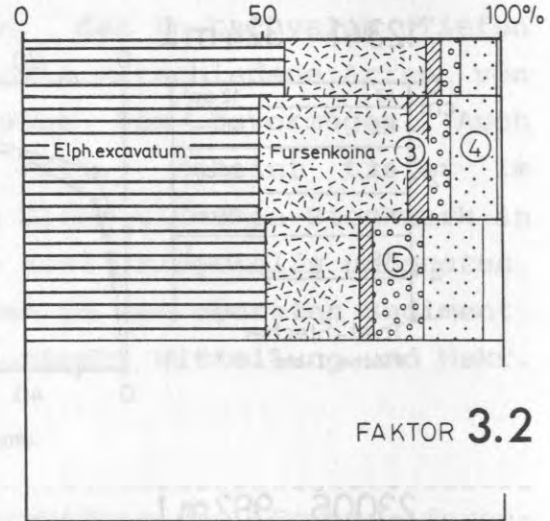
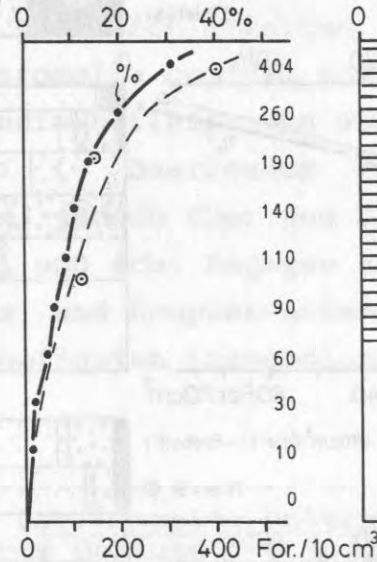
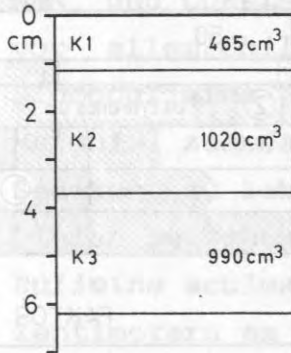
16243 10m L



16254 35m L



16256 32m L



16282 47m L

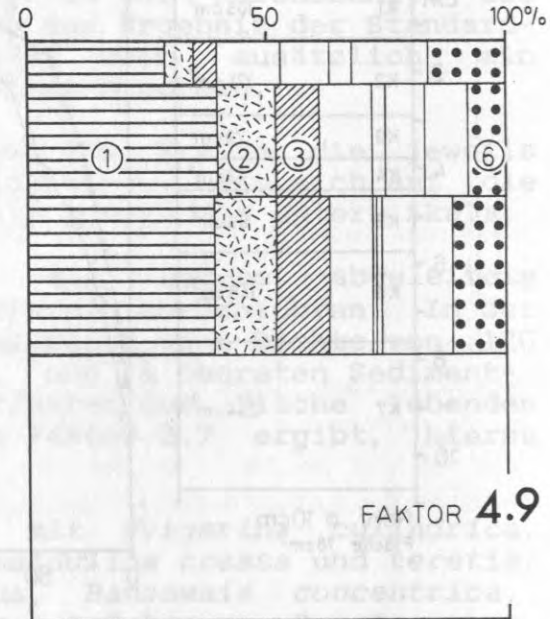
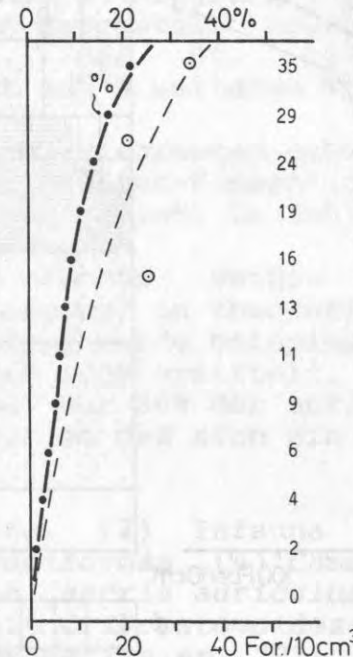
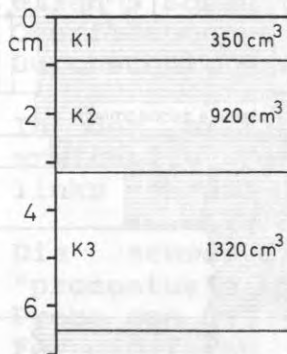


Fig. 2: Nordsee.--- Erläuterungen S.83

A.MACKENSEN). Teilweise stimmen diese Befunde mit den hier vorgestellten Beispielen (Fig. 1-3) überein. Zusätzlich zu den sichtbaren Änderungen der prozentualen Zusammensetzung der Fauna mit der Sedimenttiefe fällt die relativ hohe Konzentration gefärbter Gehäuse auf, die noch unterhalb des Oberflächen-Sediments angetroffen wird. Besonders hoch ist sie in Flachmeeren (Nordsee, s. Fig. 2, vgl. auch GERLACH et al. 1985) und im Litoral, s. Fig. 3), was zu Umrechnungsfaktoren zwischen 2 und 3, im Watt sogar von bis zu 9.7 führt. Die aus dem obersten Sediment-Zentimeter abgeleitete Siedlungsdichte müßte also mit diesen Faktoren multipliziert werden, um die insgesamt auf und unter einer Fläche vorhandenen 'lebenden' Gehäuse ungefähr zu erfassen.

Probenentnahme

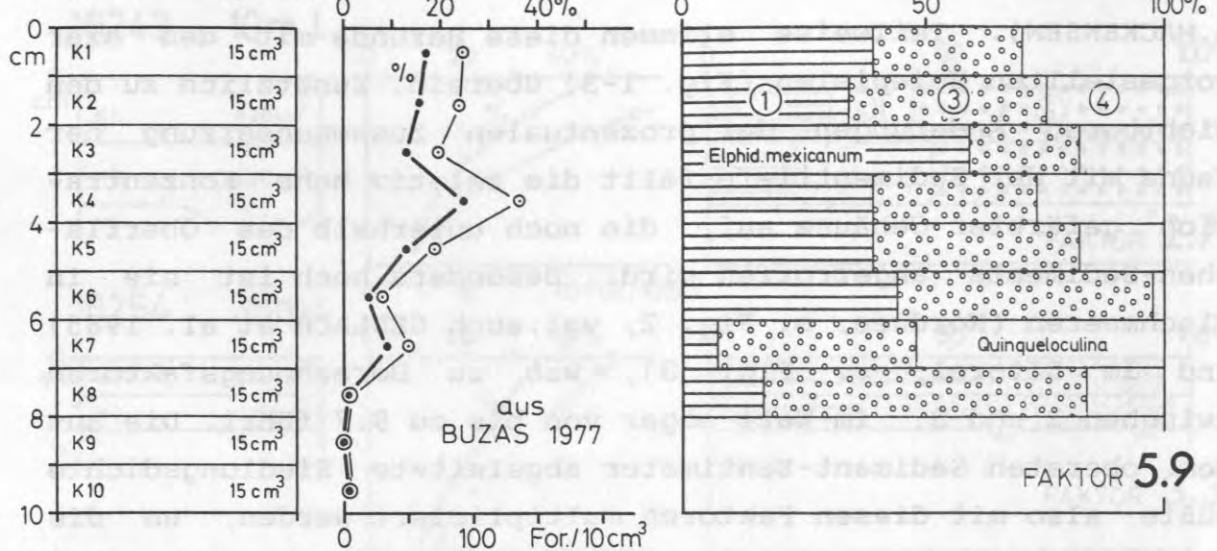
Müßten nun unsere Verfahren zur Probenentnahme grundlegend geändert werden? Das Einfachste wäre ja sicherlich, die Proben aus den Kastengreifern ca. 6 bis 10 cm tief auszustechen, da dann mit Sicherheit 80 bis 90% aller im Sediment lebenden Foraminiferen erfaßt würden. Dagegen ist einzuwenden, daß bei Tiefsee-Proben die gefärbten Gehäuse dann aus der 6 bis 10fachen Menge planktischer Foraminiferen herausgesucht werden müßten. Diese 'verdünnen' ja gewissermaßen die zu zählenden oder auszulesenden benthischen Foraminiferen. Man müßte also mindestens den 5-fachen Zeitaufwand ansetzen, was finanziell völlig unrealistisch erscheint (10 anstatt 2 Stunden), wenn andererseits bei ökologischen Untersuchungen bestimmte Proben-dichten vorausgesetzt werden müssen. Wo planktische Forami-

Erl. zu Fig. 2: Schichtweise Untersuchung von Nordsee-Proben.

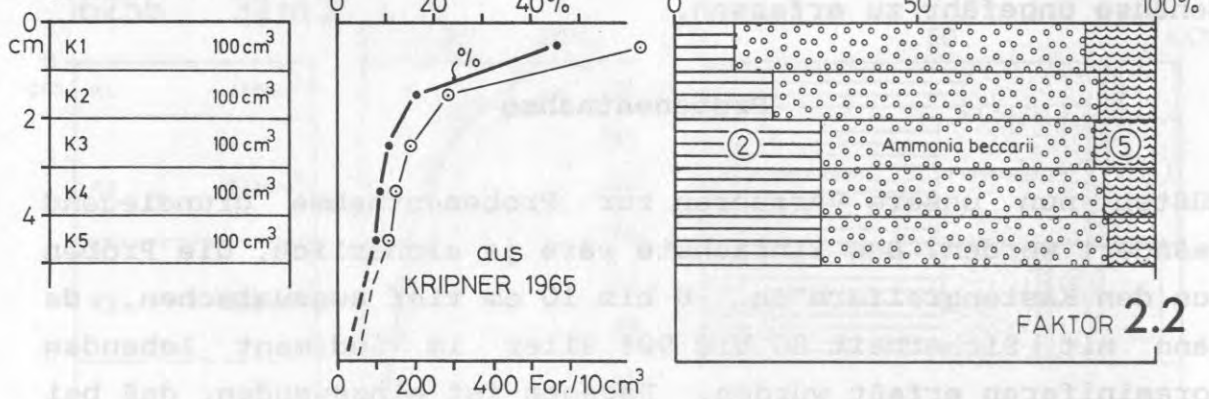
Die Proben zeigen wenig Änderung in der Artenverteilung mit der Tiefe. die Foraminiferen-Dichte ist hier höher als in tieferem Wasser (Fig.1), so daß die Faktoren zur Umrechnung auf Gesamt-Siedlungsdichte zwischen 3 und 5 liegen.

(1) *Elphidium excavatum*, (2) *Fursenkoina fusiformis*, (3) *Buliminella elegantissima*, (4) *Eggerella scabra*, (5) *Ammonia beccarii* (6) Fauna der Turbulenzzone mit *Rotaliammina*, *Remaneica*, *Spirillina vivipara* ...

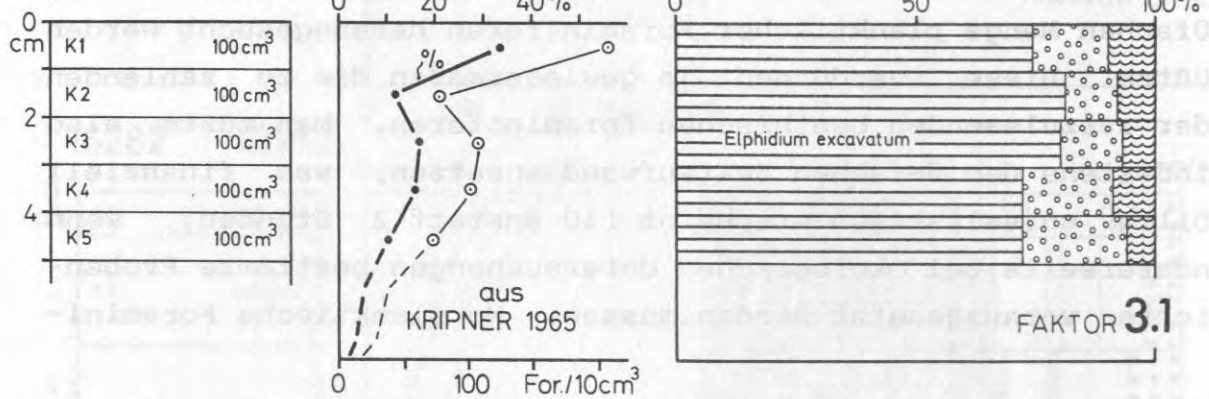
Florida 0,5mL



Sylt (Mischwatt)



Sylt (Sandwatt)



Sylt (Schlickwatt)

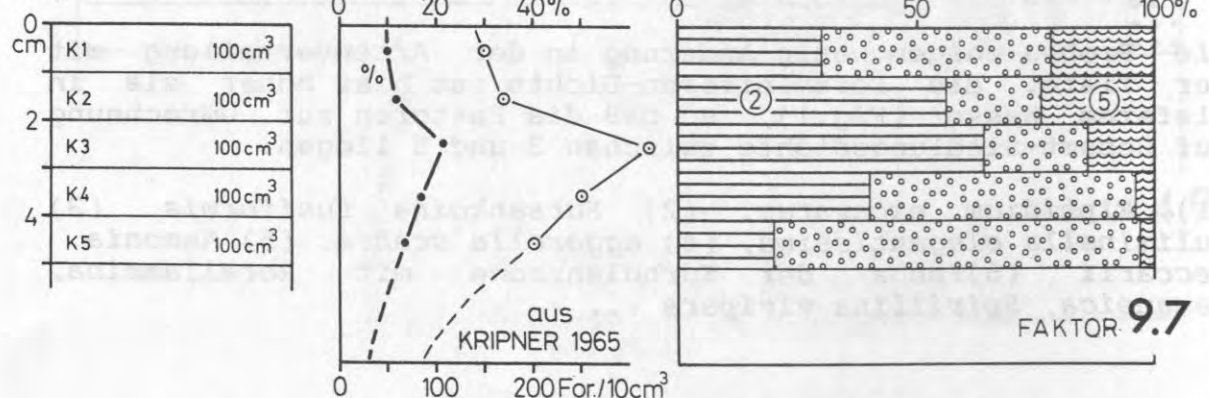


Fig. 3: Litoral.-- Erläuterungen S.85

feren fehlen, müßte immer noch eine mit der Sedimenttiefe steigende 'Verdünnung' durch leere benthische Gehäuse in Kauf genommen werden. Bei den Untersuchungen der Kieler Arbeitsgruppe in der westlichen Ostsee (Lutze, Wefer, Weinholz) ist das auch weitgehend erfolgt.

Weitere Überlegungen führen jedoch gegen eine tiefer ausgestochene Probe selbst in den Gebieten ohne Plankton-Foraminiferen: die meisten Bearbeiter stimmen überein, daß die Eindeutigkeit der Anfärbung des Protoplasmas mit der Tiefe stark abnimmt. In den tiefsten Proben ist es oft schwierig, Scheinfärbungen richtig auszuscheiden. A.ALTENBACH hat daher eine Reihe 'lebender' *Cribrostomoides*-Gehäuse aus größerer Sedimenttiefe analysiert und festgestellt, daß sie kaum noch Protoplasmae Reste enthielten und wahrscheinlich schon bei der Entnahme abgestorben waren. Ein relativ hoher Anteil der im tieferen Sediment gefundenen 'lebenden' Foraminiferen dürfte durch Bioturbations-Vorgänge aus seinem ursprünglichen Habitat in größere Tiefe verfrachtet worden sein. Ein weiterer Aspekt ist die überall vorhandene Fleckenhaftigkeit (patchiness). So weicht zum Beispiel bei der Station 12340 (Fig.1) die F-Probe aus 320cm² Oberflächen-Sediment stark ab von der Thielstecher-Probe. Eine ähnliche 'patchiness' ist aber natürlich auch dreidimensional, also nach der Tiefe hin zu erwarten; was die meisten Autoren überhaupt nicht berücksichtigen.

Erl. zu Fig. 3: Schichtweise Untersuchung von Proben aus dem Litoralbereich.-- Alle Proben zeigen wenig Änderungen der Verteilung mit der Tiefe; bei dem Beispiel aus Florida und dem unteren Diagramm von Sylt liegen die höchsten Werte in 3-4 cm Sedimenttiefe, was auf Überschichtung zurückzuführen sein dürfte. Daraus leiten sich natürlich extrem hohe Faktoren ab, mit denen die Gesamt-Siedlungsdichte aus dem Oberflächenbefund berechnet werden müßte.-- Diplomarbeit J. KRIPNER, Kiel 1965; BUZAS, M.A.(1977): Vertical distribution ...; Journ.foraminif. Res. 7: 234-237.

Außerdem sind Foraminiferen der Infauna vielfach sehr beweglich. Das deutliche *Melonis*-Maximum in 3-4cm Tiefe in Probe 23006 (Fig.1) war offensichtlich jahreszeitlich nicht stabil, im Winter fand P. LINKE an derselben Station *Melonis* vorzugsweise an der Sedimentoberfläche (frdl. mündl. Mitteilung, Mskr. in prep.). Es kann also angenommen werden, daß die Tiefenverteilung ein dynamischer Prozeß ist, und daß sich Infauna-Arten jeweils in derjenigen Tiefe aufhalten, wo sie günstige Umwelt- und Ernährungsbedingungen vorfinden (abgesehen von den durch Bioturbation verfrachteten Exemplaren).

Bei der Entnahme von Standard-Proben sollte also nicht versucht werden, alle bewohnten Schichten in einer Probe zu erfassen. Wir schlagen daher das in Abb. 4 skizzierte Verfahren einer doppelten, getrennten Beprobung vor, wobei die Tiefenprobe, die sogenannte (b)-Probe), in der Fläche kleiner

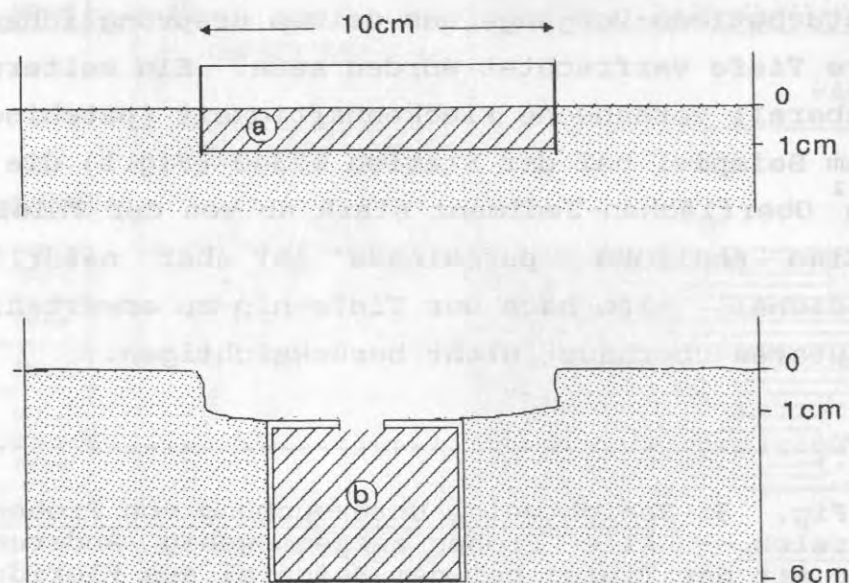


Fig. 4: Vorschlag: "Entnahmemethode für Standardproben".---

a: das Oberflächen-Sediment wird in einem Stahlrahmen (10 x 10cm) mit einem Entnahme-Löffel 1cm tief abgehoben.--- Möglichst 3 - 4 solcher Proben an verschiedenen Stellen der Kastengreifer-Oberfläche entnehmen und zu einer Probe vereinen. Dieses ist die (a) Probe.

b: unterhalb der entnommenen (a)-Probe wird mit einem Rohrstutzen ("Taucherstutzen") eine 5cm mächtige Probe ausgestochen und getrennt abgefüllt und konserviert (Fläche ca 26 cm², Volumen ca. 130 cm³). Dieses ist die (b)-Probe.

gehalten werden sollte und dann ungefähr auf das gleiche Sedimentvolumen kommt. Bei einer Beprobung von Großkastengreifer-Flächen (2500cm^2) sollten auf jeden Fall drei $10 \times 10\text{cm}$ -Oberflächenproben zu einer Probe zusammengefaßt werden, um die 'patchiness' nach Möglichkeit zu reduzieren.

Literatur

- BOLTOVSKOY, E.(1966): Depth at which Foraminifera can survive in sediments.-- Contr.Cushman found.foram. Res. 17:43-45.
- CORLISS, B.H.(1985): Microhabitats of benthic Foraminifera within deep-sea sediments.-- Nature 314: 435-438.
- GROSSMAN, E.L.(1984): Stable isotope fractionation in live benthic Foraminifera from the Southern California borderland.-- Paleogeogr., Paleoclimat., Palaeoecology 47:301-327.
- GERLACH, S., HAHN, A.E. & SCHRAGE, M.(1985): Size spectra of benthic biomass and metabolism.-- Progr. in mar.ecology 26: 161-173.
- WEFER, G. (1985): Die Verteilung stabiler Isotope in Kalkschalen mariner Organismen.-- Geol. Jb. 82: 3-111.