



Schlußbericht zu den beiden
BMFT-Forschungsvorhaben 03F0055 A+B

Persischer Golf

- Umweltgefährdung, Schadenserkenkung,
Schadensbewertung am Beispiel des Meeresbodens
- Erkennen einer Ökosystemveränderung
nach Öleinträgen

Herausgeber: Jörn Thiede
Redaktion der Serie: Gerhard Haass
Redaktion dieses Reports: Gerhard Graf
Umschlag: Harald Gross, GEOMAR Technologie GmbH

Editor: Jörn Thiede
Managing Editor: Gerhard Haass
Editing of this Report: Gerhard Graf
Cover: Harald Gross, GEOMAR Technologie GmbH

GEOMAR REPORT
ISSN 0936 - 5788

GEOMAR REPORT
ISSN 0936 - 5788

GEOMAR
Forschungszentrum
für marine Geowissenschaften
D-2300 Kiel
Wischhofstr. 1-3
Telefon (0431) 7202-0
Telefax (0431) 72 53 91, 7 20 22 93, 72 56 50

GEOMAR
Research Center
for Marine Geosciences
D-2300 Kiel / Germany
Wischhofstr. 1-3
Telephone (49) 431 / 7202-0
Telefax (49) 431 / 72 53 91, 7 20 22 93, 72 56 50

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einführung Gerhard Graf	1
2. Hydrographie Uwe Hentschke	4
3. Geophysikalische Charakterisierung des Meeresbodens Jürgen Mienert	14
4. Kohlenwasserstoffe in Sedimentproben aus dem Persischen Golf Detlef Schulz-Bull und Gert Petrick	32
5. Geochemische Charakterisierung von Rückständen der Kohlenwasserstoffe Erwin Suess und Bettina Domeyer	39
6. Sauerstoff und ATP Stefan Forster, Gerhard Graf, Moshira Hassan, Wolfgang Queisser, Wiebke Ziebis	69
7. Verschiebung des Größenklassenspektrums der benthischen Organismen durch Verschmutzungseinfluß Wolf-Christian Dullo, Gerhard Graf, Will Ritzrau, Sabine Scheibe, Ralf Schiebel	79
8. Lebensspuren in den Sedimenten der Persischen Golfes Uwe Hentschke	89
9. Änderung der Zuwachsrate bei Steinkorallen Wolf-Christian Dullo	100
10. Schlußfolgerungen Gerhard Graf	104
11. Extended abstract	107

1. Einführung

(Gerhard Graf)

Unmittelbar nach Ende des Golfkrieges wurde deutlich, daß die Öleinleitungen in Kuwait, sowie die Ölbrände mit ihrer starken Rußentwicklung eine verheerende Wirkung auf terrestrische und auch auf unmittelbar küstennahe, marine Flachwasserökosysteme hatten. Insbesondere in den Aestuarien wurden die Flachwasserorganismen bei jedem Gezeitenwechsel mit einer neuen Öllage kontaminiert. Diese Schäden waren offensichtlich und bedurften keines weiteren wissenschaftlichen Nachweises.

Unsere Aufgabe bestand darin, eine Schadensbewertung in den weniger zugänglichen Teilen des offenen Persischen Golfes vorzunehmen, zu deren Untersuchung ein Einsatz mit Forschungsschiffen nebst der dazugehörigen Ausrüstung erforderlich war. Die Hauptmenge des in Kuwait eingeleiteten Öls dürfte zwar entsprechend dem Verlauf der Oberflächenströmungen an der kuwaitischen und saudi-arabischen Küste gelandet sein, es war aber davon auszugehen, daß ein Teil des Öls durch Vermischung mit Sedimentbestandteilen so schwer wurde, daß es absank und auch tiefere Bereiche des Golfes erreichte. Die Belastung durch Ruß über die Atmosphäre war großflächig und hat den nördlichen Golf z.B. auch über die Zufuhr von Flüssen während der Regenzeit zum Ende des Jahres 1991 erreicht.

Das Untersuchungsgebiet lag im Nordosten des Golfes in iranischen Gewässern und war ausgewählt worden, weil aus diesem Gebiet Sedimentproben aus der Vorkriegszeit zur Verfügung standen, die auf einer METEOR - Expedition des Geologischen Instituts der Universität Kiel 1965 gewonnen wurden.

Besondere Probleme für die Durchführung einer solchen Expedition ergaben sich aus der sehr kurzen Vorbereitungszeit von nur wenigen Monaten, in der ein bulgarisches Forschungsschiff gechartert werden mußte, da deutsche Schiffe nicht so kurzfristig zur Verfügung standen; in der eine Forschungslizenz besorgt werden und in die gesamte Logistik geregelt werden mußte. Ein gesonderter Fahrtbericht zu dieser Expedition mit der RV AKADEMIK vom 30.11.1991 - 20.12.1991 befindet sich in der Anlage.

Hauptanliegen dieser Expedition war, zu überprüfen, ob eine Schädigung des Untersuchungsgebietes vorlag, insbesondere, ob Schadstoffe in nennenswerten Konzentrationen eingetragen waren, ob eine erhöhte Sauerstoffzehrung der Sedimente durch den Kohlenwasserstoffabbau nachzuweisen war, ob nach einem Abbau dieser organischen Fraktion des Öls noch Spurenstoffe wie Vanadium und Nickel angereichert und ob die Kohlenstoff-Bilanzen verändert sind.

Um eine schnelle Orientierung im Untersuchungsgebiet zu gewährleisten, wurde eine geophysikalisch - sedimentologische Arbeitsgruppe integriert, die in weniger als 3 Arbeitstagen einen Überblick und eine vorläufige Karte erstellte, die als Grundlage für die anderen Beprobungen diente. Ohne diese Vorarbeiten, für die Techniker und Ingenieure aus der Industrie miteingesetzt wurden, wäre eine sinnvolle Beprobung kaum durchzuführen gewesen.

Während der Expedition stellte sich schnell heraus, daß auch die tieferen Bereiche des Golfes kontaminiert waren. Bei der ökologischen Bewertung ergab sich dann allerdings die Schwierigkeit, daß aus der Vorkriegszeit nur sehr wenig über dieses Gebiet bekannt war. In einem kleinen Folgeprojekt wurde deshalb versucht, mit den gewonnenen Proben über alternative Ansätze eine Schadensbewertung vorzunehmen. Ziel dieses Vorhabens war, zu untersuchen, ob eine Abweichung vom normalen Größenklassenspektrum der Fauna vorliegt, ob Lebensspuren vielleicht ausgestorbener Tiere zu beobachten sind und ob sich Hinweise auf Wachstumsstörungen von Korallen ergeben.

Die Projektdauer betrug lediglich zweimal 4 Monate. Die weitere Aufarbeitung und Auswertung der gewonnenen Proben erfolgte deshalb überwiegend durch Personal und Mittel der beteiligten Institute. Besonders hervorzuheben ist die Beteiligung von Mitarbeitern des Geologisch-Paläontologischen Instituts der Universität Kiel und des Instituts für Meereskunde, Abteilung Meereschemie.

2. Hydrographie

(Uwe Henschke)

Die Zirkulation und die Struktur der Wassermassen im Golf sind seit den Arbeiten von SCHOTT (1918), EMERY (1956), KOSKE (1972) und HUNTER (1986) bekannt, und lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Aufgrund der geographischen Lage des Golfes in einer ariden Klimazone übersteigt die Verdunstung die Summe von Niederschlägen und Süßwasserzufuhr. Dies führt zu hohen Salzgehalten im Inneren des Golfes. Hiermit ist eine tiefgreifende thermohaline Konvektion verbunden in Form von Oberflächeneinstrom aus dem Arabischen Meer und Ausstrom von salzreichem Tiefenwasser. Die Zirkulation der Wassermassen ist eine geostrophische, die längs der iranischen Küste nach Norden und auf der arabischen Seite nach Süden gerichtet ist.

Im Laufe der Zirkulation bewirkt die starke Evaporation eine zunehmende Erhöhung des Salzgehaltes. In Verbindung mit relativ niedrigen Temperaturen während der Winterzeit erfahren die Wassermassen durch den Verdunstungsprozeß die höchste Dichteanreicherung, die überhaupt im Weltmeer zu beobachten ist. Im nördlichen Teil des Golfes findet deshalb ein Downwelling statt. Die Ausbreitung des Bodenwasserkörpers ist nach Südosten zur Straße von Hormuz gerichtet und kann bis weit in das Arabische Meer beobachtet werden.

Methoden

Alle Profilmessungen wurden mit der Flachwassersonde Typ ECO-104 von ME durchgeführt. In dieser Sondenversion, die bis in eine Wassertiefe von 100 m eingesetzt werden kann, wurden folgende Parameter gemessen: Druck, Leitfähigkeit, Temperatur und gelöster Sauerstoff.

Der Drucksensor ist ein piezoresistiver OEM-Absolutdruckaufnehmer aus Edelstahl, der für den Meßbereich 0-100 m kalibriert ist. Die Temperatur wird mittels eines PT 100 im Bereich zwischen -2 bis +38 C gemessen. Als Leitfähigkeitssensor wird eine 7-Elektroden-Glaszelle mit massiven Titanringen als Elektroden verwendet. Der Sauerstoffsensor mißt den im Wasser gelösten Sauerstoff polarographisch mit einer membranbedeckten Platinelektrode. Für eine kontinuierlich anliegende Polarisationsspannung von -0.74 V sorgt ein eingebauter Akku. Der Sensor ist daher ständig betriebsbereit. Aufgrund der hohen Einstellzeit von 15 s (63% vom Einstellwert) wurde hier eine dünnere Membran (105 µm) verwendet, die diese Zeit verkürzt.

Ergänzend zu den Sondendaten wurden an einigen Stationen zur Kontrolle Wasserproben aus der Oberfläche und aus der Tiefe entnommen. Die Salzgehalte wurden mit

einem Minisal Model AGE 2100 des Institutes für Angewandte Physik gemessen. Die Genauigkeit liegt bei +/- 0.003 PSU.

Zur Kontrolle wurde an Wasserproben der Sauerstoffgehalt titrimetrisch nach der Winkler-Methode bestimmt.

Während des Fierens wurden die Daten in einem 10 cm Intervall aufgenommen. Die Fiergeschwindigkeit betrug wegen der Einstellzeiten weniger als 20 cm/s.

Auf allen Stationen wurde die Secchi-Tiefe bestimmt. Aus dieser Bestimmung läßt sich die 1%-Lichttiefe errechnen. Auf allen Stationen liegt diese Tiefe zwischen 11 und 14 m, in der küstenfernen, südlichen Station mit 54 m Wassertiefe bei 19 m.

Ergebnisse

Zu Beginn der Stationszeit wurde je ein CTD-Profil aufgenommen (siehe Tabelle 2.2 Stationsliste). Zusammenfassend ergibt sich für alle Stationen ein nahezu homogenes Verteilungsmuster für Temperatur, Salzgehalt und Sauerstoff (Abb. 2.1). Innerhalb des Gebietes wurde nur eine geringe Variation der Parameter in bezug auf Temperatur, Salz und Sauerstoff gemessen. Schwach ausgebildete Schichtungen (Abb. 2.2) bilden die Ausnahme. Die hydrographische Gesamtsituation kann am Beispiel des Schnittes 1 (Abb. 2.3, 2.4) dargestellt werden. Er liegt in der Verlängerung der Achse von Euphrat und Tigris und umfaßt die Stationen 14-21. Wie bereits beschrieben, werden die höchsten Salzgehalte und die größten Dichten im nördlichen Teil des Persischen Golfes beobachtet.

Am Beispiel der Abb. 2.3 kann gezeigt werden, daß im Nordteil die Wassermassen absinken und sich am Boden nach Süden hin ausbreiten. Dieses Absinken hat zur Folge, daß ständig Sauerstoff in die Tiefe nachgeliefert wird.

Dementsprechend sind nur sehr niedrige Sauerstoffgradienten zu messen (Abb. 2.4). Im Vergleich zum Oberflächenwasser besitzt das Tiefenwasser in dem Untersuchungsgebiet nur bis zu 4 % niedrigere Sättigungswerte und ist damit nahezu voll gesättigt. Daraus ergeben sich folgende Konsequenzen für diese Region: Sowohl für planktische als auch für benthische Organismen besteht ein ausreichend hohes Angebot an gelöstem Sauerstoff. Aufgrund des genannten Ausbreitungsprozesses des Tiefenwassers könnten schwerabbaubare Schadstoffe, z. B. Rußpartikel, sich am Boden über weite Strecken ausbreiten. Die Konsequenzen dieses Prozesses sind bisher noch nicht abzusehen und sollten Gegenstand weitergehender Untersuchungen sein.

Die Ergebnisse für die Oberflächensalzgehalte sind in Abb. 2.5 dargestellt. Die Stationen mit den höchsten Gehalten befinden sich auf der Westseite, die Gehalte mit den niedrigsten Werten auf der Ostseite des Untersuchungsgebietes. Die Isolinien verlaufen etwa

küstenparallel, die Salzgehaltswerte steigen von der küstennahen Station zwischen Khark und Busher von 39.7 PSU auf über 40.2 PSU in Richtung der kuwaitischen Seegrenze an.

Bei der Beurteilung der Daten im Dezember 91 muß allerdings bemerkt werden, daß die Daten nicht synoptisch aufgenommen werden und eine synoptische Korrektur nicht möglich ist. Darüberhinaus wurde während dieser Fahrt nur ein kleiner Ausschnitt erfaßt. Die Daten für die Probenentnahme sind dem Fahrtbericht zu entnehmen. Zumindest der in dem Fahrtbericht gezeigt Schnitt ist quasisynoptisch aufgenommen und kann daher als repräsentativ angesehen werden.

Das Verteilungsmuster der Isohalinen für die Oberflächensalzgehaltswerte, die mit dem Salinometer gemessen wurden, stimmt nur bedingt mit den Beobachtungen vorgehender Bearbeiter überein.

Während EMERY (1956) und SCHOTT (1918) an der iranischen Seite Werte von 38-39 ppt angeben, die in Richtung zur arabischen Seite auf über 40 ppt steigen, und deren Ergebnisse mit den Beobachtungen im Untersuchungsgebiet übereinstimmen, zeigen die Beobachtungen von KOSKE (1972) einen Gradienten, der von der Straße von Hormuz bis hin zum meso-potamischen Flachschelf gerichtet ist und kein küstenparalleles Verteilungsmuster besitzt. KOSKE erklärt diese Diskrepanz dadurch, daß die hydrographischen Untersuchungen zu unterschiedlichen Jahreszeiten aufgenommen wurden und damit meteorologische Einflüsse einen wesentlichen Beitrag auf die Struktur der Wassermassen haben. Außerdem diskutiert KOSKE als weitere Möglichkeit den Einfluß unterschiedlicher Abflußraten aus dem Schatt-el-Arab.

Bewertung der Ergebnisse

Der Wasserkörper im nördlichen Bereich des Persischen Golfes war während des Untersuchungszeitraumes nahezu homogen geschichtet, wobei ein kleiner Dichtegradient auf den südlichen Stationen zu beobachten war.

Das Verteilungsmuster der gemessenen Parameter (TS und O₂) zeigt, daß die Wassermassen im nördliche Golf aufgrund hoher Evaporationsraten eine Dichteanreicherung erfahren, absinken und sich nach Süden hin ausbreiten. Hierdurch steht ständig gelöster Sauerstoff, der über die Atmosphäre aufgenommen wird, dem Bodenwasserkörper zur Verfügung. Zusätzlich zu den hohen Temperaturen ist ein schneller, aerober mikrobieller Abbau von Öl möglich.

Tabellenanhang und Abbildungen

Tabelle 2.1: Salzgehalte (PSU), o= oben, u= unten.

1o:	39.992	1u:	40.138
2o :	39.865	2u:	39.942
3o:	39.734		
4o:	39.817		
5o:	39.858		
6o:	39.951		
7o:	40.064		
8o:	40.093		
12o:	39.990	2u:	40.019
15o:	40.029		
21o :	40.283	21u:	0.354
22o:	39.980	22u:	40.222
26o:	39.846	26u:	39.894

Tabelle 2.2: Stationsliste

Stat.	Prof.	Datum	Zeit	Breite (N)	Laenge (E)	Tiefe	Geräte
1	1	03/12/91	08:50	29:29.897	49:54.108	32	1-10
2	3	06/12/91	08:15	29:19.317	50:10.289	40	1-4,6,7
3	1	09/12/91	17:40	29:02.711	50:23.641	42	1,3,7-9
4	2	10/12/91	00:55	29:06.027	50:14.754	49	1
5	3	10/12/91	01:50	29:10.073	50:10.577	45	1
6	4	10/12/91	02:40	29:12.538	50:07.437	49	1
7	5	10/12/91	03:20	29:14.504	50:04.818	44	1
8	6	10/12/91	04:20	29:19.131	49:58.815	42	1
9	7	10/12/91	05:30	29:17.447	49:52.576	41	1
10	8	10/12/91	06:15	29:16.627	49:48.434	36	1
11	9	10/12/91	07:00	29:16.249	49:44.600	36	1
12	10	10/12/91	10:15	29:20.240	49:57.817	37	1-7
13	11	10/12/91	15:40	29:13.587	49:53.955	41	1,5,7-9,10
14	1	11/12/91	09:30	28:40.034	49:55.226	54	1-4,7,9
15	2	11/12/91	19:20	28:45.271	49:51.625	54	1,3
16	3	11/12/91	20:15	28:49.661	49:48.506	51	1,10
17	4	11/12/91	22:50	28:56.502	49:43.809	47	1
18	5	11/12/91	23:40	28:59.587	49:41.676	48	1
19	1	12/12/91	00:45	29:03.192	49:37.948	47	1
20	2	12/12/91	01:50	29:07.787	49:33.868	42	1
21	3	12/12/91	03:00	29:11.508	49:31.040	39	1-3,5,9
21	3	13/12/91	09:30	29:11.508	49:31.040	39	6,7,10
22	1	14/12/91	08:55	28:56.494	49:43.812	45	1-3,5-7,9,10
23	1	15/12/91	09:00	28:57.605	49:50.571	50	1,9
24	3	15/12/91	19:15	28:55.195	49:51.998	49	1,9
25	4	15/12/91	20:15	28:55.220	49:51.920	51	1,9
26	1	16/12/91	08:10	29:01.293	50:05.136	45	1-3,5-7,9,10
27	1	17/12/91	09:25	28:45.051	50:01.681	50	1,7,10
28	2	17/12/91	11:30	28:50.550	50:07.668	54	1,7,10
29	3	17/12/91	14:25	28:56.054	50:13.271	49	1,7
30		17/12/91	18:30	29:19.317	50:10.289	40	5,7

Geräte:

- | | |
|--------------------------|----------------------|
| 1: CTD | 6: Video/Photo |
| 2: Secchi | 7: Großkastengreifer |
| 3: Wasserschöpfer | 8: Multicorer |
| 4: Apsteinnetz | 9: Schwerelot |
| 5: <i>in situ</i> -Pumpe | 10: Baumkurre |

Ship : RIGORIX

Cruise: PERSEM GGF:03.12.01

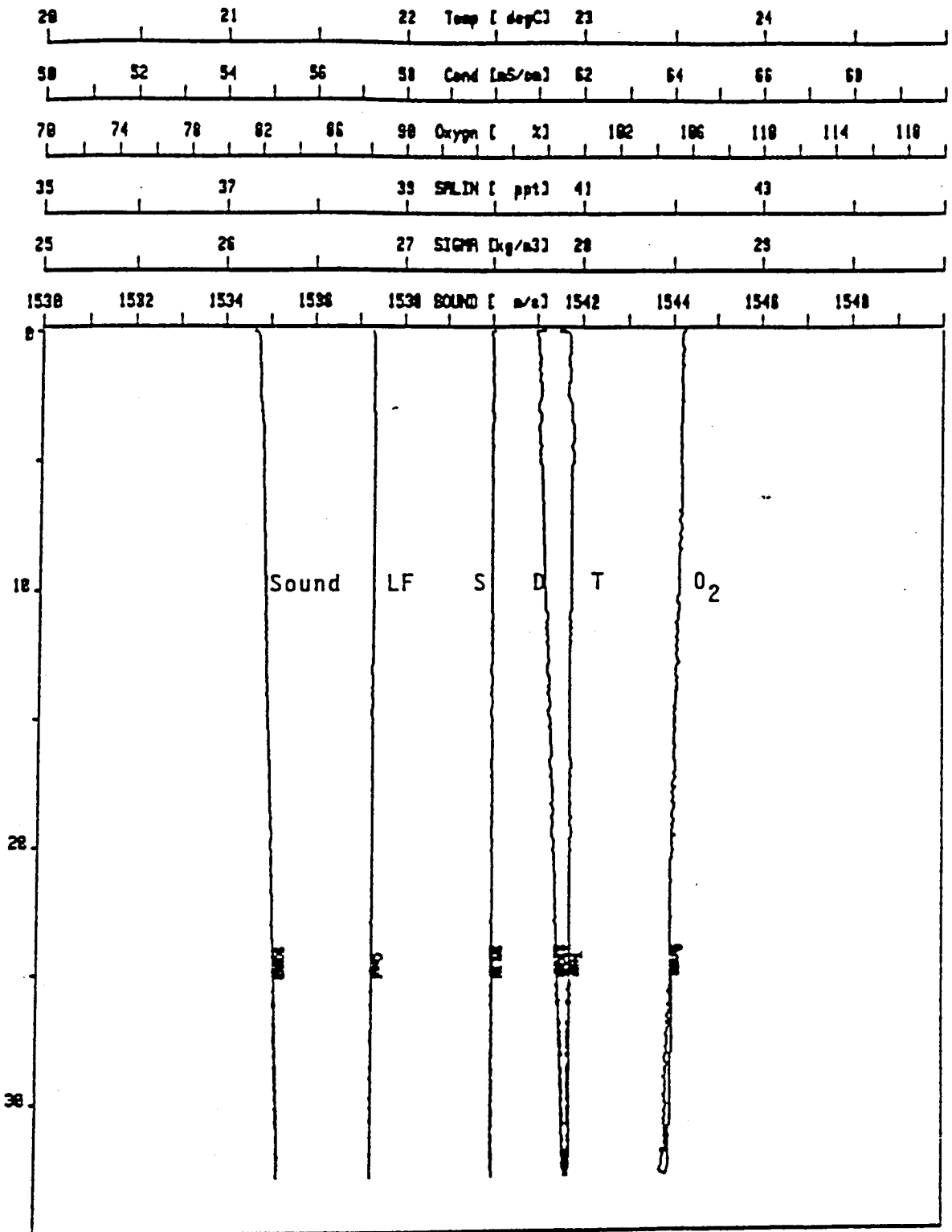


Abb. 2.1: Hydrographisches Profil auf Station 1

))) GEOMAR RESEARCH CENTER KIEL (((

Ship : ~~XXXXXXXX~~

Cruise: Persian Gulf

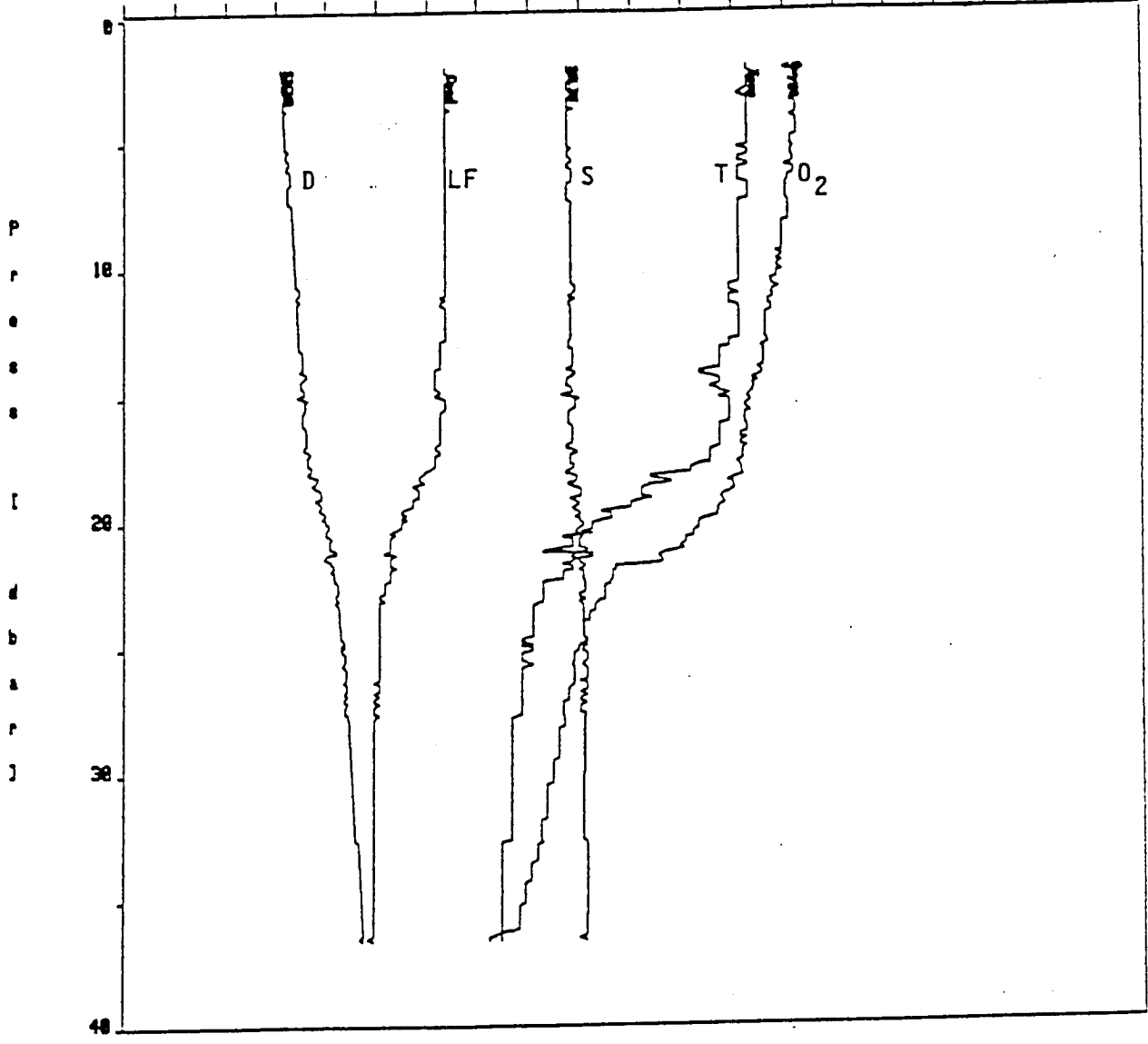
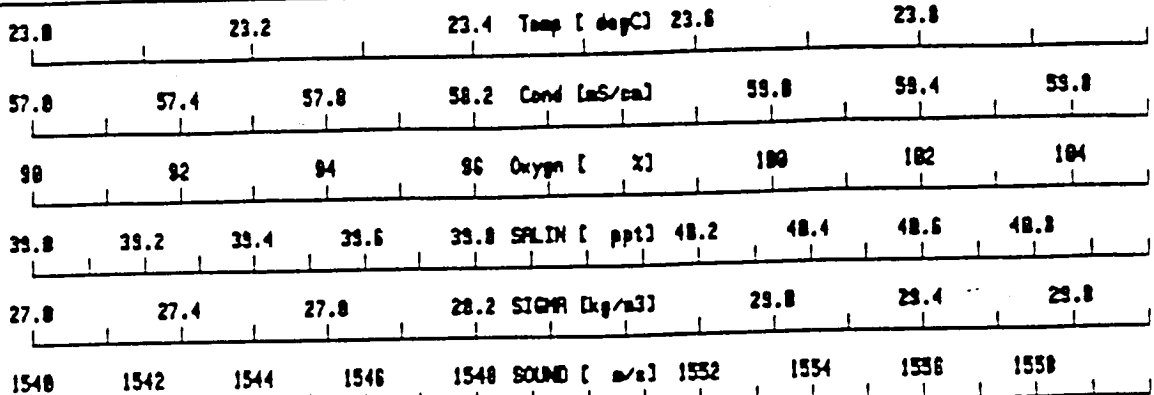


Abb. 2.2: Hydrographisches Profil auf Station 12

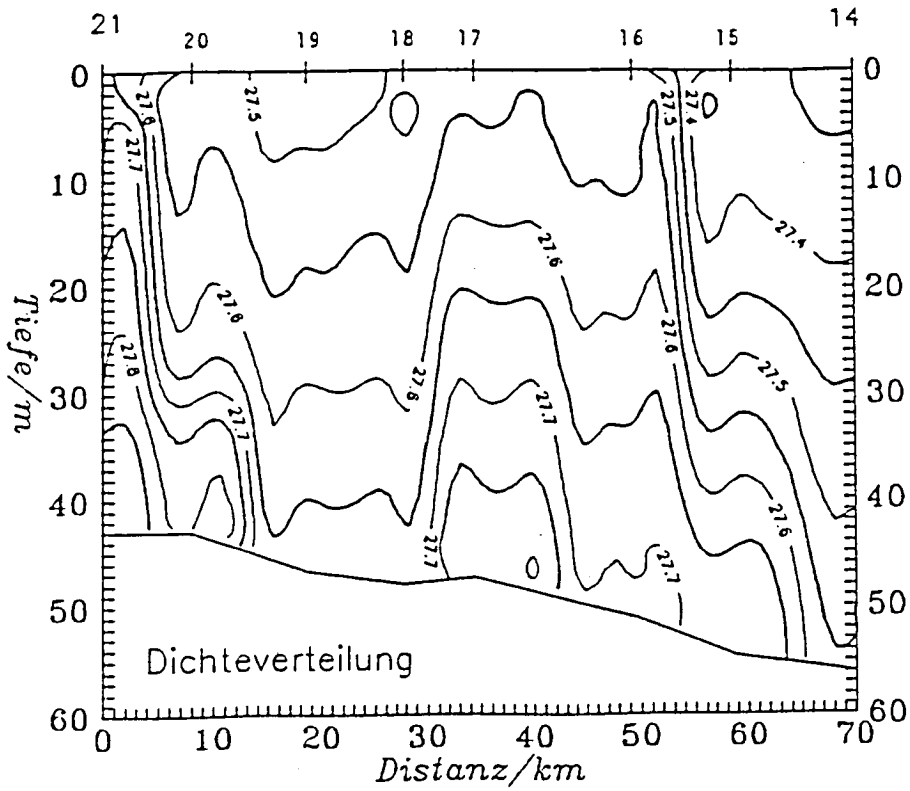


Abb. 2.3: Längsschnitt in NW-SE Richtung der Sigma t-Verteilung im nördlichen Persischen Golf. Auf der oberen Achse ist die Lage der Stationen 21-14 gekennzeichnet.

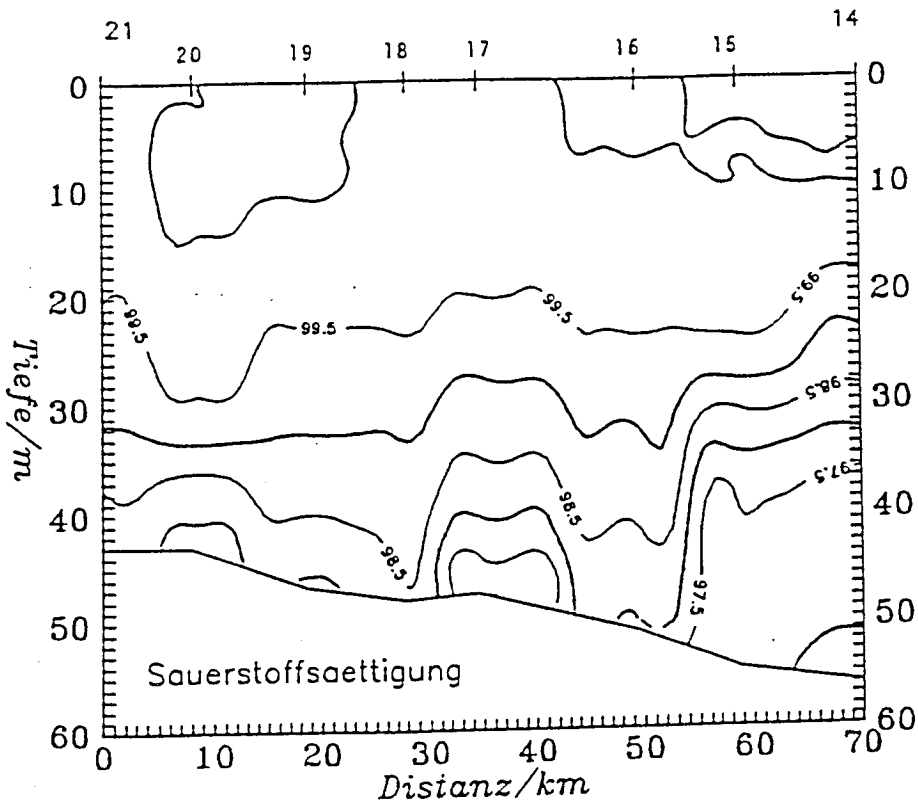


Abb. 2.4: Verteilung der Sauerstoffsättigung (in % gelöster O₂) zu dem Schnitt in Abb. 3.

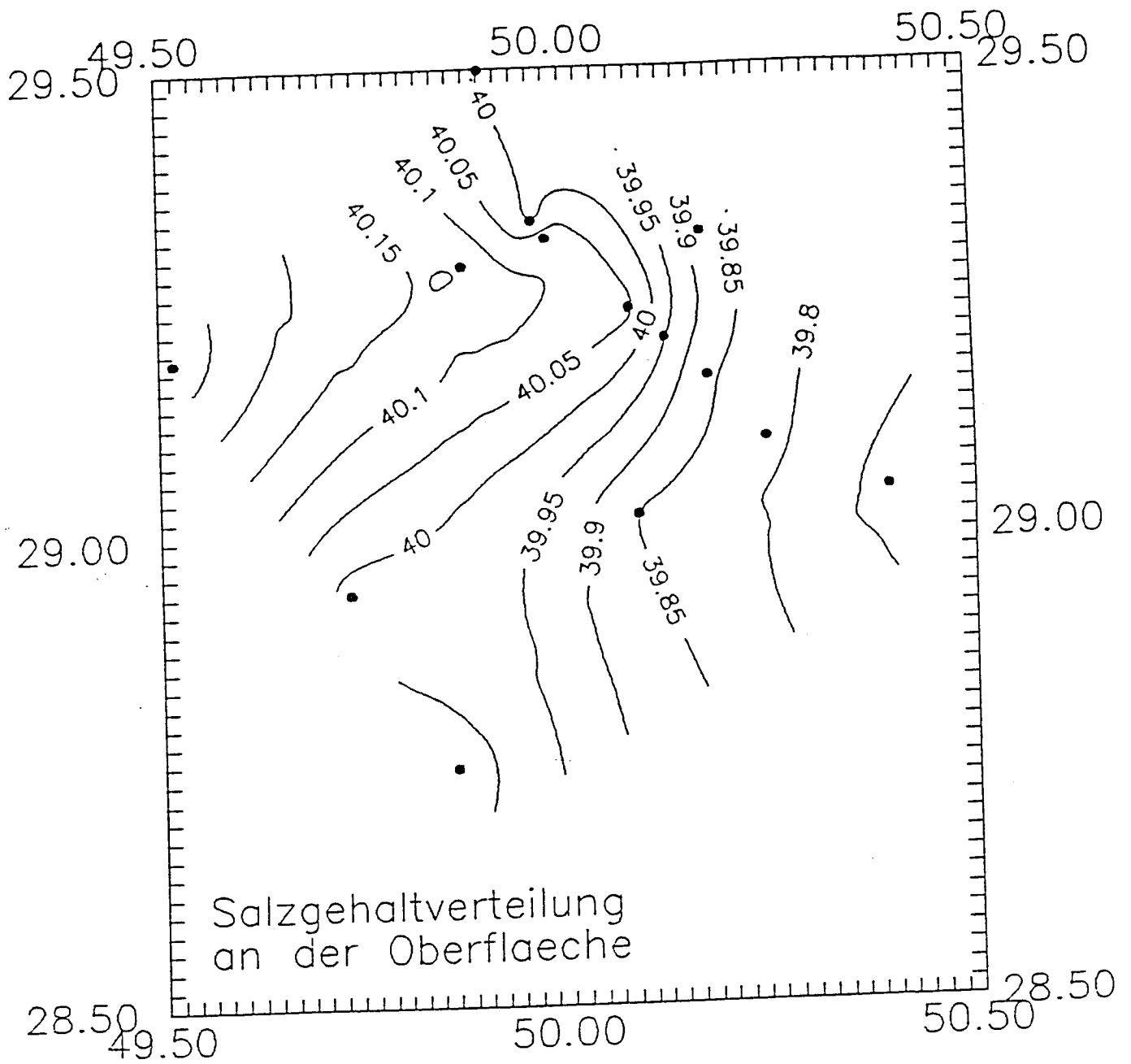


Abb. 2.5: Verteilung der Oberflächensalzgehalte.

Literatur

HUNTER (1986): zit. in: SHEPPARD, C., PRICE, A., ROBERTS, C. (1992).- Marine Ecology of the Arabian region. Patterns and processes in extreme tropical environments.-Academic press London,pp. 359.

KOSKE, P. (1972): Hydrographische Verhältnisse im Persischen Golf auf Grund von Beobachtungen von F.S. "Meteor" im Frühjahr 1965.- "Meteor" Forsch.-Ergebnisse, Reihe A, No. 11, 58-73.

EMERY (1956), SCHOTT (1918): zit. in KOSKE, P. (1972)

3. Geophysikalische Charakterisierung des Meeresbodens

(Jürgen Mienert)

Auf einer Gesamtfläche von 4600 km² wurde der Nordosten des mesopotamischen Flachschelfes (28° 30' - 29° 30' N, 49° 39' - 50° 30' E) mit Seitensicht-Sonar-Profilen und Sedimentecholot- und Boomer-Profilen (Profillänge 1300 km) geophysikalisch kartiert (Abb. 3.1). Diese Untersuchungen stellen eine Verbindung zwischen den Sedimentkernstationen her und haben zum Ziel, die jüngste Entwicklungsgeschichte der Haupttransportbahnen von Sedimenten und möglicher Ölrückstände zu rekonstruieren.

Während das Seitensicht-Sonar (Fa. EG & G, Modell 272-TD, 105 kHz) die Meeresbodenoberfläche in einer Profilbreite von 200 m bei einer Auflösung von 0.5 m aufzeichnete, erfaßte das System "Uniboom" (Fa. EG & G, Katamaran Model 230-1, Streamer Model 265) die Sedimentschichten des Untergrundes bis zu einer Tiefe von ca. 100 m. Mit dieser Konfiguration und einer GPS-Navigationsanlage (RS 5300 C, Fa. Shipmate & Robertson; Seaflex-Anlage Fa. Navitronic), die eine Positionsgenauigkeit von 60 m +/- 10 m bei fünf zur Verfügung stehenden Satelliten erlaubte, erzielten wir detaillierte Informationen über die Morphologie und den sedimentphysikalischen Aufbau des Meeresbodens. Mit Hilfe dieser geophysikalischen Untersuchungen konnten gezielt 30 Probenlokationen ausgewählt werden, welche die gesamte Variationsbreite dieses Sedimentationsraumes widerspiegeln, der auf die Auswirkungen von Erdölrückständen hin untersucht wurde.

Echocharakter:

Die geophysikalische Kartierung zeigt deutlich unterscheidbare Muster in den Echocharakteren des Meeresbodens (Abb. 3.2), die in Beziehung zur Sedimentbeschaffenheit und Bodenfauna stehen. Sehr schwach reflektierende Oberflächensedimente (Typ 1, Abb. 3.3) ohne erkennbare Strukturen in Wassertiefen < 28 m deuten ein relativ ruhiges Sedimentationsmilieu an, in dem vorwiegend tonige Sedimente zur Ablagerung kommen. Schwach reflektierende Oberflächensedimente mit erkennbaren Strukturen (Typ 3, Abb. 3.4) in Wassertiefen > 35 m weisen auf eine Zunahme des Sandanteils hin, der mit einer zunehmenden Auswaschung feinkörniger Sedimente aufgrund von verstärkten Bodenwasserströmungen einhergehen kann. Dieser Trend spiegelt sich in den oberen zwanzig Zentimeter Sediment wider. Hier steigen auch die Feuchtdichtewerte aufgrund der Korngrößenzunahme mit zunehmender Wassertiefe an (Abb. 3.5). In diesem Bereich fällt das Auftreten von kreisförmigen Kratern und Erhebungen auf (Abb. 3.6 und Abb. 3.2), deren Ursachen aber noch unbekannt sind. Besonders stark reflektierende Oberflächensedimente mit rauen

Oberflächen (Typ 2, Abb. 3.7) entsprechen vielfältigen Riffstrukturen. Ein für das Untersuchungsgebiet ausgedehnter Riffkomplex (ca. 350 km²) erstreckt sich parallel zu den Tiefenlinien in Wassertiefen von 28 bis 35 m, wobei zwei weitere, allerdings wesentlich fleckenhaftere Riffe jeweils in tieferen und flacheren Wassertiefen vorkommen. Diese Riffabfolge vom Tief- zum Flachwasser entspricht einer vermutlich natürlichen Entwicklung des Riffwachstums im Zusammenhang mit dem Meeresspiegelanstieg nach der letzten Kaltzeit. In der heutigen Zeit wirkt jedoch die z.T. mehrere Dezimeter mächtige Sedimentbedeckung stark hemmend auf die Riffentwicklung, die eine weitverbreitete Thanatozönose und ein bereits deutlich eingeschränktes Wachstum zeigt.

Bathymetrie und Paläomorphologie:

Basierend auf den seismischen Profilen (Abb. 3.1) wurden alle korrigierten Tiefeninformationen digital zusammengefaßt und das Ergebnis in einer detaillierten bathymetrischen Karte dargestellt (Abb. 3.8). Vergleichbar mit dem Trend im Echocharakter (Abb. 3.2) wird auch hier eine tiefenabhängige Entwicklung erkennbar. Sie zeigt einen nach Süden und Südwesten flach abfallenden Hang, der ein zunehmend unruhigeres Relief zum Becken hin aufweist. In der Detaildarstellung sticht ein Sedimentwellenfeld und deren Orientierung besonders klar hervor (Abb. 3.8). Die vorherrschende NNE-SSW Ausrichtung der Wellenkämme steht im deutlichen Kontrast zur morphologisch relativ ruhigen Umgebung. Die Sedimentwellen erreichen eine Höhe bis zu 5 m bei Wellenlängen bis zu 2000 m in einer Wassertiefe zwischen 40 und 60 m (Abb. 3.10) (Mienert et al., 1992). Da der Persische Golf während der letzten Glazialzeit durch die Meeresspiegelregression weitgehend trocken lag und erst wieder in der Postglazialzeit durch die Meeresspiegeltransgression überflutet wurde (Sarnthein, 1972), erscheint ein Aufwachsen der Riffe und Sedimentwellen im postglazial wahrscheinlich. Auch denkbar ist ein Szenarium, bei dem zunächst Dünenbildungen im trockengelegten Golf der letzten Glazialzeit stattfanden (Seibold und Vollbrecht, 1969, Sarnthein, 1972). Diese vorangelegten Formen förderten dann die Bildung von Sedimentwellen im Persischen Golf der Postglazialzeit. Da aber die oberen drei Meter Sediment ein marines Milieu und darunter die seismischen Sequenzen keinen markanten Fazieswechsel anzeigen, favorisieren wir die Hypothese von hydrodynamisch gesteuerten Sedimentwellenbildungen in der Postglazialzeit. Die vorherrschende Orientierung dieser Bodenformen stimmt mit dem Tigris-Euphrat- und Karun-Entwässerungssystem überein und kann damit einen wichtigen Anzeiger für den langzeitigen Transport von Partikeln liefern.

Ein deutlich anderes Bild liefern die Rekonstruktionen paläomorphologischer Sedimentoberflächen für das letzte Glazial anhand seismischer Reflektoren. Zwei markante seismische Horizonte (Abb. 3.11a und b, Reflektor 1 und 2), deren Alter vermutlich dem

letzten Glazial entspricht, wurden entlang der Profillinien digitalisiert. Die Laufzeitinformationen der Profillinien wurden mit Hilfe gemessener Kompressionswellengeschwindigkeiten (Abb. 3.12) in Tiefeninformationen umgerechnet und in bathymetrischen Karten dargestellt (Abb. 3.11). Beide Karten zeigen ein tiefeingeschnittenes Relief, das sich von NE nach SW erstreckt. Vermutlich bilden sich hier fossile Flußsysteme ab, die im letzten Glazial in den trockengelegten Golf entwässerten und deren Quellen wohl in den östlich gelegenen Gebirgszügen entsprangen.

Sedimentphysik:

Akustische und physikalische Sedimenteigenschaften (Abb. 3.12) sind von grundlegender Bedeutung zur Charakterisierung des Meeresbodens. Die Parameter Feuchtdichte und Kompressionswellengeschwindigkeit werden indirekt durch die Sedimentationsprozesse (z.B. Produktivität, Partikellösung, Bodenwassertransport) und direkt durch die daraus resultierenden Korngrößen und Sedimentfaziesänderungen mitbestimmt. Für die Untersuchung der oberen 5 m Sediment wurden die Parameter magnetische Suszeptibilität, Feuchtdichte und Kompressionswellengeschwindigkeit mit dem "Multi-Sensor Core Logger" gemessen. Zusätzlich wurden die oberen 50 cm Sediment an Großkastengreifern untersucht, die eine ungestörte Sedimentoberfläche gewährleisten. Die gesamten Feuchtdichtedaten mündeten in die Erstellung einer Isolinienkarte (Abb. 3.5).

Abbildung 3.12 zeigt beispielhaft die sedimentphysikalischen Untersuchungsergebnisse von Schwerelotkernen. Die magnetische Suszeptibilität weist im gesamten Untersuchungsraum eine insgesamt niedrige Konzentration von magnetischen Partikeln auf, was auf eine gleichmäßige Verdünnung durch Karbonatpartikel und eine einheitliche Sedimentzufuhr schließen läßt. Hingegen zeigen die physikalischen Parameter Feuchtdichte und Kompressionswellengeschwindigkeit deutliche Änderungen, die durch Variationen von Korngrößen und Sedimentkomponenten erklärt werden können. Insbesondere treten diese im Flachwasser zur Küste hin auf (Station 1, Abb.3.1), ein Gebiet was durch saisonale Flußzufuhr beeinflusst wird.

Aufgrund der vorliegenden Detailkarten der Bathymetrie, Morphologie und Feuchtdichte sind die Transporte von den Flachwassergebieten in Richtung Becken, die besonders durch Gezeiten mitbeeinflusst werden, von untergeordneter Bedeutung einzustufen. Von übergeordneter Bedeutung sind hingegen wohl die Partikeltransporte in Richtung des weiter südlich gelegenen Zentralbeckens.

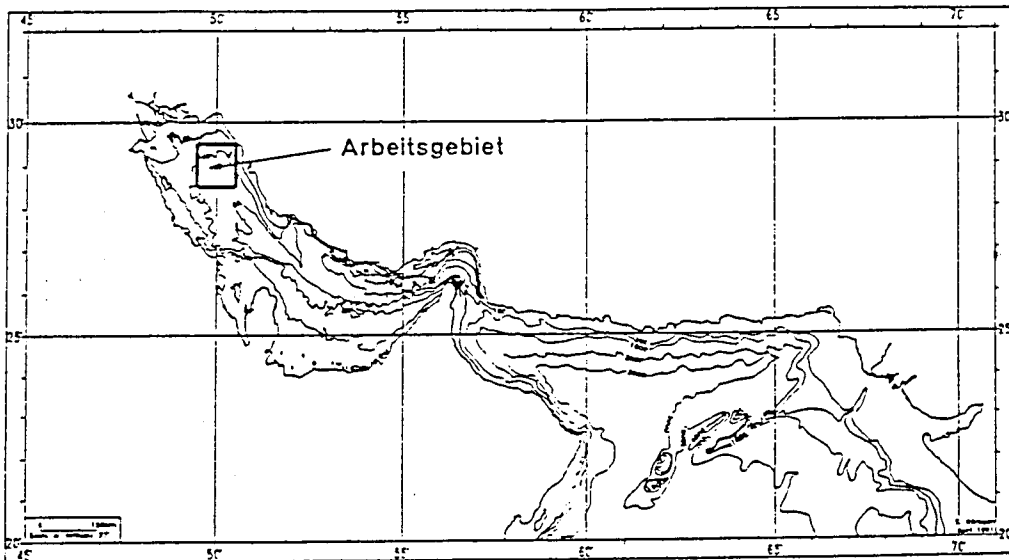
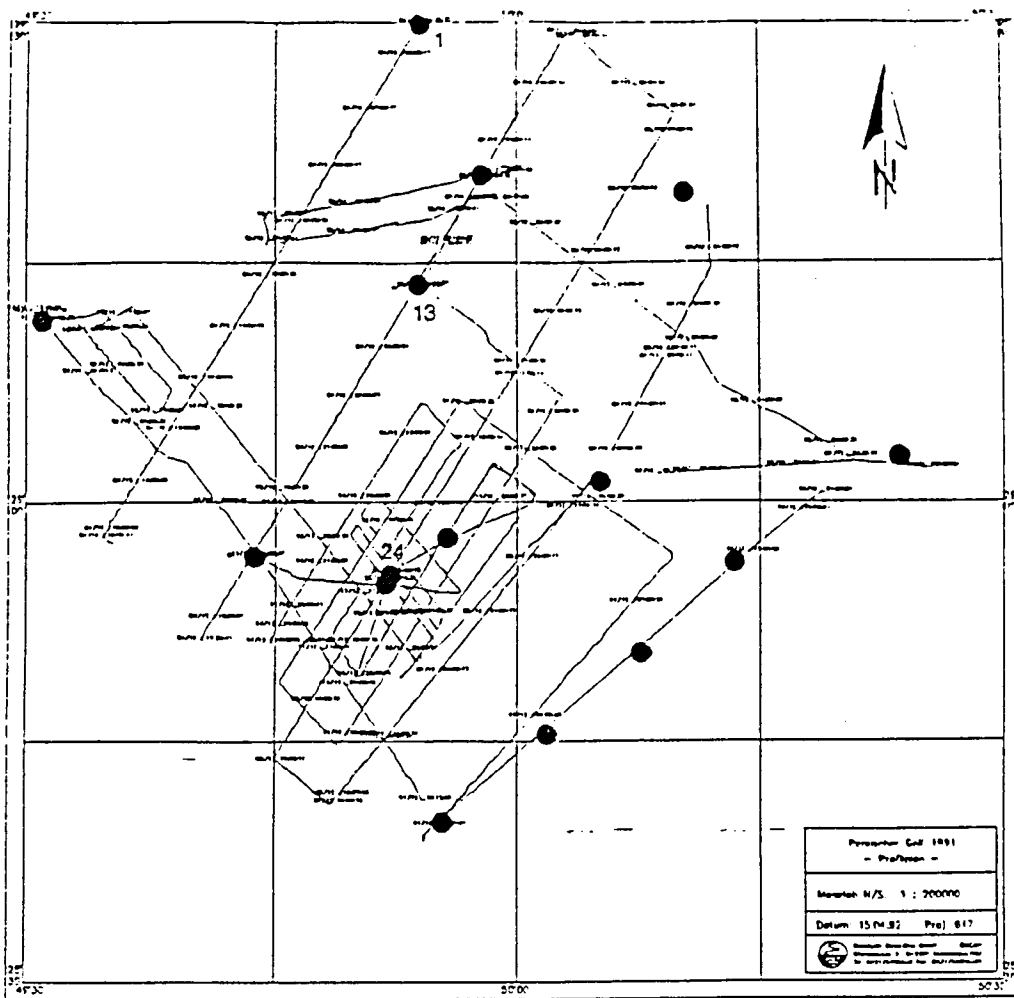


Abbildung 3.1: Karte (oben) mit Seitensicht-Sonar, Sedimentecholot, und "Uniboomer"-Profilmfahrten im Arbeitsgebiet (unten). Die schwarzen Punkte markieren die Kernstationen mit sedimentphysikalischen Untersuchungen (magnetische Suszeptibilität, Feuchtdichte, Kompressionswellengeschwindigkeit). Daten von Station 1 und 13 sind in Abb. 3.12 dargestellt.

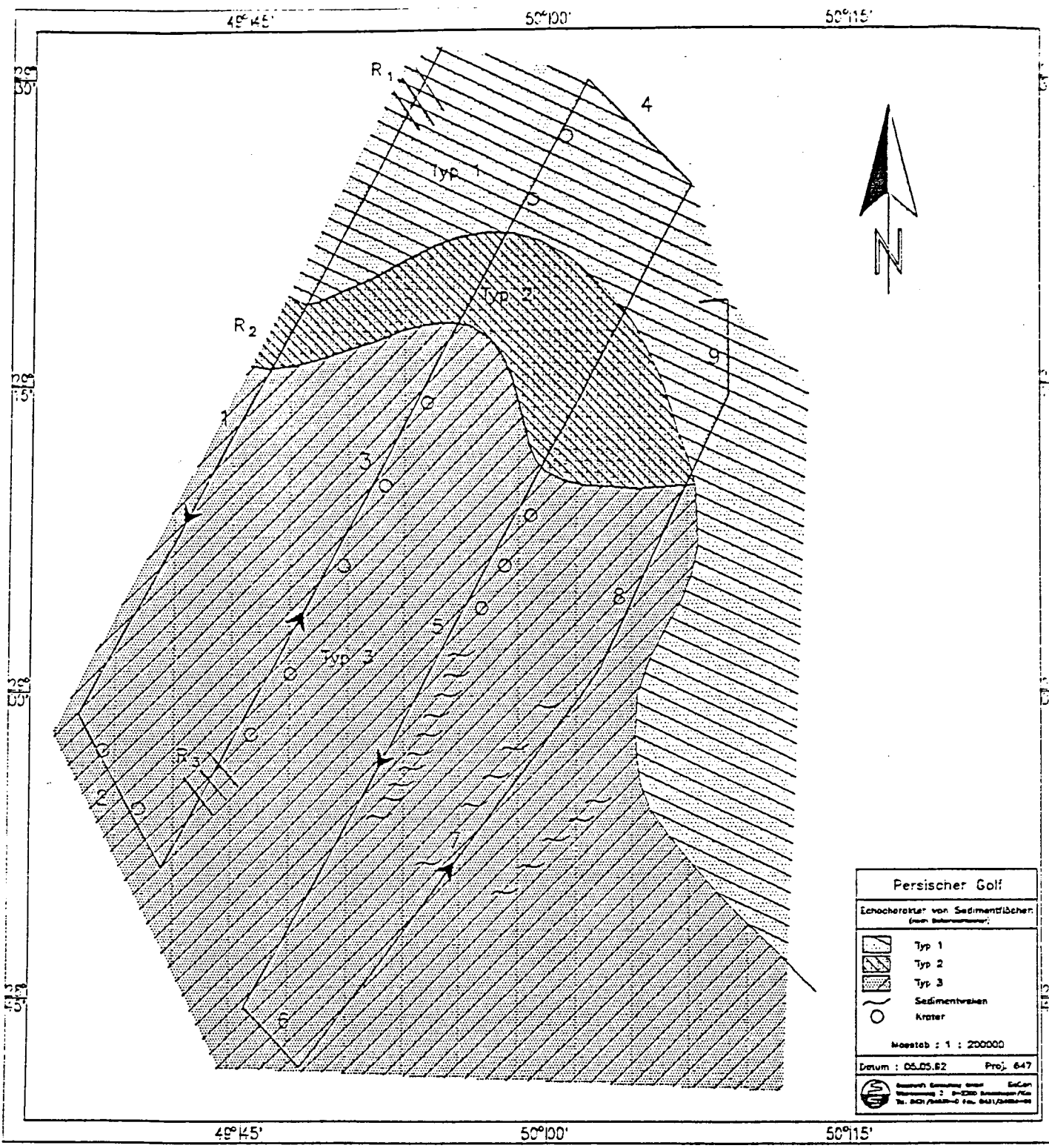


Abbildung 3.2: Die Echocharakter-Karte des Arbeitsgebietes (Abb.3.1) zeigt drei Unterteilungen (Typ 1= sehr schwach reflektierend, Typ 2 = stark reflektierend, Typ 3 = schwach reflektierend). Die Einteilung beruht auf der Auswertung der 105 kHz Seitensicht-Sonar-Profilfahrten (Abb. 3.1). Profile 1-9 sind durch Striche und Pfeile markiert. Die Wellensignatur zeigt die Verbreitung von Großrippelfeldern und die offenen Kreise das Vorkommen von Kratern an, die sich aus den Sedimentecholotprofilen ableiten lassen. R1-R3 markieren die Riffe.

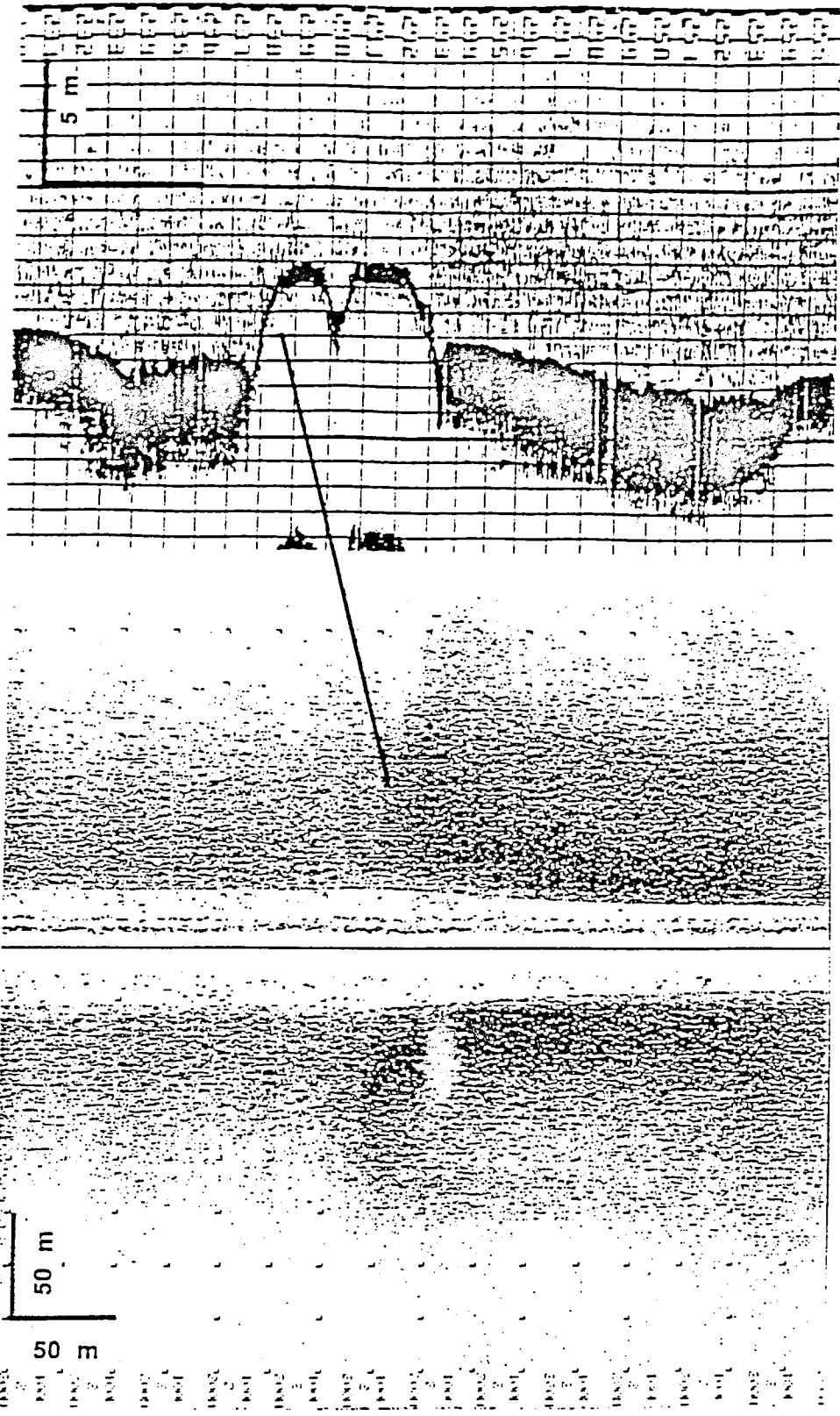


Abbildung 3.3: Sedimentecholot- (oben) und Seitensicht-Sonar-Aufzeichnung (unten) vom Echocharakter Typ 1 (links) und Typ 7 (rechts). Typ 2 zeigt die Rifffausdehnung im Flachwasserbereich an. In der Sedimentecholot-Aufzeichnung ist das Riff gut erkennbar als relativ steil ansteigende Erhebung.

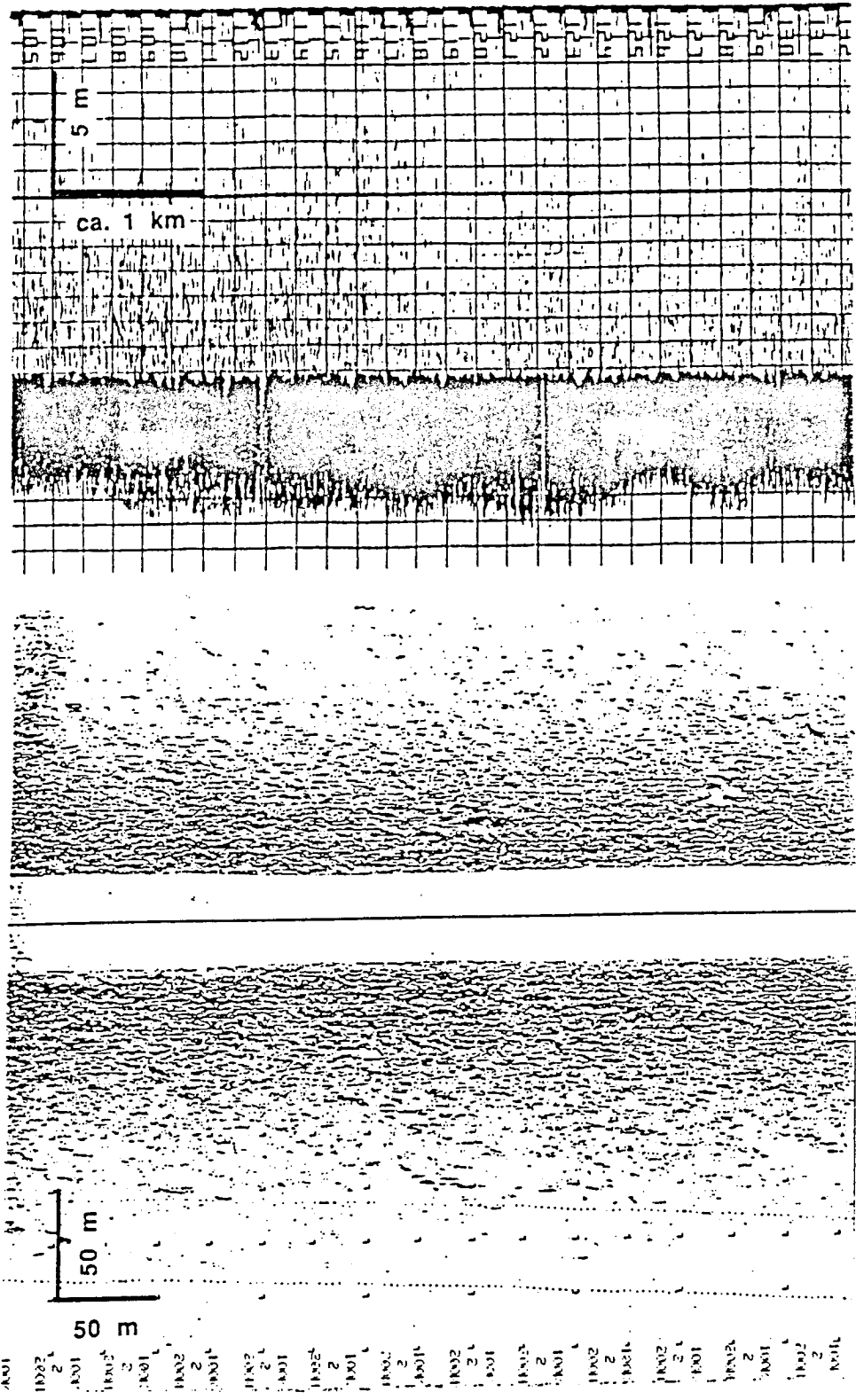


Abbildung 3.4: Sedimentecholot- (oben) und Seitensicht-Sonar-Aufzeichnung (unten) vom Echocharakter Typ 3 (schwach reflektierend).

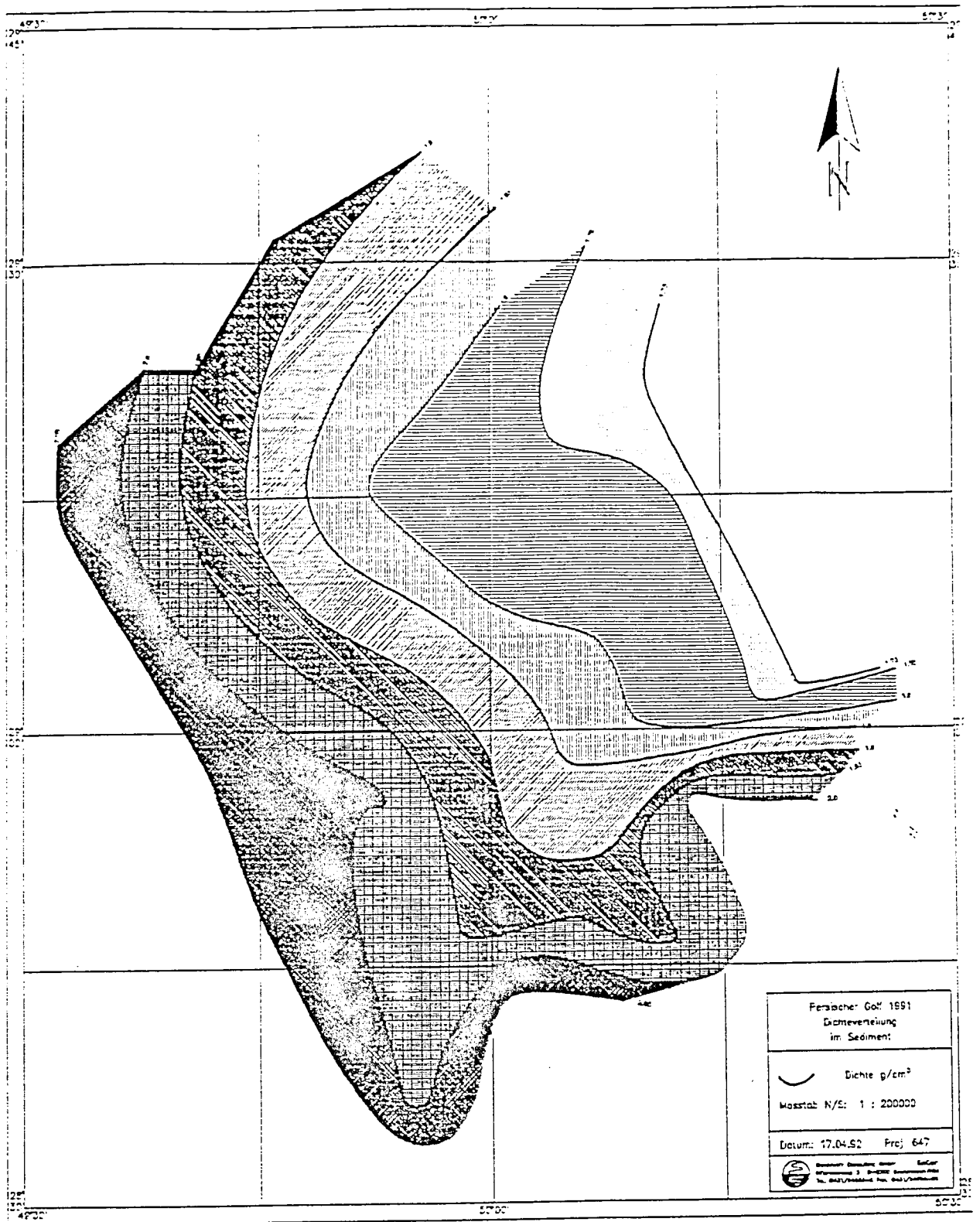


Abbildung 3.5: Systematische Darstellung der Feuchtdichteänderungen. Die Sedimentkernstationen (schwarze Punkte) sind in Abbildung 3.2 markiert. Die Feuchtdichte wurde im zerstörungsfreien Meßverfahren an ungeöffneten Sedimentkernen mit Hilfe einer Cs137-Quelle gemessen (Chi & Mienert, 1992) und für die oberen 20 cm Sediment gemittelt. Die dargestellten Isolinien basieren auf Interpolationen zwischen den gemessenen Werten der jeweiligen Probenlokationen (Abb. 3.2).

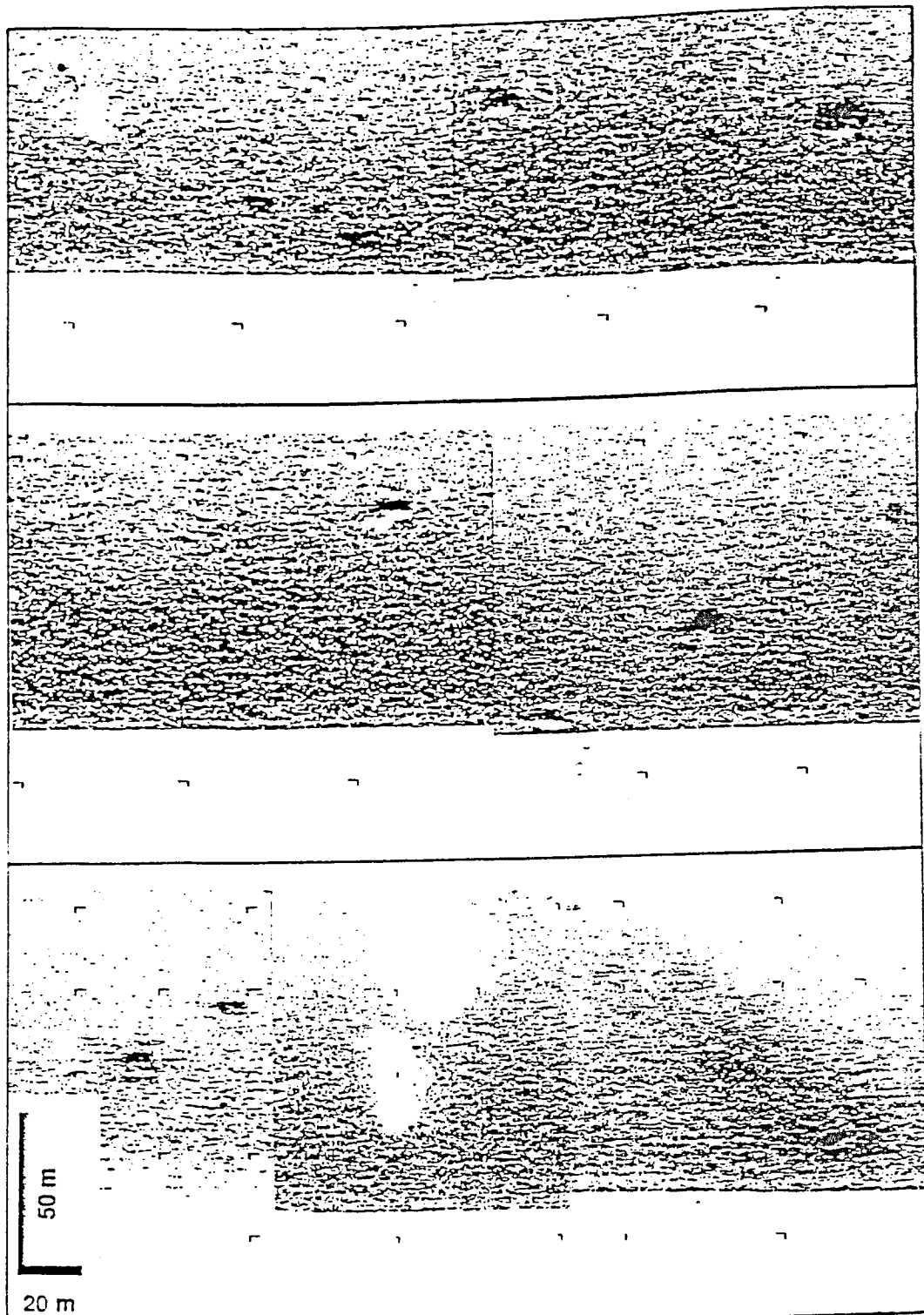


Abbildung 3.6: Backbordseitige Seitensicht-Sonar-Aufnahmen von sowohl stark als auch schwach reflektierenden fleckenhaften Kratern und Erhebungen (Abb. 3.2), deren Entstehungsursache noch nicht geklärt ist.

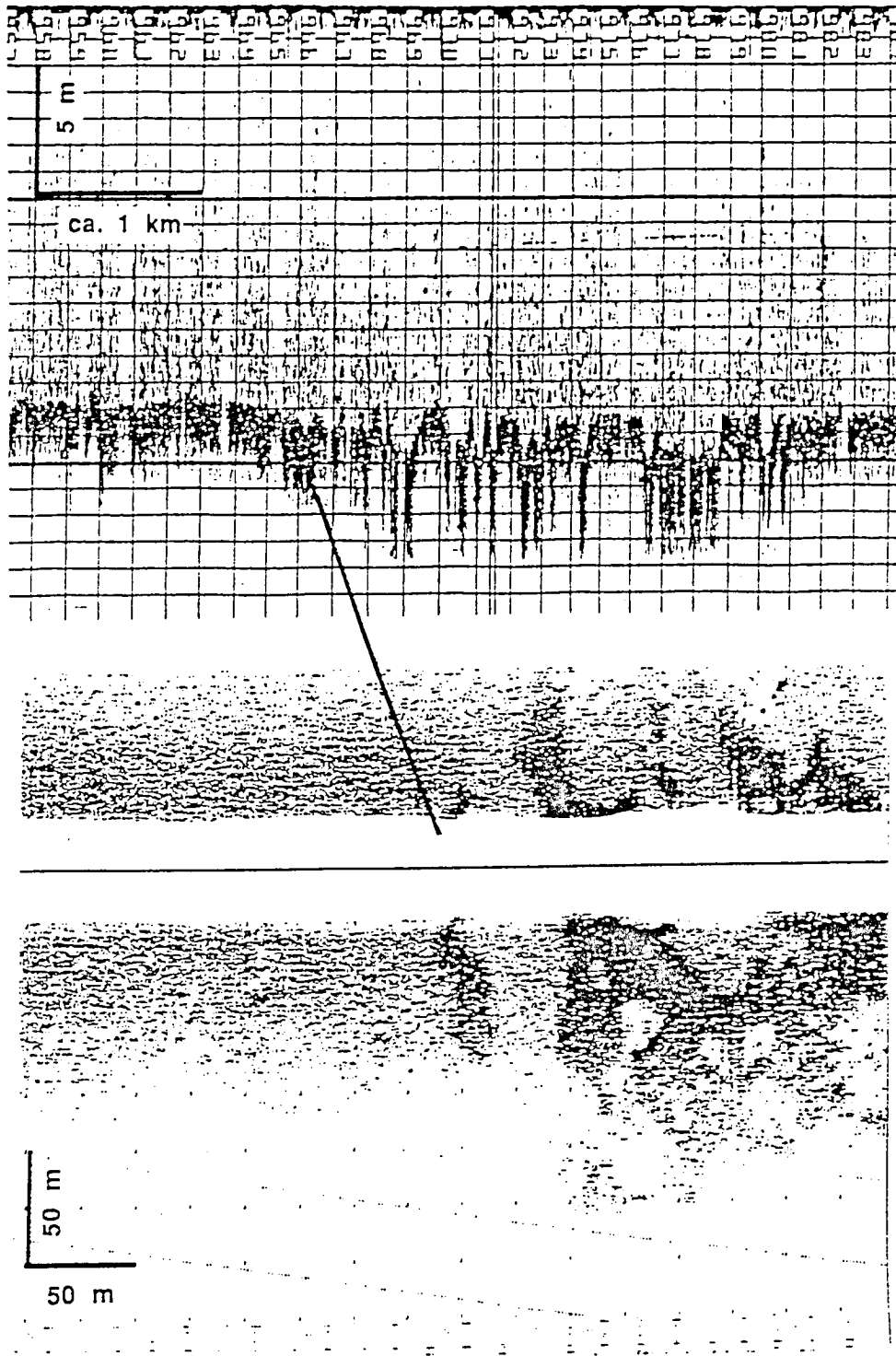


Abbildung 3.7 a: Sedimentecholot- (oben) und Seitensicht-Sonar-Aufzeichnung (unten) am Übergang zum Riffkomplex (Echocharakter-Typ 2, R 2 in Abb. 3.2). Deutlich erkennbar sind die unruhigen z.T. mehrere Meter tiefen Einschnitte in der Oberfläche des Riffes.

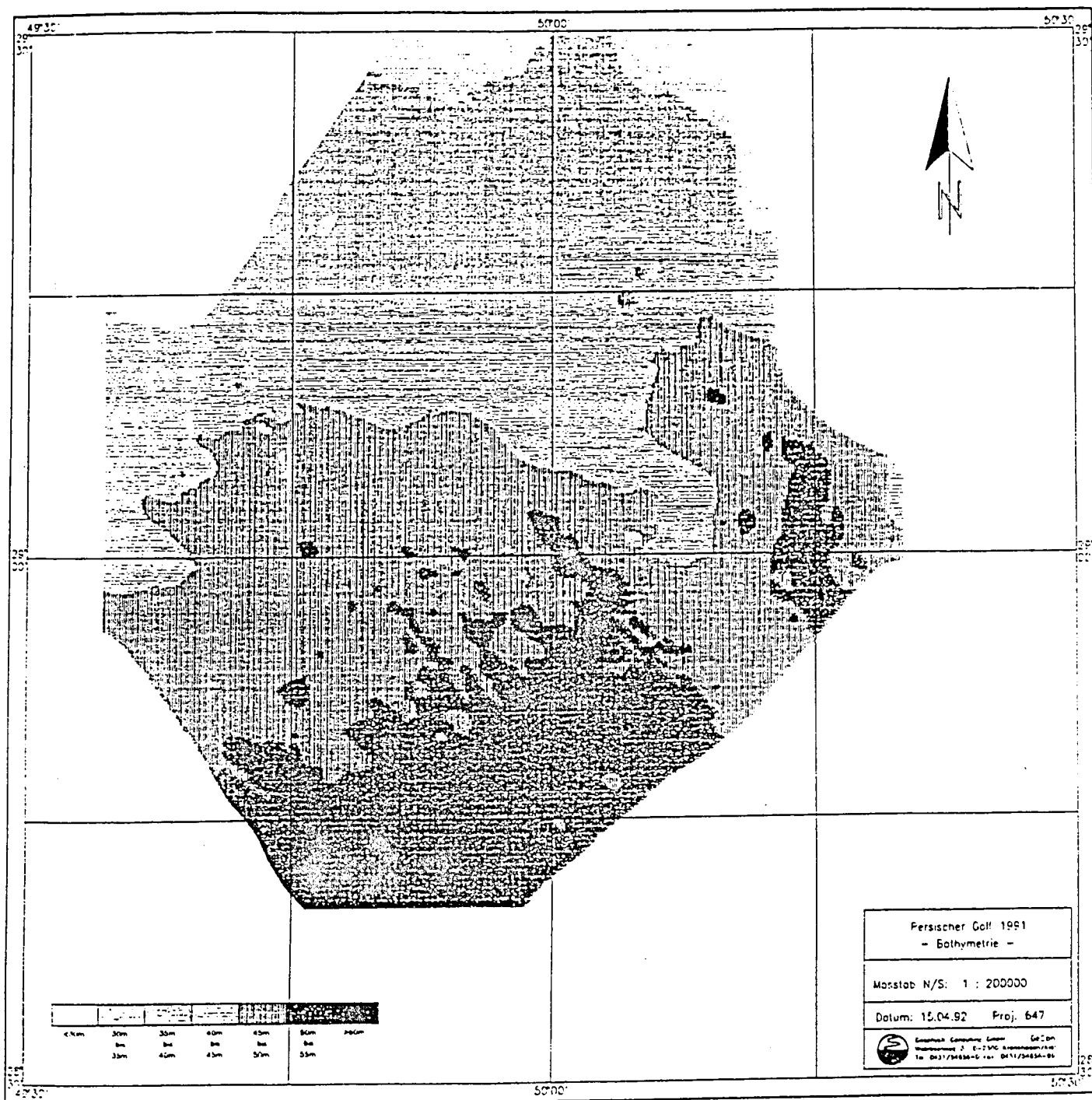


Abbildung 3.8: Bathymetrische Karte (Bezugsfeld Geoid!) des Untersuchungsraumes. Die Tiefeninformationen basieren auf den Profilverfahrten (Abb. 3.1).

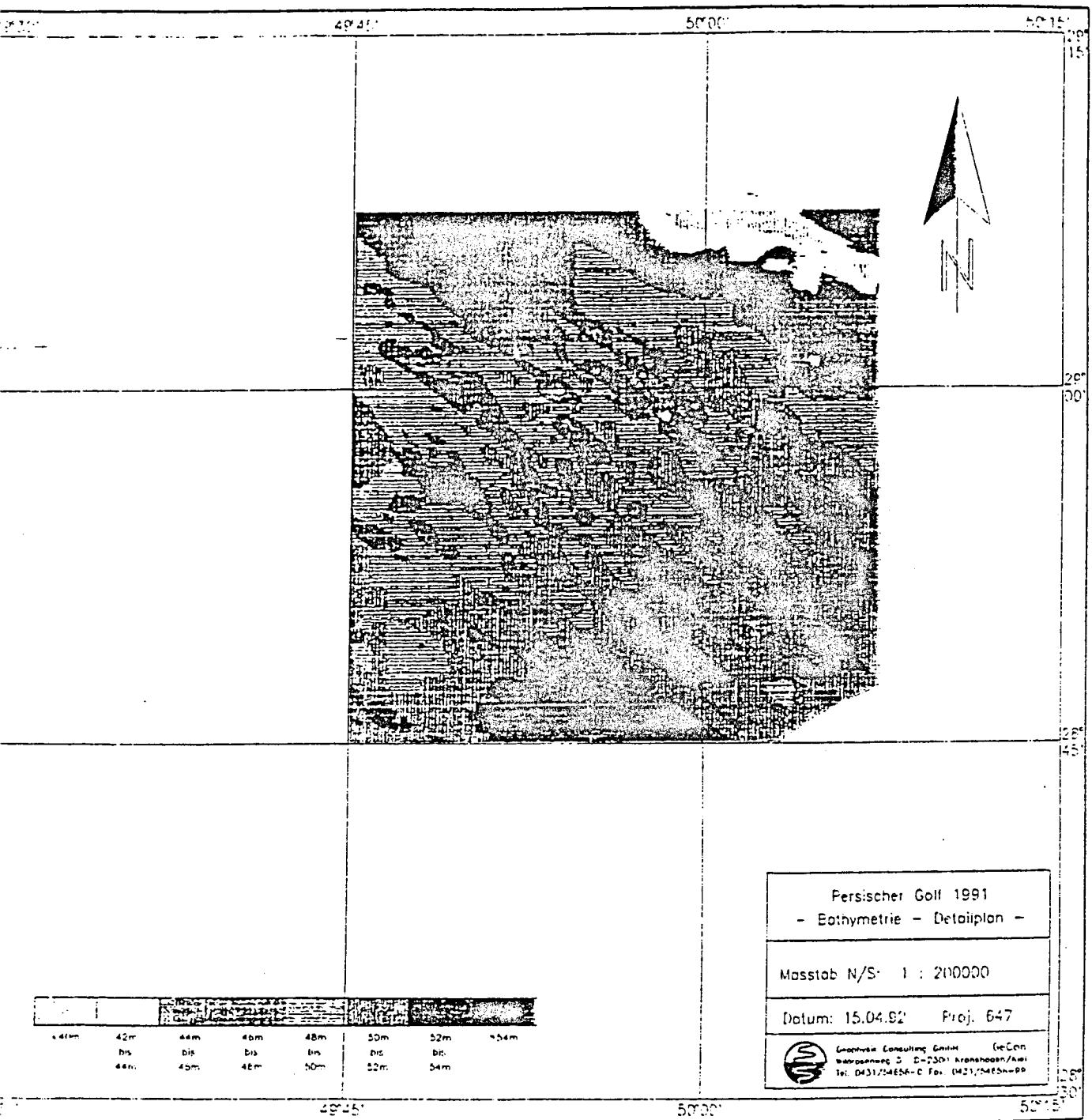


Abb. 3.9: Bathymetrische Detailkarte des Sedimentwellenfeldes (Abb. 3.1 und 3.2). Die Streichrichtung der Sedimentwellen ist NNW-SSE.

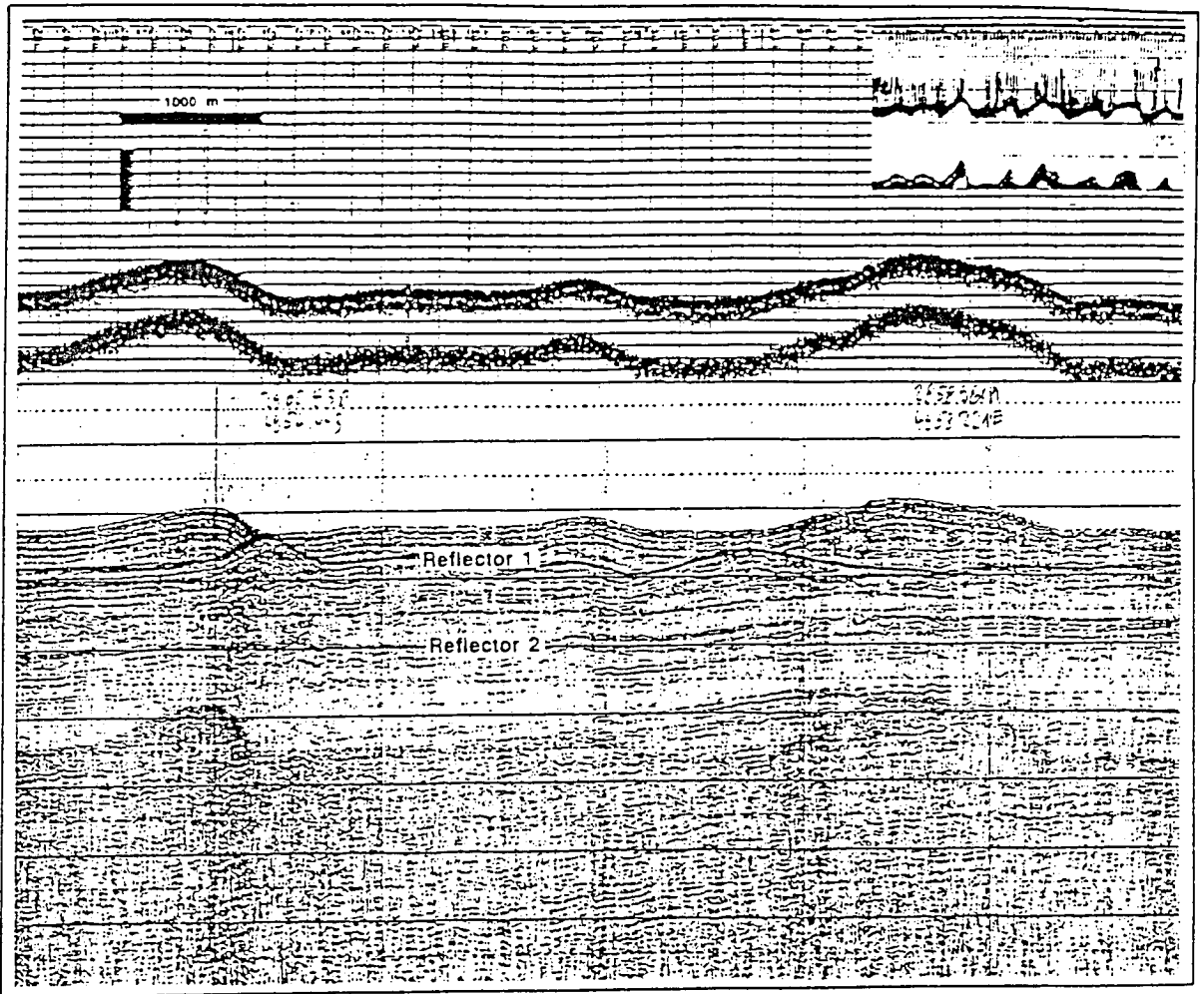


Abbildung 3.10: Sedimentecholot- (oben) und Uniboomer-Aufzeichnung (unten) von einem Ausschnitt des Sedimentwellenfeldes (siehe Abb. 3.3 und Abb. 3.9). Die Großrippeln haben Amplituden von mehreren Metern und Wellenlängen in der Größenordnung von Kilometern. Die "Uniboomer" - Aufzeichnungen sind von zwei Großrippelgenerationen, die auf ebenen Flächen aufgewachsen sind und vermutlich eine drastische Änderung des Strömungsregimes anzeigen. Bemerkenswert ist die deutliche Verschiebung vom Kamm zum Tal zwischen den Generationen.

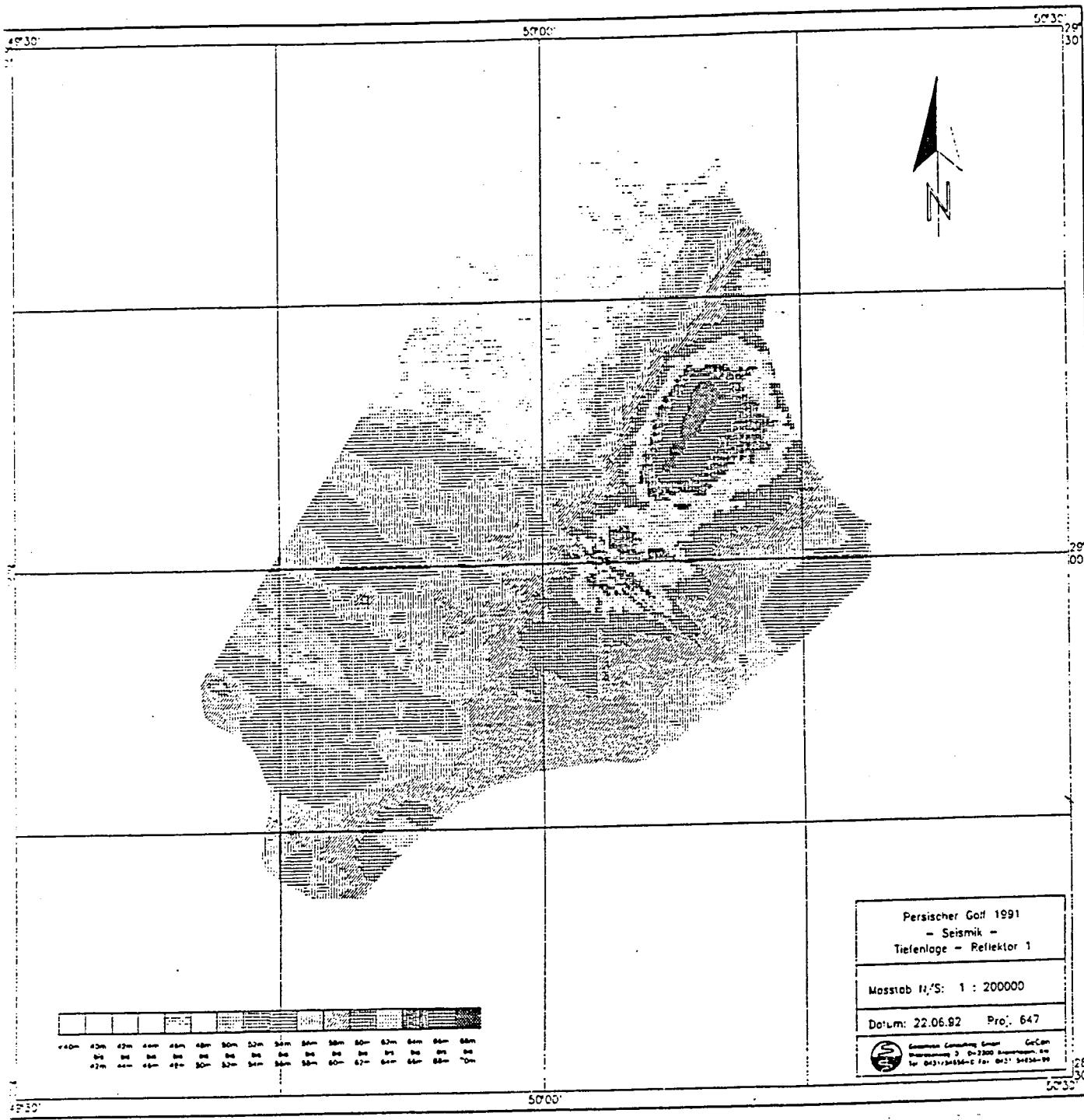


Abbildung 3.11 a: Bathymetrische Karte paläomorphologischer Sedimentoberflächen auf der Basis der Verbreitung des seismischen Reflektors 1 (Abb. 3.10).

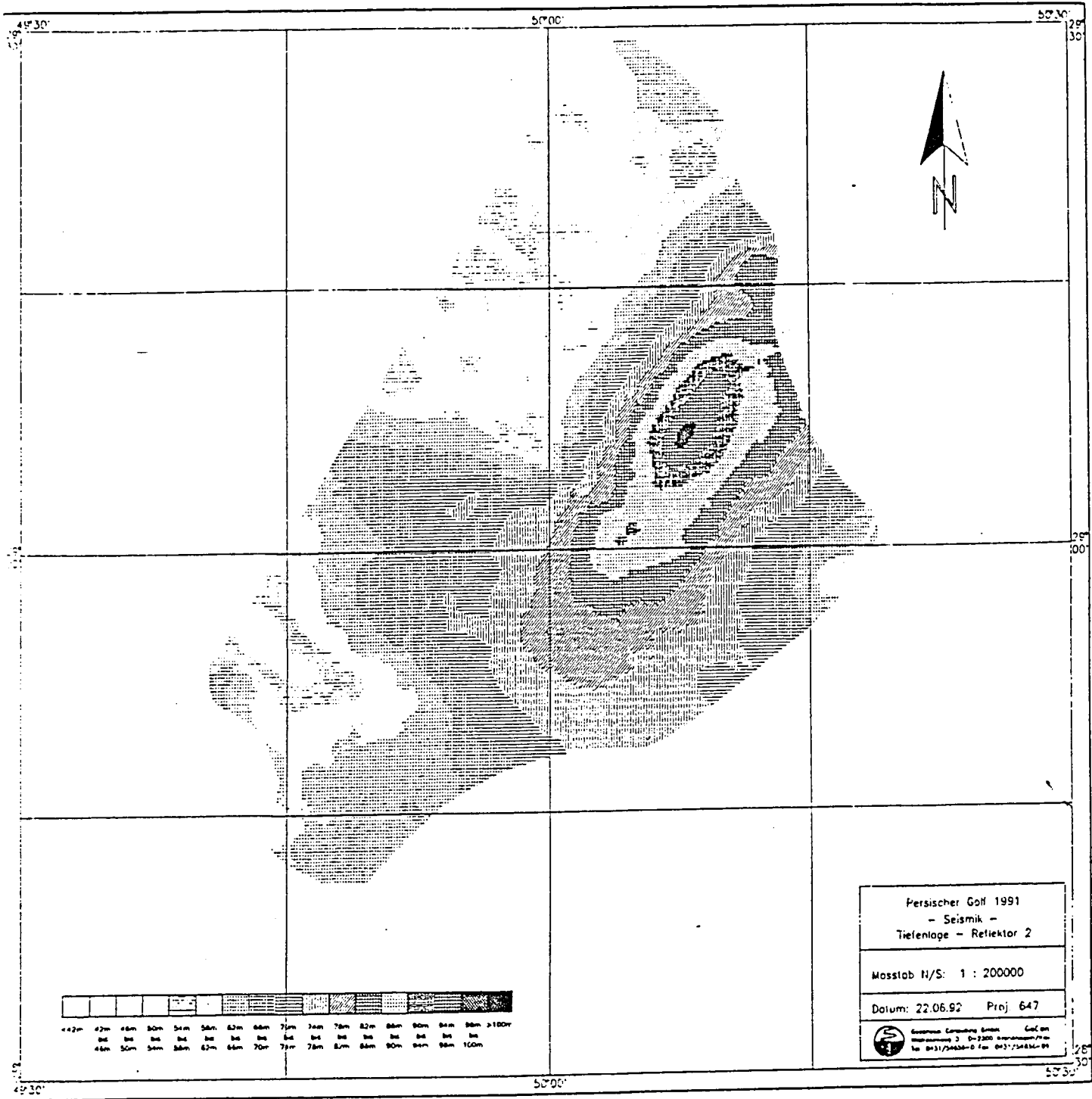


Abbildung 3.11 b: Bathymetrische Karte paläomorphologischer Sedimentoberflächen auf der Basis der Verbreitung des seismischen Reflektors 2 (Abb. 3.10).

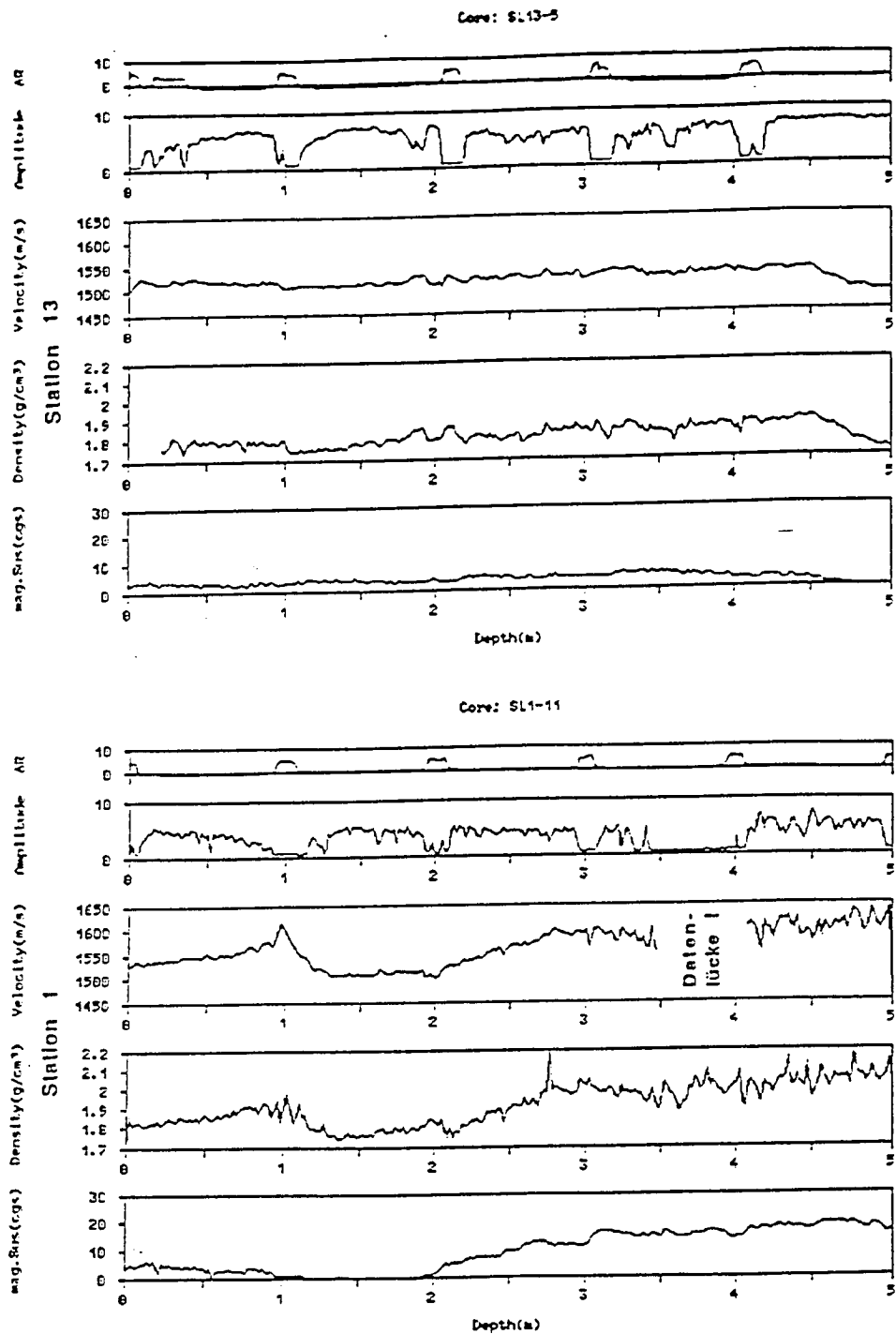


Abbildung 3.12: Beispiel von zerstörungsfreien sedimentphysikalischen Untersuchungen an Sedimentkernen des Persischen Golfes mit dem "Multi-Sensor-Core-Logger (Chi & Mienert, 1992). Von links nach rechts sind aufgetragen die Änderungen (1) der magnetischen Suszeptibilität, (2) der Feuchtdichte, (3) der Kompressionswellengeschwindigkeit und (4) der Signalamplitude.

Literatur

- CHI, J. and MIENERT, J., 1992. Orbital cyclicity in high-latitude sediments: Spectral analysis of Multi-Sensor Core Logging data. In: Fourth International Conference on Paleoceanography ICP IV, 21-25 September 1992. Program and abstracts. p. 84.
- MIENERT J., THIEDE, J. and MARASHI, K., 1992. The Persian Gulf: Giant sediment waves as indicators of long term current activity ? In: Fourth International Conference on Paleoceanography ICP IV, 21-25 September 1992. Program and abstracts. p. 198.
- SARNTHEIN, M., 1971. Sediments and history of the postglacial transgression in the Persian Gulf and northwest Gulf of Oman. *Mar. Geol.*, 12, 245-266.
- SEIBOLD, E. und VOLLBRECHT, K., 1969. Die Bodengestalt des Persischen Golfs. "Meteor" Forschungsergebnisse, Reihe C, 2: 29-56.

4. Kohlenwasserstoffe in Sedimentproben aus dem Persischen Golf

(Detlef Schulz-Bull und Gert Petrick)

In insgesamt 13 Sedimentproben, die während der Expedition in den Persischen Golf vom 30.11. - 20.12.1991 gewonnen wurden, wurden die Gehalte an n-Kohlenwasserstoffen und Polycyclischen Aromaten (PAH) bestimmt. Die Oberflächensedimente zeigten dabei sehr große Unterschiede in ihren Zusammensetzungen und Konzentrationen. In tieferen Sedimenten (unterhalb 10 cm) wurden niedrigere Gehalte gemessen. Nur in den Sedimentproben aus dem westlichen Untersuchungsgebiet (13, 21) konnten hohe Konzentrationen von n-Kohlenwasserstoffen gefunden werden. Die Probe A1 wies eine ungewöhnlich hohe Belastung an Aromaten auf. In den Sedimenten der Stationen 13, 14, 21 und 22 waren hohe Konzentrationen von bisher nicht eindeutig identifizierten Verbindungen nachzuweisen.

Experimentelle Aufarbeitung:

Die Sedimente wurden sofort nach der Probennahme tiefgekühlt und bei - 20 °C gelagert. Zur Aufarbeitung wurden 3-5 g Sediment dreimal mit Dichlormethan im Ultraschallbad extrahiert. Die getrockneten (Natriumsulfat) Extrakte wurden eingeeengt und durch Säulenchromatographie mit Kieselgel in zwei Fraktionen getrennt (1.Fraktion: 10 ml Hexan, n-Kohlenwasserstoffe, 2.Fraktion: 10 ml Dichlormethan, Aromaten). Die erhaltenen Fraktionen wurden bis auf 100 µl eingeeengt und gaschromatographisch (Carlo Erba 4100, Detektor: FID) und mit GC-Massenspektrometrie untersucht.

Ergebnisse und Diskussion:

Die Untersuchungsergebnisse sind in der Tabelle 4.1 zusammengefaßt. Die höchsten Gehalte an n-Alkanen (Summe von 7 Komponenten) lagen zwischen 2000 - 3300 ng/g Sediment in den Proben 13 und 21 (vergl. Abb.4.1, FID-Chromatogramm der Probe 13). In den übrigen Sedimenten wurden niedrigere Gehalte (400 - 700 ng/g) gefunden. Die relativen Verhältnisse zeigten in allen Proben eine ähnliche Zusammensetzung. Für das Oberflächensediment der Station 13 ist die Zusammensetzung der Einzelverbindungen in der Tabelle 4.2 aufgelistet.

Die n-Alkanverteilung entspricht dem für Leichtes Iranisches Erdöl erhaltenen Muster (Page et al., 1988).

Auffällig ist die sehr hohe Konzentration von Aromatischen Verbindungen in den Proben der Stationen 1 und 13. In der Literatur sind PAH als Produkte einer unvollständigen

Verbrennung von Erdöl beschrieben worden (Frease und Windsor, 1991). Es ist aber unklar ob die Ursache der hohen PAH Gehalte in den Bränden der Erdölquellen in Kuwait anzunehmen ist, da diese nur an zwei Stationen gefunden wurden. Ein Chromatogramm der Aromatischen Fraktion in in der Abbildung 4.2 dargestellt.

Die höchsten Konzentrationen wiesen aber bisher nicht identifizierte Verbindungen auf. Diese lassen sich mit der Gaschromatographie nicht in Einzelverbindungen trennen (vergl. Abb.4.3) und geben sehr ähnliche Massenspektren, die in nächster Zeit noch mit Standardverbindungen verglichen werden sollen. Die Quelle dieser Stoffe läßt sich nicht zuordnen, sie sind über das Untersuchungsgebiet verteilt anzutreffen. Es scheint sich aber um in der Umwelt stabile Stoffe zu handeln, die nach bisheriger Kenntnissen anthropogenen Ursprungs sind, und sich auch in tieferen Sedimentschichten nachweisen lassen. Die Verteilung im Sediment der Station 14 ist der Tabelle 4.1 zu entnehmen. Die Konzentrationen $< 10 \mu\text{g g}^{-1}$ sind so hoch, daß sie die weiter unten beschriebenen Kohlenstoff/Stickstoffanomalien teilweise erklären könnten.

Insgesamt ergibt sich ein uneinheitliches Bild der Belastung der Sedimente mit n-Alkanen, Aromaten und anderen Verbindungen. Für weitergehende Aussagen wären weitere Analysen des vorhandenen Materials aber auch neue Probennahmen notwendig.

Literatur

FRAESE, R. and J. WINDSOR jr. 1991, Mar. Poll. Bull., 22: 15-19

PAGE, D., J. FOSTER, P. FICKETT and E. GILFILLAN. 1988, Mar. Poll. Bull., 19: 107-115.

Tabelle 4.1: Kohlenwasserstoffkonzentrationen im Vergleich zum C.-org Gehalt

Station	PAH	ng/g	n-Alkane	ng/g	unb. Verbindg.	C.-org. %	Σ KWs/C.-org.** %	ng/g *
A1, 0-1 cm	++	1830	+	440	-	0.394	1.9	7500
A2, 0-1	+	280	+	530	+	0.900	0.2	1800
A2, 25-26	-	160	-	<100	+	0.635	<0.1	200
A3, 0-1	-	130	+	660	++	0.876	0.6	5800
A13, 0-1	+	910	++	2370	+	0.728	1.4	10000
A13, 26-27	-	240	-	<100	-	0.539	<0.1	300
A14, 0-1	-	<100	-	<100	+++	0.892	1.7	15000
A14, 7.5-10	-	<100	-	<100	++	0.480	1.0	5000
A14, 15-20	-	<100	-	<100	+	0.429	0.2	1000
A14, 20-25	-	<100	-	<100	+	0.440	0.2	1000
A14, 25-30	-	<100	-	<100	-	0.572	<0.1	200
A21, 0-1	+	630	++	2566	+++	0.501	4.9	25000
A21, 25-26	+	510	++	2060	+	0.275	5.3	15000
A22, 0-1	-	180	+	500	++	0.515	2.1	11000
A22, 15-16	-	110	+	710	+	0.396	0.7	3000
A22, 25-26	-	60	-	<100	-	-	(<0.1)	200

Konzentrationsbereiche:

+++
++
+
-

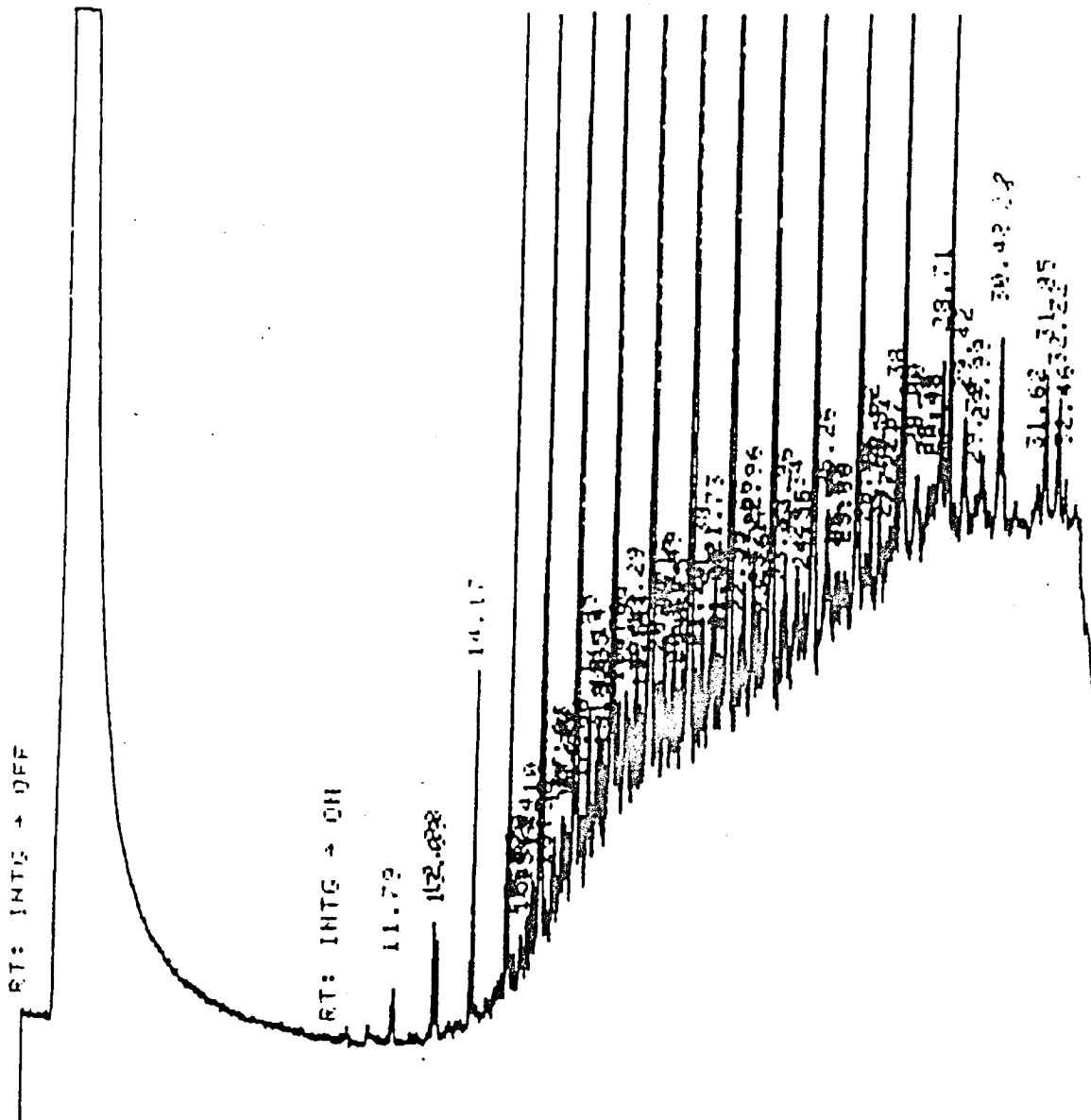
>10000
>1000
250-1000
<250

** einschließlich abgeschätzter
Konzentrationsbereiche der
unbestimmten Kohlenwasser-
stoffe

* geschätzte Summe der Kohlenwasser-
stoffgehalte

Tabelle 4.2: Station 13, 0-1 cm PAH-Fraktion und Alkanfraktion
ng/g

Fluoren	10
Phenanthren	170
Fluoranthracen	420
Pyren	310
C-19	40
C-20	120
C-21	330
C-22	240
C-23	610
C-24	660
C-28	350



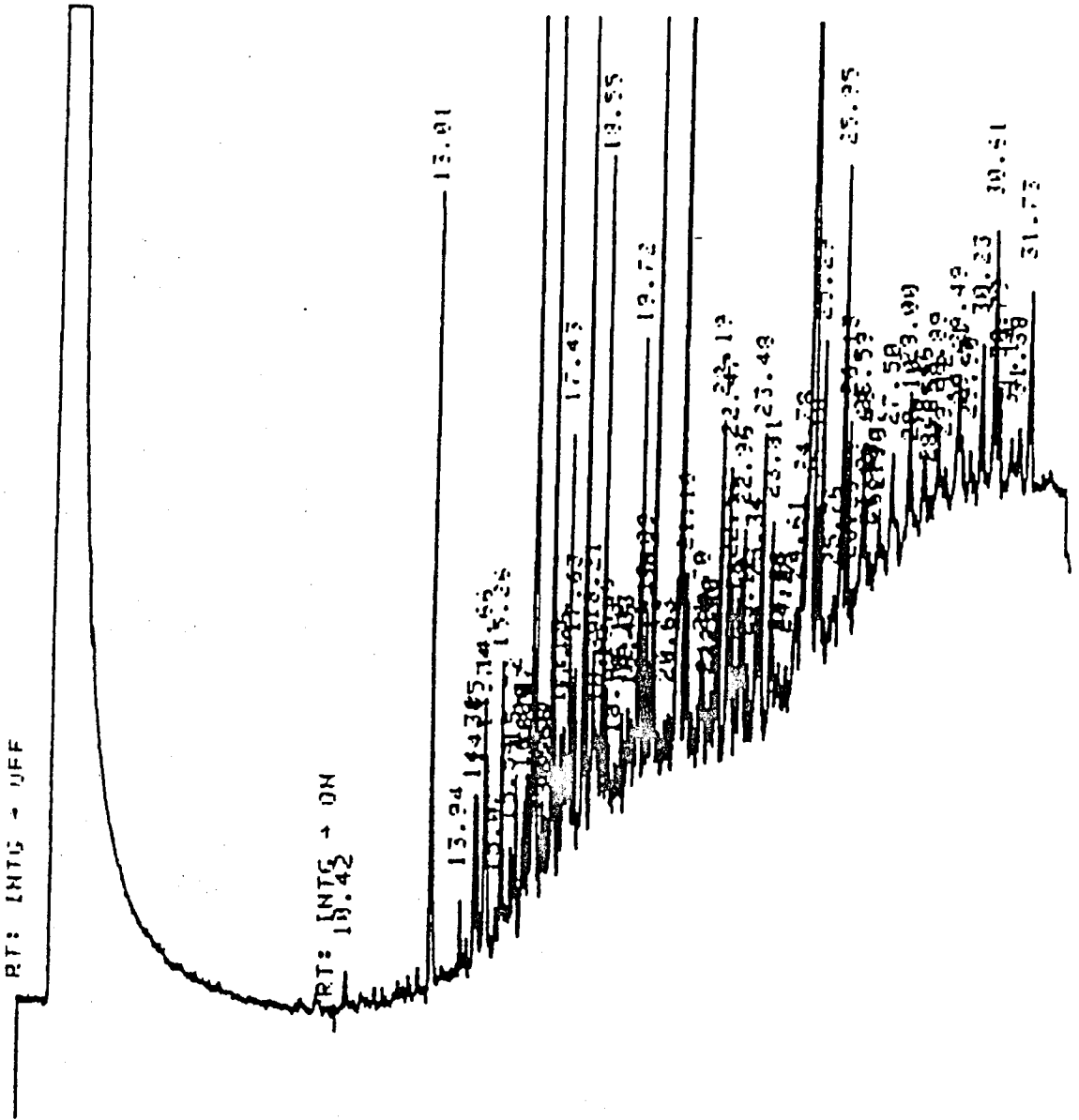


Abbildung 4.2: Chromatogramm der Aromatischen Fraktion aus Probe A13

5. Geochemische Charakterisierung von Rückständen der Kohlenwasserstoffe

(Erwin Suess und Bettina Domeyer)

Einleitung

Das Hauptziel der geochemischen Untersuchung bestand darin, eine erste Bewertung des Kohlenwasserstoffeintrages bzw. der Rückstände in die jüngsten Sedimentablagerungen des Persischen Golfes zu erhalten. Die Elemente C und N einerseits und V und Zn andererseits sollten auf ihre Anwendung als Indikatoren für solchen Eintrag geprüft werden. So kann z.B. das C/N-Verhältnis der sedimentären organischen Substanz durch Zumischung von KWs beträchtlich in Richtung auf höhere Werte verändert werden. Gaschromatographische Quantifizierung extrahierter KWs können zur Unterstützung dieses Sachverhaltes herangezogen werden. Vanadium ist eines der am stärksten konzentrierten Schwermetalle in natürlichen KWs. Es wird deshalb vermutet, daß eine Langzeitakkumulation von KW-Rückständen sich in einer Anreicherung von Vanadium und möglicherweise anderen Metallen niederschlägt. Falls sich diese Indikatoren als nützlich erweisen und eine Altersdatierung der Ablagerungen des Untersuchungsgebietes erstellt werden kann, ist als übergeordnetes Ziel eine Bilanzierung des KW-Eintrages bzw. des Eintrages von Rückständen möglich.

Proben

Die Auswahl der Proben zur geochemischen Analyse erfolgte nach Gesichtspunkten einer zunehmenden Entfernung von der Küste, speziell der Ölverladeeinrichtung Kharg, eines zunehmenden Karbonatgehaltes der als Hauptsedimentbestandteil die Konzentrationen aller anderen Elemente prägt und schließlich nach dem Erhaltungszustand der 1965 durch FS Meteor entnommenen Sedimentkerne. Darüber hinaus sollten Vergleiche über den historischen Eintrag von Ölrückständen angestellt werden. Entsprechend wurden die Station A1/M1155, A2/M1150, A3/M1146, und A13/M1152 mit höchster Priorität bearbeitet. In zweiter Priorität die Proben des senkrecht zur Küste verlaufenden Profiles A3, A29, A28, A27 und A14 und schließlich die in größter Entfernung zur Küste entnommenen Proben der Stationen A21, A22 und A26. Die Stationsverteilung ist in Abb. 5.1 dargestellt.

Methoden

Zur geochemischen Analyse wurden Standardmethoden angewandt, die nach mehr oder weniger umfangreichen Abänderungen ursprünglich von Heinrichs & Hermann (1990) beschrieben wurden. Bei der Vorbehandlung der Proben ist die Entsalzung wichtig, die dazu dient, alle im Porenraum gelösten Elemente zu entfernen. Dieser Vorgang wird durch wiederholtes Aufschwemmen der Proben in destilliertem Wasser und Absaugen der Lösung im Vakuum durch Keramikfilterkerzen erreicht. Erst danach erfolgt eine Homogenisierung und Zerkleinerung des Probenmaterials zum Aufschluß. Zur Metallbestimmung wurden die Proben nach der Entsalzung mit Flußsäure und Perchlorsäure aufgeschlossen und entsprechende Verdünnungen hergestellt, die zur herkömmlichen AAS bzw. zu ICP-AAS Messungen verwandt wurden.

Organischer Kohlenstoff wurde als CO₂-Ausbeute nach Verbrennung im Induktionsofen (LECO) gemessen, nachdem die karbonatischen Phasen durch Säurebehandlung entfernt wurden. Der karbonatisch gebundene C wurde aus der Differenz zwischen Gesamt-C und organischem C bestimmt. Stickstoff wurde als Gesamtstickstoff, ohne Trennung in den organischen und anorganischen Anteil (Müller, 1975), mit einem automatischen CHN-Analysator (Carlo-Erba) gemessen.

Alle Analysen wurden als Doppelmessungen durchgeführt, deren Mittelwerte in den anhängenden Tabelle 5.1 aufgelistet sind. Der Kalziumkarbonatgehalt der Proben wurde über den karbonatischen C-Gehalt berechnet, wobei angenommen wurde, daß die Karbonatphasen aus Kalzit bzw. Aragonit bestehen; dolomitische Phasen und Ca-Mg-Mischphasen bleiben dabei unberücksichtigt. Alle Spurenelementgehalte sind in den Tabellen auch auf karbonatfreie Basis bezogen (CFB).

Ergebnisse

Der Karbonatgehalt ist bei den küstennahen Stationen mit 52 Gew.-% am geringsten und nimmt seewärts auf über 70 Gew.-% zu, wobei die wenigen Stationen ein recht gleichmäßiges Muster der Zunahme zeigen (Abb. 5.2). Das organische Material in den Proben ist wie gewöhnlich an den nicht-karbonatischen Teil gebunden. Für die meisten Oberflächenproben ergibt sich deshalb eine gute Beziehung zwischen nicht-karbonatischem Anteil und dem organischen C-Gehalt. Hierbei fällt auf, daß die Werte bestimmter Proben der Stationen A28, A27, A14 und A22 einen deutlichen Überschuß an organischem C anzeigen. Diese anomale Verteilung wird auch durch das C/N-Verhältnis dokumentiert, wobei die folgenden 12 Proben hervorstechen: A27/1-2, A14/0-1 und 25-26, A 21/15-16, A22/8-9 und

10-11 und 5 Proben der Station A28 (Abb. 5.3). Da diese Überschüsse an organischem C deutlich über der analytischen Reproduzierbarkeit liegen, können die Anomalien als ein grober Hinweis für die Ablagerung von KWs bzw. Ruß oder KW-Rückstände in den Sedimenten gewertet werden. In diesen Kernen wurde bevorzugt erhöhte Anteile an nicht näher bestimmbareren KWs gemessen.

Besonders deutlich wird diese Interpretation durch die Proben des Kerns A14 belegt. Hier korrespondieren erhöhte C/N-Verhältnisse mit erhöhten Werten an KWs (Abb. 5.4). Die Identifizierung von Ölrückständen alleine durch das C/N-Verhältnis ist nicht möglich, da der Gesamtgehalt an N hierbei die Werte verfälschen, weil mineralisch gebundenes Ammoniak mitbestimmt wird (Suess and Müller, 1980). Um diese Anwendung zu verfeinern, ist es unbedingt erforderlich, den organisch gebundenen N-Anteil getrennt zu bestimmen (Müller 1977).

Das Auffinden von Schwermetall-Anomalien ist durch die unterschiedlichen Karbonat- und organisch-C-Gehalte nicht durch direkten Vergleich der Konzentrationen durchführbar. Als Beispiel dienen hier die Verteilungsmuster von Vanadium und Zink. Von den Hauptbestandteilen der Sedimente ist der Gehalt an organischem Material am deutlichsten mit dem Gehalt an Schwermetallen korreliert. Da aber die vorangegangene Diskussion zeigt, daß der organische C-Gehalt durch anomale Zumischungen gekennzeichnet ist, wurden im folgenden die V-Gehalte bzw. die Zn-Gehalte im Bezug zum Gesamt-N betrachtet. Hierbei zeigt das Verteilungsmuster auf den Stationen A3 und A13 nicht nur die höchsten V-Gehalte überhaupt, sondern auch eine deutliche Anreicherung von V relativ zu Zn, bezogen auf den Stickstoffgehalt. Diese Muster sind in Abb. 5.5 und 5.6 dargestellt. Hierbei bleibt jetzt noch unklar, wie die natürlichen Verhältnisse von V/N oder Zn/N in diesem Sedimentationsmilieu sind, um die Größenordnung der Anreicherung bewerten zu können. Ebenso ist ungeklärt, ob die erhöhten V-Gehalte durch KW-Rückstände in das Sediment gelangt sind oder ob sie mineralischen bzw. detritischen Ursprungs sind. Außer Zweifel steht aber, daß die Vanadium-Verteilung dieser beiden Stationen A3 und A13 ungewöhnlich ist.

Vergleichsuntersuchungen zwischen den 1965 entnommenen Sedimentkernen und denen des Jahres 1991 zeigen eine Reihe interessanter Ergebnisse. Bei den Schwermetallgehalten wird klar, daß die Meteor-Proben in bestimmten Tiefenintervallen deutlich durch Zn und Cu verunreinigt sind (Tabelle 5.1: Station M 1155B). Die Gehalte zeigen, daß es sich höchstwahrscheinlich um Verunreinigungen durch Messing handelt, das bei der Verschraubungsmechanismus der Kastenlote verwendet wird.

Andererseits stimmen die Verteilungsmuster der übrigen Bestandteile gut überein. Für diesen Vergleich eignen sich die Proben der Station A1, von der ein Schwerelotkern (A1 SL) mit Multicorer (A1 MUC) sowie ein Kastenlotkern (M1155) vorliegen. Die Abb. 5.7 zeigt, daß die Sr-, Ba- und Mn-Gehalte der drei Kerne sich zu zwei annähernd gleichlaufenden Profilen

zusammenfügen. Hierbei ist es erforderlich, daß A1 MUC und A1 SL um 6 cm gegeneinander versetzt sind. Dies bedeutet, daß die Oberfläche im Schwerelot bei der Kernentnahme wahrscheinlich um diesen Betrag komprimiert wurde. Es ist allgemein bekannt, daß bei der Entnahme von Schwerloten, der ausgestochenen Sedimentkern eine Verkürzung erfährt. Es ist ungewiß, ob bei der Entnahme des Kerns M 1155 ebenfalls eine solche Verkürzung erfolgte oder ob der Unterschied mit der seit 25 Jahren akkumulierten Sedimentmächtigkeit im Zusammenhang steht. Gewöhnlich werden bei der Entnahme mit Kastenloten, wie dies auf der Meteor-Reise der Fall war, nur minimale Verkürzung oder Probenverlust registriert.

Die Frage eines historischen Aufsedimentierens der Oberfläche in 25 Jahren kann ohne absolute Altersdatierung bzw. Inventarisierung von Radionukliden nicht entschieden werden. Die Zunahme an organischem Kohlenstoff und Vanadium in den obersten Kernabschnitten kann im Zusammenhang mit dem Eintrag von Kohlenwasserstoffrückständen stehen, die einmal durch eine direkte Aufsedimentation erfolgt und zum anderen -wesentlich wahrscheinlicher- durch Bioturbation von oben in tiefere Sedimentschichten eingewühlt werden.

Eine solche Korrelierbarkeit der Kerne eröffnet die Möglichkeit, im oberflächennahen Bereich nach KWs, KW-Rückständen und anderen anthropogenen Bestandteilen zu suchen, die in dem historischen Zeitraum von ca. 25 Jahren seit der ersten Beprobung zur Ablagerung bzw. zur Einmischung gekommen sind.

Literatur

Heinrichs, H. und A. G. Hermanns, 1990. Praktikum der Analytischen Geochemie. Springer Verlag Berlin, 669 pp.

Müller, P.J., 1975. Diagenese stickstoffhaltiger organischer Substanzen in oxischen und anoxischen marinen Sedimenten. METEOR Forsch.-Ergebnisse C 22, 1-60.

Müller, P.J., 1977. C/N-ratios in Pacific deep-sea sediments: Effects of inorganic ammonium and organic nitrogen compounds sorbed by clays. Geochim. Cosmochim. Acta 41, 765-776.

Suess, E. and P.J. Müller, 1980. Productivity, sedimentation rate and sedimentary organic matter in the oceans. II- Elemental fractionation. Colloq. Intern. du C.N.R.S. Nr. 293. Biogéochimie de la Matere Organique a L'Interface Eau-Sédiment Marin. Paris, 17-26.

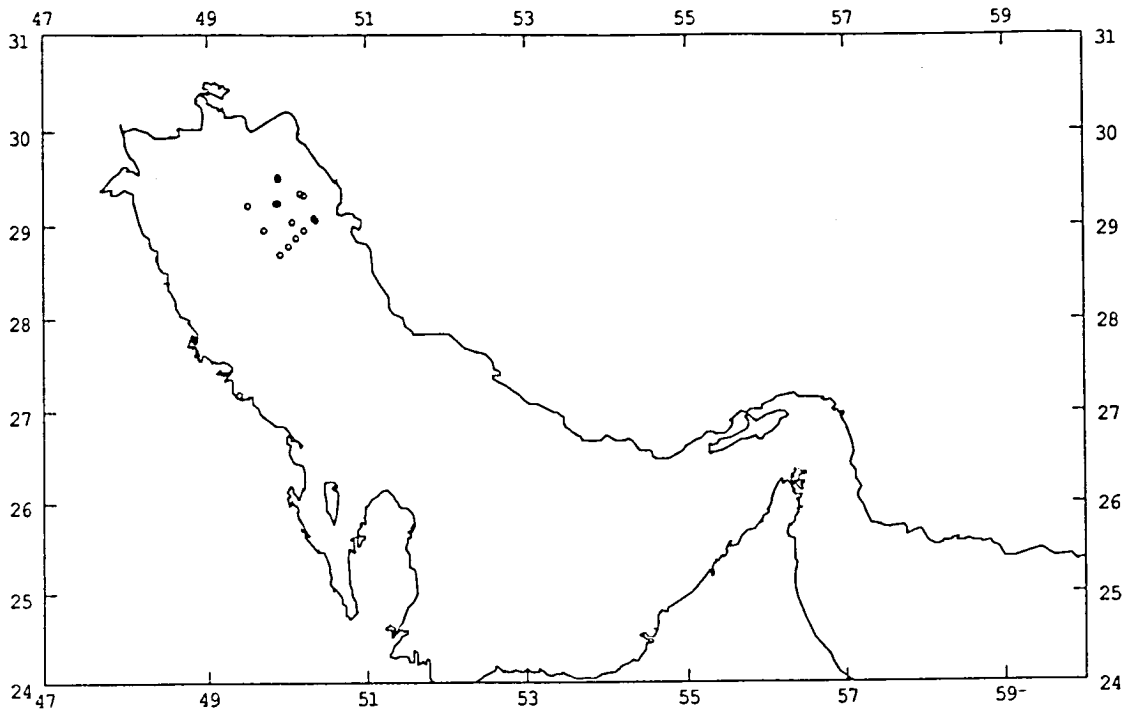


Abbildung 5.1: Übersichtskarte der Stationen im Untersuchungsgebiet.

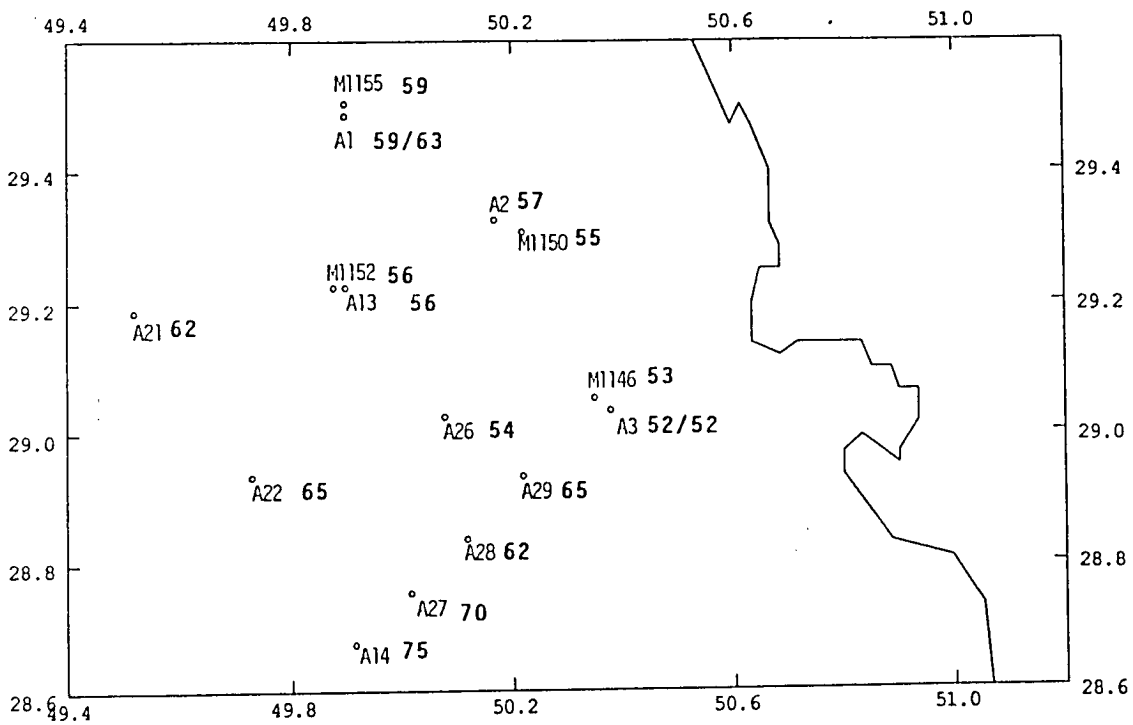


Abbildung 5.2: Lage der Kernstationen der Meteor-Reise (M1146, M1150, M1152 und M1155) und der Akademik-Reise (A1, A2, A3, A13, A14, A 21, A22, A26, A27, A28 und A 29); die fettgedruckten Zahlen bezeichnen die Karbonatgehalte der Oberflächenproben in Gew.-%; bei Stationen A1 und A3 sind die jeweiligen Werte der MUC- und SL-Proben angegeben.

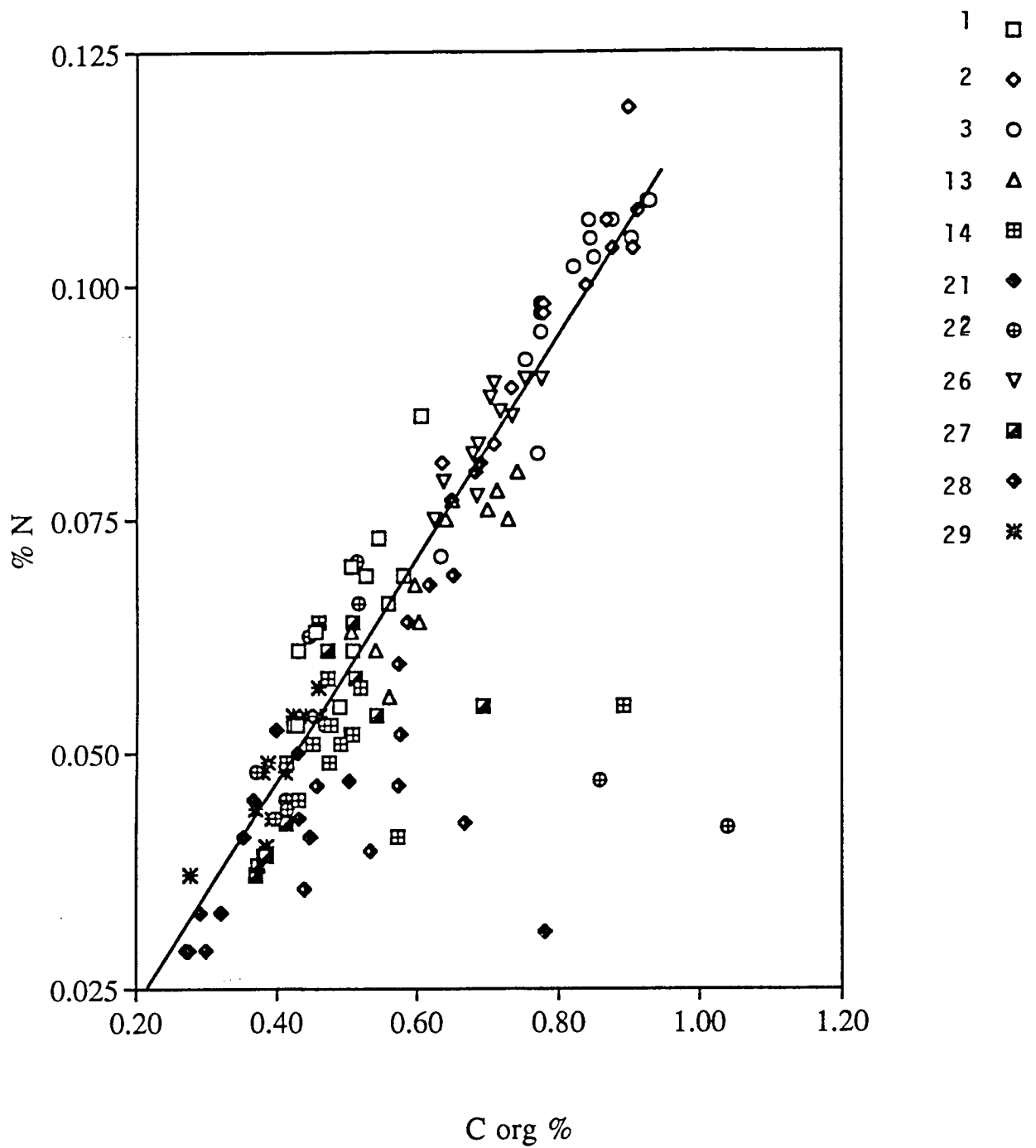


Abbildung 5.3: C/N-Gewichtsverhältnisse aller Proben; die Gerade zeigt die gewöhnliche Beziehung beider Parameter, 12 Proben zeigen stark angereicherte C-Gehalte, die wahrscheinlich auf Eintrag von KWs zurückzuführen sind.

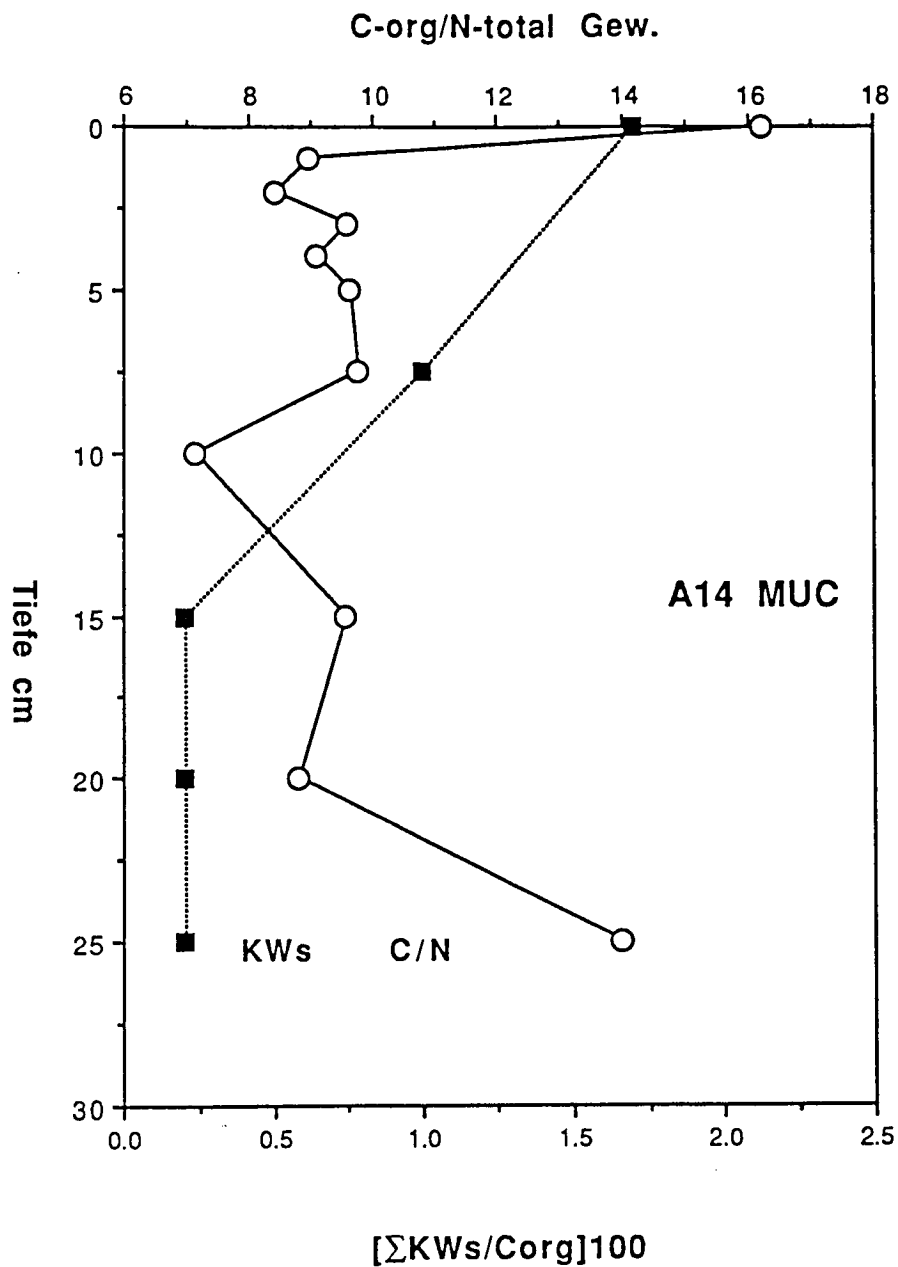


Abbildung 5.4: C/N-Gewichtsverhältnisse und Summe der extrahierbaren Kohlenwasserstoffe auf Station A14. Die Verteilungsmuster beider Parameter zusammen genommen deuten auf beträchtlichen Eintrag von KWs bzw. KW-Rückständen in die Oberflächensedimente dieser Station hin.

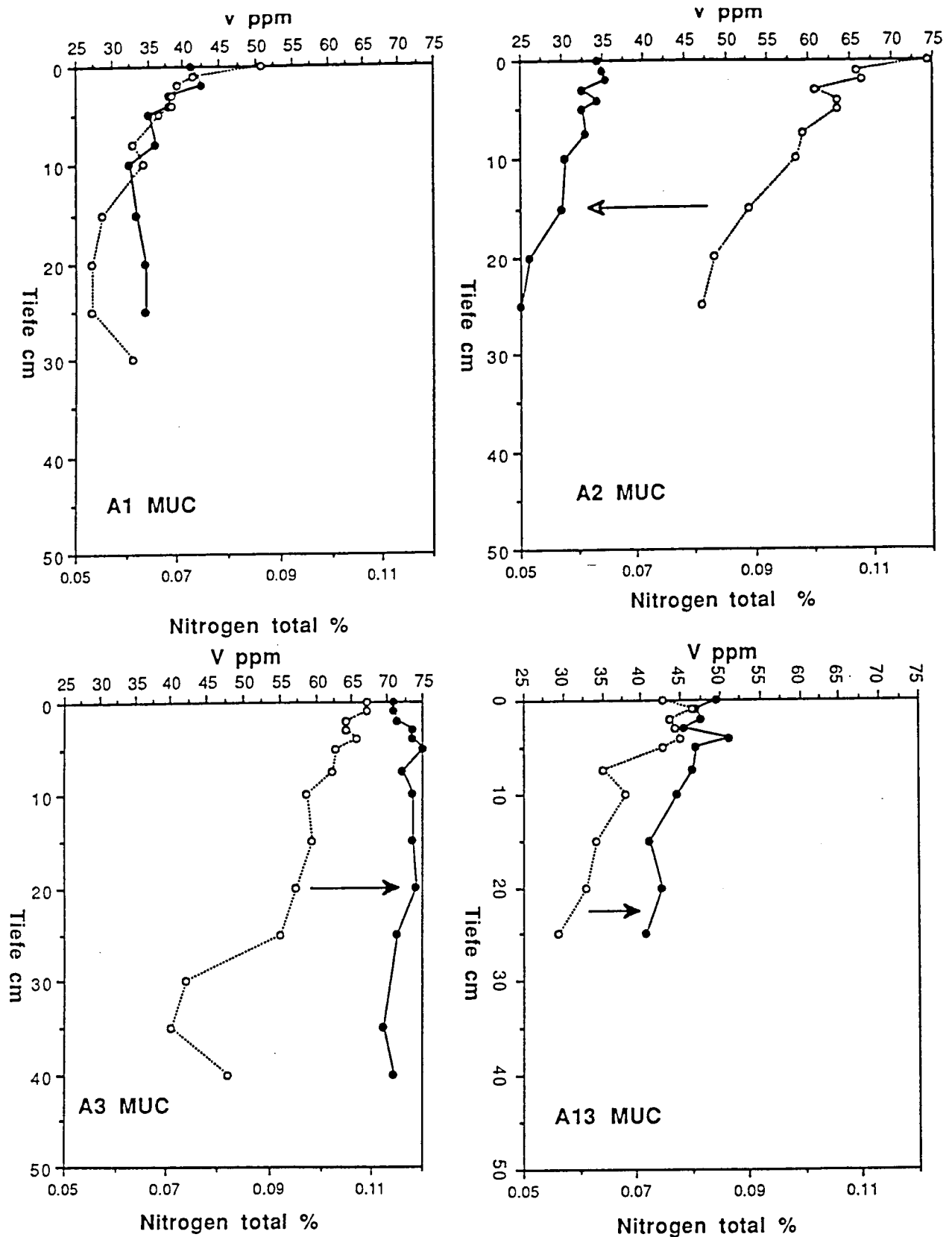


Abbildung 5.5: Vanadium und Stickstoffgehalte der 4 küstennahen Stationen A1, A2, A3 und A13. Vanadium zeigt einen ähnlichen Verlauf wie das organische Material (hier als %-Gehalt an Gesamtstickstoff) ist aber unterschiedlich stark angereichert, wie besonders bei den Stationen A3 und A13 deutlich ist.

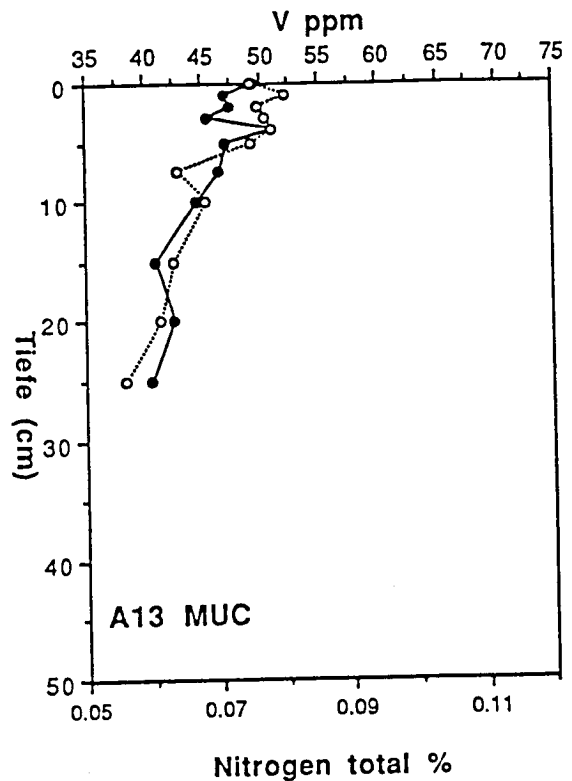
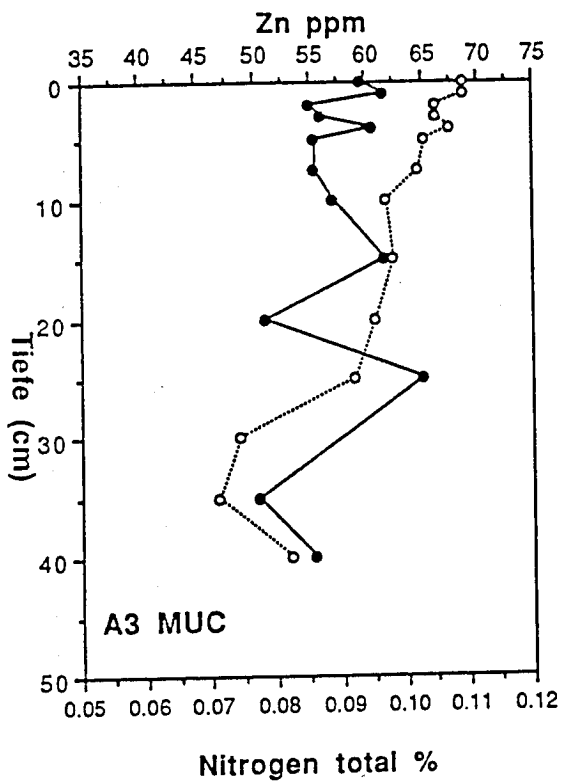
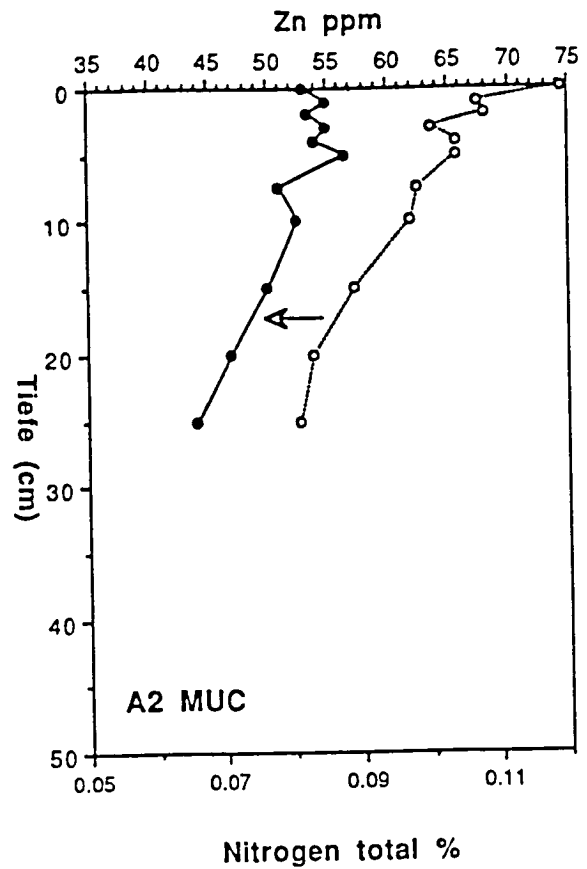
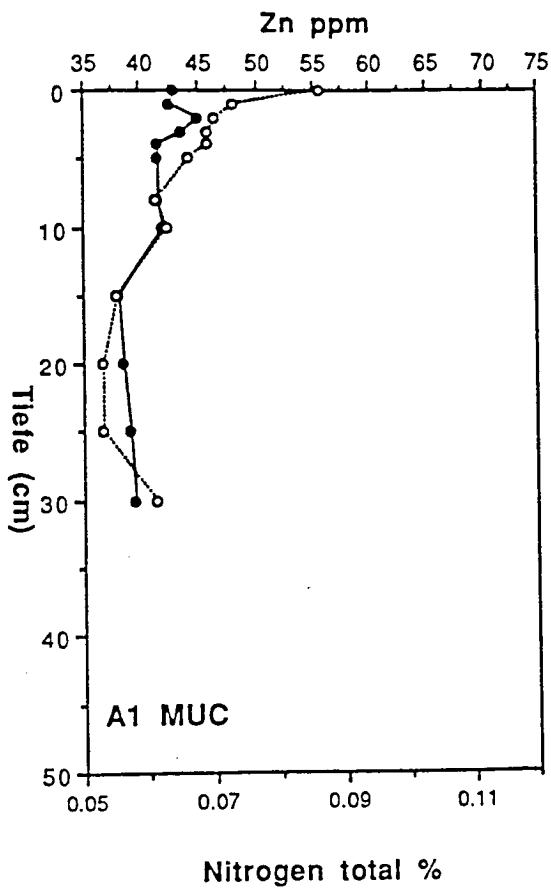


Abbildung 5.6: Zink und Stickstoffgehalte der 4 küstennahen Stationen A1, A2, A3 und A13. Wie Vanadium zeigt auch Zink einen dem organischen Material ähnlichen Verlauf (hier als %-Gehalt an Gesamtstickstoff) aber ohne daß es zu einer besonderen Anreicherung kommt.

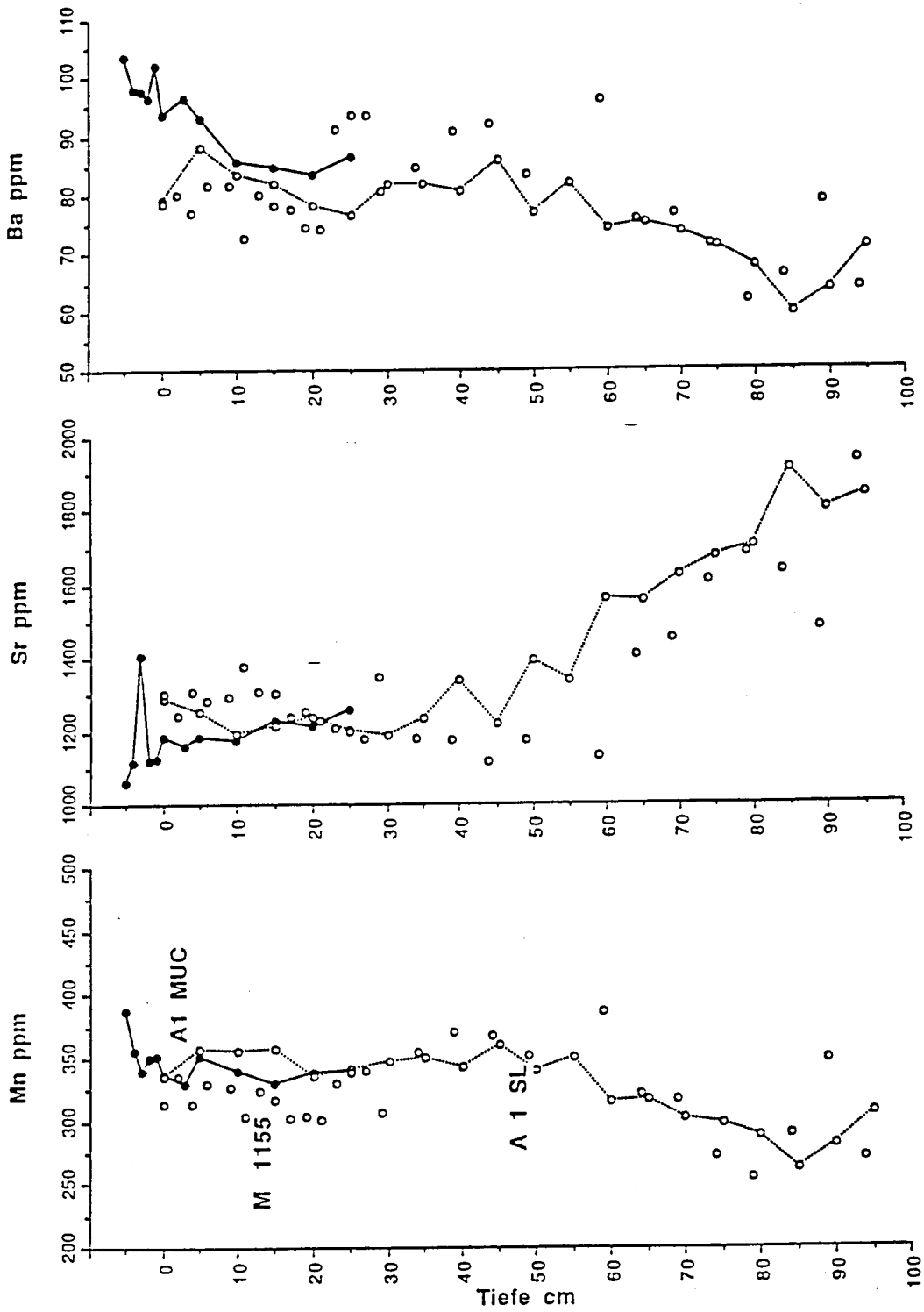


Abbildung 5.7: Die Verteilung von Mn, Sr und Ba als Versuch einer geochemischen Korrelation der Kerne A 1 MUC, A 1 SL und M 1155, die an der gleichen Position entnommen wurden. Die beste Übereinstimmung wird erzielt, wenn A 1 MUC um 6 cm gegenüber A 1 SL versetzt wird und M 1155 und A 1 SL den gleichen Tiefenmaßstab besitzen.

Tabelle 5.1: Analysenergebnisse; CFB = Karbonat freie Basis

Akademik Sta. 1 MUC

Tiefe cm	Cd ppm	Cd ppm CFB	Cu ppm CFB	Cu ppm	Zn ppm CFB	Zn ppm	Fe % CFB	Fe %	Mn ppm CFB	Mn ppm	Sr ppm CFB	Sr ppm
0	0.35	0.84	48	20	104	43	4.32	1.79	936	388	2550	1057
1	0.45	1.11	44	18	104	42	4.26	1.74	875	356	2740	1115
2	0.55	1.39	53	21	113	45	4.58	1.82	855	340	3540	1405
3	0.40	0.99	46	18	108	44	4.23	1.71	865	350	2760	1117
4	0.40	0.98	41	17	101	41	4.22	1.73	856	351	2740	1123
5	0.45	1.12	45	18	103	42	4.15	1.67	836	337	2930	1181
8	0.40	1.00	43	17	104	41	4.07	1.62	827	331	2900	1159
10	0.40	1.06	45	17	111	42	4.40	1.67	928	352	3130	1185
15	0.45	1.15	41	16	97	38	4.11	1.61	867	339	3000	1174
20	0.45	1.16	41	16	99	39	4.32	1.68	851	331	3160	1228
25	0.40	1.06	42	16	103	39	4.39	1.66	896	338	3210	1211
30	0.40	1.05	41	15	104	40	4.43	1.69	891	340	3300	1259

Ba ppm CFB	Ba ppm	V ppm CFB	V ppm	% Σ C	C organic %	% N	CaCO3 %
250	104	99	41	7.630	0.605	0.086	58.5
241	98	-	-	7.660	0.544	0.073	59.3
246	98	107	42	7.740	0.504	0.070	60.3
239	96	94	38	7.670	0.525	0.069	59.5
249	102	93	38	7.660	0.580	0.069	59.0
232	94	87	35	7.720	0.558	0.066	59.7
241	96	90	36	7.710	0.506	0.061	60.0
246	93	86	32	7.910	0.453	0.063	62.1
218	86	86	34	7.790	0.487	0.055	60.9
217	85	89	34	7.760	0.422	0.053	61.1
221	84	91	34	7.900	0.427	0.053	62.3
227	87	-	-	7.850	0.428	0.061	61.8

Tabelle 5.1 Forts.: Analysenergebnisse; CFB = Karbonat freie Basis

Akademik Sta. 2 MJUC

Tiefe cm	Cd ppm	Cd ppm CFB	Cu ppm	Cu ppm CFB	Zn ppm	Zn ppm CFB	Zn ppm	Fe % CFB	Fe %	Mn ppm CFB	Mn ppm	Sr ppm CFB	Sr ppm
0	0.65	1.35	43	43	20	110	53	4.30	2.07	766	368	2420	1164
1	0.55	1.16	43	43	21	234	110	3.97	1.87	791	374	2460	1162
2	0.50	1.04	31	31	15	111	53	4.11	1.98	754	362	2400	1152
3	0.50	1.05	28	28	14	116	55	4.21	2.00	753	357	2510	1190
4	0.50	1.06	30	30	14	114	54	4.13	1.96	750	355	2440	1156
5	0.45	0.95	33	33	15	120	57	4.15	1.96	757	357	2480	1169
8	0.55	1.20	33	33	15	111	51	4.20	1.93	746	342	2530	1159
10	0.45	0.99	34	34	16	116	53	4.27	1.93	752	341	2540	1151
15	0.40	0.88	43	43	20	110	50	4.21	1.90	752	340	2610	1182
20	0.40	0.93	38	38	16	109	47	4.22	1.83	764	331	2820	1219
25	0.40	0.99	40	40	16	109	44	4.27	1.72	799	322	3180	1281

Ba ppm CFB	Ba ppm	V ppm CFB	V ppm	% Σ C	C organic %	% N	CaCO3%
233	112	72	34	7.130	0.900	0.119	51.9
232	110	74	35	7.200	0.868	0.107	52.8
234	112	74	35	7.150	0.912	0.108	52.0
238	113	69	33	7.150	0.838	0.100	52.6
234	111	73	35	7.220	0.905	0.104	52.6
237	111	69	33	7.220	0.876	0.104	52.9
243	112	72	33	7.280	0.778	0.098	54.2
234	106	67	30	7.340	0.778	0.097	54.7
234	106	66	30	7.300	0.733	0.089	54.7
220	95	60	26	7.520	0.708	0.083	56.8
220	89	62	25	7.800	0.635	0.081	59.7

Tabelle 5.1 Forts.: Analysenergebnisse; CFB = Karbonat freie Basis

Tiefe cm	Einwaage g	Cd ppm	Cd ppm CFB	V ppm CFB	V ppm	Cu ppm	Cu ppm	N %	CaCO ₃ %	Fe % CFB	Fe %	Mn ppm CFB
0	0.1000	2.25	5.59	108	44	25	10	0.064	59.7	3.97	1.60	832
5	0.0997	1.20	3.03	112	45	24	10	0.054	60.2	4.43	1.76	899
10	0.1003	0.80	2.04	109	43	23	9	0.052	60.8	4.35	1.70	910
15	0.1004	0.60	1.56	119	46	25	10	0.046	61.6	4.56	1.75	931
20	0.1002	0.75	2.02	111	41	22	8	0.046	63.0	4.22	1.56	908
25	0.1003	0.20	0.54	129	48	22	8	0.045	62.8	4.28	1.59	920
30	0.1001	0.25	0.65	129	49	22	8	0.048	62.1	4.44	1.71	904
35	0.0997	0.25	0.66	132	50	22	8	0.046	63.1	4.82	1.82	924
40	0.0996	0.25	0.68	142	52	23	8	0.052	61.4	4.46	1.65	929
45	0.1001	0.30	0.78	133	51	22	8	0.049	63.8	4.59	1.77	931
50	0.1004	0.30	0.83	132	48	23	8	0.046	62.0	4.43	1.60	939
55	0.1004	0.37	0.91	132	50	29	11	0.042	65.0	4.60	1.75	921
60	0.1000	0.35	1.00	140	49	29	10	0.048	62.1	4.61	1.62	902
65	0.1004	0.25	0.70	142	50	28	10	0.046	63.0	4.58	1.63	893
70	0.0999	0.25	0.75	135	45	30	10	0.052	62.8	4.60	1.54	905
75	0.1000	0.25	0.76	130	42	34	11	0.045	61.5	4.58	1.50	909
80	0.1000	0.30	0.91	124	41	29	10	0.048	62.1	4.56	1.50	909
85	0.0998	0.30	1.06	118	34	30	8	0.046	63.1	4.54	1.29	872
90	0.0995	0.30	0.93	114	37	28	9	0.046	63.8	4.32	1.40	865
95	0.1000	0.30	0.89	114	38	27	9	0.046	62.0	4.31	1.45	911

Mn ppm	Sr ppm CFB	Sr ppm	Ba ppm CFB	Ba ppm	C organic %	Σ C %	N %	CaCO ₃ %
335	3190	1285	196	79	0.394	7.560	0.064	59.7
358	3150	1252	221	88	0.421	7.650	0.054	60.2
356	3050	1195	213	83	0.382	7.680	0.052	60.8
358	3160	1214	213	82	0.349	7.740	0.046	61.6
336	3350	1239	211	78	0.379	7.940	0.046	63.0
342	3240	1205	206	77	0.361	7.900	0.052	62.8
348	3090	1188	213	82	0.425	7.810	0.045	61.5
350	3260	1235	217	82	0.374	7.830	0.048	62.1
343	3620	1336	219	81	0.407	7.980	0.046	63.1
360	3150	1216	222	86	0.373	7.740	0.052	61.4
340	3850	1393	212	77	0.372	8.030	0.049	63.8
350	3520	1338	215	82	0.370	7.810	0.046	62.0
316	4450	1559	211	74	0.344	8.140	0.042	65.0
317	4380	1556	211	75	0.363	8.100	0.041	64.5
302	4860	1624	220	74	0.330	8.320	0.035	66.6
297	5120	1675	217	71	0.326	8.400	0.041	67.3
288	5150	1701	204	68	0.353	8.390	0.038	67.0
263	6750	1913	211	60	0.291	8.890	0.033	71.7
281	5540	1800	196	64	0.318	8.420	0.034	67.5
306	5480	1844	211	71	0.328	8.290	0.035	66.3

Tabelle 5.1 Forts.: Analysenergebnisse; CFB = Karbonat freie Basis

Akademik Sta. 3 MUC

Tiefe cm	Cd ppm	Cd ppm CFB	Cu ppm	Cu ppm CFB	Zn ppm	Zn ppm CFB	Zn ppm	Fe % CFB	Fe wt%	Mn ppm CFB	Mn ppm	Sr ppm CFB
0	0.35	0.72	42	42	20	115	56	4.06	1.96	741	358	2320
1	0.30	0.61	46	46	22	125	62	4.00	1.97	713	350	2390
2	0.30	0.62	45	45	22	114	55	4.11	1.99	742	359	2330
3	0.15	0.30	42	42	21	112	56	3.93	1.96	702	350	2380
4	0.25	0.52	47	47	22	126	60	4.23	2.04	749	361	2310
5	0.25	0.53	44	44	20	119	56	4.08	1.91	733	342	2480
8	0.25	0.54	42	42	20	119	56	4.02	1.88	717	334	2460
10	0.15	0.33	41	41	19	124	57	4.27	1.97	717	330	2440
15	0.25	0.55	41	41	19	134	62	4.11	1.89	733	336	2540
20	0.25	0.55	42	42	19	112	51	4.18	1.91	730	333	2580
25	0.15	0.34	41	41	18	146	65	4.22	1.88	737	328	2690
30	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	0.25	0.60	43	43	18	121	50	4.26	1.77	772	322	2950
40	-	-	43	43	19	126	56	4.21	1.85	719	316	2820

Sr ppm	Ba ppm CFB	Ba ppm	V ppm CFB	V ppm	C organic %	%Σ C	% N	CaCO3 %
1123	230	112	147	71	0.876	7.070	0.107	51.61
1173	228	112	145	71	0.930	7.040	0.109	50.91
1127	238	115	148	72	0.844	7.040	0.105	51.63
1187	226	112	147	74	0.903	6.920	0.105	50.14
1113	236	114	153	74	0.842	7.060	0.107	51.81
1159	230	108	160	75	0.849	7.240	0.103	53.26
1148	228	106	154	72	0.820	7.220	0.102	53.33
1123	236	108	160	74	0.774	7.250	0.097	53.96
1165	227	104	160	74	0.774	7.270	0.098	54.13
1177	222	102	162	74	0.774	7.300	0.095	54.38
1200	215	96	160	72	0.752	7.400	0.092	55.40
-	-	-	-	-	-	7.690	0.074	-
1230	213	89	167	70	0.633	7.630	0.071	58.31
1238	217	96	162	71	0.769	7.500	0.082	56.09

Tabelle 5.1 Forts.: Analysenergebnisse; CFB = Karbonat freie Basis

Akademik Sta. 3 SL

Tiefe	Einwaage g	Cd ppm	Cd ppm CFB	V ppm CFB	V ppm	C organic %	Σ C %	N %	Cu ppm CFB	Cu ppm	Zn ppm CFB
0	0.0998	0.40	0.85	113	54	0.768	7.080	0.096	24	12	118
5	0.1004	0.35	0.72	129	63	0.769	6.920	0.093	21	10	99
9	0.1002	0.35	0.73	126	60	0.772	7.000	0.098	22	10	102
14	0.1003	0.30	0.63	144	68	0.842	7.160	0.089	18	8	100
19	0.1000	0.25	0.53	131	62	0.770	7.080	0.082	17	8	98
24	0.0999	0.20	0.42	131	63	0.816	7.070	0.085	23	11	93
29	0.1004	0.30	0.62	133	64	0.837	7.050	0.087	20	9	97
34	0.1001	0.40	0.84	121	58	0.831	7.090	0.082	19	9	93
39	0.1001	0.20	0.42	138	66	0.803	7.070	0.081	19	9	83
49	0.0996	0.55	1.19	134	62	0.736	7.190	0.076	23	11	111
54	0.0996	0.35	0.81	120	52	0.589	7.360	0.083	24	11	116
59	0.0999	0.35	0.74	113	53	0.698	7.040	0.083	23	11	106
65	0.1000	0.35	0.74	116	55	0.637	6.950	0.072	21	10	114
69	0.1005	0.30	0.64	111	52	0.732	7.100	0.082	22	10	116
74	0.1000	0.25	0.55	110	50	0.572	7.150	0.074	21	10	104
79	0.1004	0.25	0.53	111	52	0.608	6.950	0.075	26	12	111
84	0.1005	0.35	0.74	109	52	0.661	6.990	0.081	24	11	117
87	0.0997	0.15	0.32	-	-	0.592	6.980	0.083	28	13	109

Zn ppm	Fe % CFB	Fe wt%	Mn ppm CFB	Mn ppm	Sr ppm CFB	Sr ppm	Ba ppm CFB	Ba ppm	CaCO3 %
56	4.47	2.12	718	340	2470	1171	225	107	52.6
48	4.06	1.98	687	335	2260	1102	200	98	51.3
49	3.86	1.86	674	324	2310	1111	195	94	51.9
47	4.00	1.89	665	315	2360	1118	200	95	52.6
47	4.05	1.92	684	324	2430	1152	190	90	52.6
45	3.86	1.85	640	306	2290	1097	183	88	52.1
47	3.94	1.90	638	308	2180	1051	178	86	51.8
44	3.87	1.85	637	305	2180	1043	177	85	52.2
39	3.89	1.86	597	285	2070	989	159	76	52.2
51	4.56	2.11	760	351	2690	1243	213	98	53.8
51	4.71	2.05	805	351	2850	1242	223	97	56.4
50	4.33	2.04	745	351	2570	1212	217	102	52.8
54	4.46	2.12	714	339	2540	1204	213	101	52.6
54	4.38	2.05	715	336	2680	1258	208	98	53.1
47	4.40	1.99	737	333	2730	1234	211	96	54.8
52	4.57	2.16	732	345	2650	1250	218	103	52.8
55	4.50	2.12	779	368	2700	1276	219	103	52.7
51	4.66	2.18	777	364	2550	1193	220	103	53.2

Tabelle 5.1 Forts.: Analysenergebnisse; CFB = Karbonat freie Basis

Akademik Sta. 13 MUC													
Tiefe cm	Cd ppm	Cd ppm CFB	Cu ppm	Zn ppm CFB	Zn ppm	Fe % CFB	Fe %	Mn ppm CFB	Mn	Sr ppm CFB	Sr ppm		
0	0.45	1.03	16	111	49	4.49	1.96	877	382	2990	1303		
1	0.35	0.80	17	111	48	4.30	1.89	854	374	2870	1258		
2	0.00	0.00	17	107	46	4.41	1.90	866	373	2870	1234		
3	0.30	0.70	16	108	46	4.35	1.86	863	368	2920	1246		
4	0.35	0.82	19	106	46	4.43	1.90	870	372	2940	1257		
5	0.15	0.36	15	110	46	4.53	1.90	877	368	2930	1228		
8	0.20	0.47	16	99	42	4.29	1.84	863	371	2880	1237		
10	0.20	0.48	15	104	43	4.58	1.90	890	369	3100	1286		
15	0.20	0.52	16	104	40	4.51	1.73	931	358	3390	1304		
25	0.10	0.25	15	101	40	4.49	1.81	880	354	3200	1288		
20	0.25	0.61	17	109	45	4.83	1.97	923	375	3260	1326		
Ba ppm CFB	Ba ppm	V ppm CFB	V ppm	%ΣC	C organic %	%N	CaCO3 %						
248	108	114	50	7.50	0.728	0.075	56.4						
243	107	107	47	7.48	0.741	0.080	56.2						
244	105	110	48	7.54	0.699	0.076	57.0						
246	105	107	45	7.53	0.649	0.077	57.3						
237	101	119	51	7.58	0.712	0.078	57.2						
246	103	112	47	7.61	0.640	0.075	58.1						
238	102	108	46	7.45	0.602	0.064	57.1						
250	104	107	44	7.62	0.596	0.068	58.5						
246	94	107	41	7.89	0.504	0.063	61.5						
241	97	101	40	7.73	0.559	0.056	59.8						
279	113	105	43	7.66	0.539	0.061	59.3						

Tabelle 5.1 Forts.: Analysenergebnisse; CFB = Karbonat freie Basis

Akademik Sta. 14 MUC

Tiefe cm	Cd ppm	Cd ppm CFB	Cu ppm	Cu ppm CFB	Zn ppm	Zn ppm CFB	Fe % CFB	Fe wt%	Mn ppm CFB	Mn ppm	Sr ppm CFB
0	0.05	0.20	47	12	90	23	4.23	1.08	981	250	7560
0	0.05	0.19	55	14	94	25	4.34	1.16	950	253	7150
1	0.00	0.00	55	13	106	25	4.57	1.08	1010	238	8100
2	0.00	0.00	52	13	103	25	4.73	1.17	1000	249	7530
3	0.00	0.00	60	14	118	28	5.36	1.25	1097	255	7560
4	0.00	0.00	38	12	75	25	3.36	1.11	703	233	5900
5	0.00	0.00	41	13	81	25	3.83	1.20	820	257	5870
8	0.00	0.00	42	13	79	24	3.66	1.14	771	239	5980
10	0.10	0.34	49	14	93	27	4.17	1.24	859	255	5890
15	0.15	0.54	49	13	82	23	4.04	1.12	858	237	6810
20			49	14	83	25	4.08	1.20	836	246	6080
25	0.05	0.17	48	14	76	22	3.89	1.15	807	237	6510

Sr ppm	Ba ppm CFB	Ba ppm	V ppm CFB	V ppm	C organic %	% Σ C	% N	Ca CO3 %
1923	281	72	100	26	0.892	9.840	0.055	74.6
1901	269	72	-	-	0.470	9.280	0.058	73.4
1913	296	70	89	21	0.474	9.640	0.053	76.4
1872	308	76	87	21	0.412	9.430	0.049	75.1
1757	342	80	97	23	0.488	9.700	0.051	76.8
1956	213	70	63	21	0.517	8.540	0.057	66.9
1840	247	77	69	21	0.472	8.710	0.049	68.6
1857	242	75	74	23	0.506	8.780	0.052	68.9
1751	264	79	98	29	0.457	8.890	0.064	70.3
1878	259	71	94	26	0.429	9.120	0.045	72.4
1788	248	73	94	28	0.449	8.920	0.051	70.6
1916	241	71	82	24	0.572	9.040	0.041	70.6

Tabelle 5.1 Forts.: Analysenergebnisse; CFB = Karbonat freie Basis

Akademik Sta. 21 MUC

Tiefe cm	Einwaage g	Cd ppm	Cd ppm CFB	Zn ppm CFB	Zn ppm	Fe % CFB	Fe %	Mn ppm CFB	Mn ppm	Sr ppm CFB	Sr ppm	Ba ppm
0	0.1000	0.15	0.39	98	38	3.62	1.41	893	347	3050	1185	96
0	0.0998	0.10	0.26	89	34	3.59	1.37	878	334	3270	1245	92
1	0.1001	0.20	0.54	80	30	3.49	1.30	852	317	3200	1192	90
2	0.1000	0.00	0.00	84	33	3.43	1.33	811	314	3190	1232	93
3	0.1006	0.15	0.39	84	32	3.49	1.34	841	324	3210	1235	91
4	0.0997	0.00	0.00	78	29	3.52	1.29	862	317	3560	1310	93
5	0.1003	0.05	0.14	78	28	3.50	1.25	859	307	3680	1316	90
8	0.1000	0.05	0.14	71	25	3.37	1.20	870	308	3710	1314	87
10	0.1001	0.10	0.27	81	29	3.22	1.17	836	304	3780	1377	89
15	0.1003	0.15	0.39	74	28	3.16	1.20	781	296	3600	1365	86
20	0.0997	0.20	0.59	72	25	3.51	1.20	867	296	3990	1364	86
25	0.1005	0.10	0.28	87	31	3.25	1.17	829	298	3940	1417	84
30	0.1003	0.20	0.53	70	26	3.29	1.24	784	295	3590	1349	86

Ba ppm CFB	Cu ppm CFB	Cu ppm	V ppm CFB	V ppm	C organic %	% Σ C	% N	CaCO3 %
246	30	12	89	34	0.501	7.840	0.047	61.2
242	28	11	86	33	0.428	7.860	0.050	61.9
243	29	11	87	32	0.430	7.960	0.043	62.7
241	27	10	84	32	0.446	7.810	0.041	61.4
238	32	12	79	30	0.398	7.780	0.052	61.5
253	30	11	83	31	0.366	7.950	0.045	63.2
252	29	10	86	31	0.352	8.060	0.041	64.2
244	30	10	82	29	0.320	8.070	0.033	64.6
244	27	10	77	28	0.291	7.920	0.033	63.6
227	26	10	87	33	0.780	8.230	0.031	62.1
251	28	10	94	32	0.271	8.170	0.029	65.8
234	28	10	86	31	0.275	7.960	0.029	64.0
228	25	9	85	32	0.299	7.790	0.029	62.4

Tabelle 5.1 Forts.: Analysenergebnisse; CFB = Karbonat freie Basis

Akademik Sta. 22 MUC

Tiefe cm	Einwaage g	Cd ppm	Cd ppm CFB	Cu ppm	Cu ppm CFB	Zn ppm	Zn ppm	Fe % CFB	Fe %	Mn ppm CFB	Mn ppm	Sr ppm CFB
0	0.1001	0.10	0.28	14	40	82	29	3.839	1.349	808	284	5044
1	0.0996	0.15	0.41	12	31	90	33	3.999	1.471	816	300	4812
2	0.1003	0.15	0.43	11	31	97	34	3.865	1.351	794	278	5400
3	0.0996	0.05	0.15	11	32	92	30	3.770	1.235	800	262	6289
4	0.0996	0.05	0.16	10	33	90	28	3.665	1.119	782	239	7181
5	0.1005	0.15	0.51	8	29	113	33	3.714	1.095	792	233	7428
8	0.0998	0.15	0.43	9	24	73	26	3.191	1.122	694	244	6168
10	0.1000	0.05	0.15	9	26	83	28	3.390	1.165	704	242	6398
15	0.0998	0.05	0.16	10	33	90	27	3.908	1.187	821	249	6689

Sr ppm	Ba ppm CFB	Ba ppm	V ppm CFB	V ppm	Σ C %	C organic %	% N	CaCO3 %
1772	229	80	91	32	8.300	0.515	0.066	64.9
1770	236	87	91	34	8.100	0.513	0.070	63.2
1887	231	81	91	32	8.250	0.444	0.062	65.0
2060	231	76	86	28	8.535	0.466	0.053	67.2
2193	228	70	77	24	8.705	0.370	0.048	69.5
2189	235	69	96	28	8.875	0.411	0.045	70.5
2169	205	72	78	28	8.820	1.040	0.042	64.8
2198	205	70	79	27	8.735	0.858	0.047	65.6
2033	234	71	92	28	8.750	0.396	0.043	69.6

Tabelle 5.1 Forts.: Analysenergebnisse; CFB = Karbonat freie Basis

Akademik Sta. 26 MUC

Tiefe cm	Cu ppm CFB	Cu ppm	Zn ppm CFB	Zn ppm	Fe % CFB	Fe %	Mn ppm CFB	Mn ppm	Sr ppm CFB	Sr ppm	Ba ppm CFB	Ba ppm
0	41	19	101	47	4.06	1.87	809	372	2580	1186	232	106
0	40	18	94	44	4.06	1.88	799	370	2560	1187	222	103
1	40	18	99	46	4.11	1.91	789	366	2530	1173	235	109
2	45	21	100	47	4.01	1.87	782	365	2550	1189	223	104

C organic %	% Σ C	% N	CaCO ₃ %
0.708	7.190	0.089	54.0
0.775	7.210	0.090	53.6
0.752	7.190	0.090	53.6
0.703	7.110	0.088	53.4

Tabelle 5.1 Forts.: Analysenergebnisse; CFB = Karbonat freie Basis

Akademik Sta. 27 MUC

Tiefe cm	Cu ppm CFB	Cu ppm	Zn ppm CFB	Zn ppm	Fe % CFB	Fe %	Mn ppm CFB	Mn ppm	Sr ppm CFB	Sr ppm	Ba ppm CFB
0	45	14	83	25	4.10	1.23	845	253	7960	2388	247
0	49	15	95	29	4.16	1.27	820	252	7940	2435	245
1	36	16	68	29	3.20	1.37	588	252	5160	2211	188
2	43	15	80	28	3.92	1.37	723	253	6780	2371	233

Ba ppm	C organic %	% Σ C	% N	CaCO ₃ %
74	0.470	8.870	0.061	70.00
75	0.510	8.830	0.058	69.33
80	0.692	7.550	0.055	57.15
81	0.506	8.310	0.064	65.03

Tabelle 5.1 Forts.: Analysenergebnisse; CFB = Karbonat freie Basis

Akademik Sta. 28 MUC

Tiefe cm	Cu ppm	Cu ppm CFB	Cu ppm	Zn ppm	Zn ppm CFB	Zn ppm	Fe % CFB	Fe %	Mn ppm CFB	Mn ppm	Sr ppm CFB	Sr ppm	Ba ppm CFB	Ba ppm
0	42	16	97	37	37	3.71	1.41	826	314	1428	225			
0	43	16	96	35	3.93	1.46	909	337	1390	243				
1	44	17	112	43	3.92	1.50	787	302	1433	237				
2	45	18	88	35	4.03	1.63	800	323	1359	238				
Ba ppm	C organic %	% Σ C	% N	CaCO3 %										
86	0.586	8.030	0.064	62.0										
90	0.617	8.170	0.068	62.9										
91	0.651	8.040	0.069	61.6										
96	0.689	7.850	0.081	59.7										

Tabelle 5.1 Forts.: Analysenergebnisse; CFB = Karbonat freie Basis

Akademik Sta. 29 MUC

Tiefe cm	Cu ppm CFB	Cu ppm	Zn ppm CFB	Zn ppm	Fe % CFB	Fe %	Mn ppm CFB	Mn ppm	Sr ppm CFB	Sr ppm	Ba ppm CFB	Ba ppm
0	39	14	74	27	3.63	1.31	778	280	4660	1676	235	85
1	39	13	76	26	3.49	1.19	757	260	4830	1655	229	78
2	38	13	70	24	3.38	1.15	787	269	4790	1636	225	77

C organic %	% Σ C	% N	CaCO3 %
0.386	8.070	0.049	64.0
0.392	8.280	0.043	65.7
0.379	8.280	0.048	65.8

Tabelle 5.1 Forts.: Analysenergebnisse; CFB = Karbonat freie Basis

Meteor. Sta. 1146B KAL												
Tiefe cm	Einw. g	Cd ppm	Cd ppm CFB	Cu ppm	Zn ppm CFB	Zn ppm	Fe % CFB	Fe %	Mn ppm CFB	Mn ppm		
0	0.1000	0.60	1.28	400	188	304	143	4.50	2.11	812	381	
2	0.1000	0.70	1.51	274	126	212	98	4.30	1.99	748	346	
4	0.1000	0.50	1.36	368	135	267	98	5.20	1.91	870	319	
6	0.1000	0.10	0.21	247	119	198	95	4.30	2.07	704	338	
8	0.1000	0.30	0.64	342	161	251	118	4.50	2.11	750	352	
10	0.1000	0.40	0.81	194	96	168	83	4.30	2.13	721	357	
12	0.1000	0.20	0.42	213	102	184	88	4.40	2.11	750	359	
14	0.1000	0.30	0.63	199	94	217	103	4.30	2.04	719	340	
16	0.1000	0.50	1.03	241	117	188	92	4.20	2.04	691	335	
18	0.1000	0.20	0.39	172	88	90	46	3.90	1.99	667	341	
20	0.1000	0.20	0.39	467	236	90	46	3.90	1.98	652	331	
22	0.1000	0.60	1.25	48	23	104	50	4.30	2.07	702	337	
24	0.1000	0.30	0.63	51	24	103	49	4.20	2.01	714	341	
26	0.1000	0.50	1.03	38	19	95	46	4.20	2.04	695	338	
28	0.1000	0.20	0.41	41	20	94	45	4.00	1.95	676	329	
29	0.0997	0.70	1.49			131	62	4.10	1.93	734	345	
34	0.0998	0.60	1.32			102	47	4.20	1.92	718	328	
39	0.0996	0.40	0.85			98	46	4.10	1.94	708	335	
44	0.1001	0.60	1.25			101	48	4.00	1.92	704	339	
49	0.1004	0.40	0.83			101	48	4.00	1.91	700	335	
54	0.1000	0.60	1.28			116	54	4.10	1.92	719	336	
59	0.1005	0.40	0.86			108	50	4.20	1.95	428	199	
64	0.1001	0.50	1.06			100	47	4.20	1.97	715	336	
69	0.0999	0.40	0.85			114	54	4.40	2.07	714	336	
74	0.0999	0.90	1.91			106	50	4.30	2.03	711	335	
79	0.1001	0.90	1.92			75	35	4.40	2.06	744	349	
84	0.0999	0.80	1.73			97	45	4.10	1.90	719	333	
89	0.1004	0.80	1.70			111	52	4.10	1.93	672	316	
94	0.1003	0.60	1.26			110	52	4.80	2.28	768	365	

Tabelle 5.1 Forts.: Analysenergebnisse; CFB = Karbonat freie Basis

Meteor Sta. 1146B KAL										
Sr ppm CFB	Sr ppm	Ba ppm CFB	Ba ppm	V ppm CFB	V ppm	C organic %	% Σ C	% N	CaCO ₃ %	
2540	1192	249	117	109	51	0.793	7.16	0.102	53.1	
2580	1193	226	104	110	51	0.780	7.23	0.104	53.7	
3340	1225	263	96	131	48	0.380	7.98	0.045	63.3	
2520	1210	228	109	99	48	0.914	7.15	0.106	52.0	
2570	1205	228	107	99	47	0.827	7.20	0.108	53.1	
2410	1193	215	107	93	46	0.839	6.90	0.110	50.5	
2560	1225	231	111	95	46	0.844	7.10	0.101	52.1	
2400	1137	225	106	89	42	0.876	7.19	0.108	52.6	
2450	1190	221	107	90	43	0.959	7.13	0.110	51.4	
2300	1176	204	105	77	40	1.145	7.01	0.097	48.9	
2320	1175	207	105	80	41	0.828	6.75	0.088	49.3	
2490	1198	206	99	92	44	0.793	7.02	0.093	51.9	
2470	1182	212	101	89	42	0.760	7.02	0.089	52.2	
2430	1181	209	102	88	43	0.814	6.98	0.092	51.4	
2400	1168	202	98	92	45	0.818	6.98	0.089	51.3	
2460	1156	205	96	99	47	0.828	7.19	0.082	53.0	
2590	1182	210	96	101	46	0.677	7.20	0.095	54.4	
2420	1144	205	97	104	49	0.814	7.14	0.091	52.7	
2430	1169	196	94	101	48	0.981	7.21	0.104	51.9	
2390	1142	201	96	97	46	0.805	7.07	0.098	52.2	
2460	1150	206	96	89	42	0.718	7.11	0.087	53.3	
2560	1186	209	97	98	45	0.670	7.11	0.083	53.7	
2460	1154	199	93	86	40	0.701	7.07	0.088	53.1	
2490	1174	208	98	100	47	0.706	7.05	0.089	52.9	
2430	1145	203	96	87	41	0.686	7.03	0.092	52.9	
2520	1182	200	94	87	41	0.676	7.05	0.087	53.1	
2460	1139	201	93	77	36	0.728	7.17	0.088	53.7	
2380	1118	204	96	77	36	0.737	7.10	0.091	53.0	
2600	1236	215	102	77	36	0.763	7.06	0.105	52.5	

Tabelle 5.1 Forts.: Analysenergebnisse; CFB = Karbonat freie Basis

Meteor Sta. 1150B KAL

Tiefe cm	Einw. g	C organic %	Cu ppm	Cu ppm CFB	Cu ppm	Zn ppm	Zn ppm CFB	Zn ppm	Fe % CFB	Fe %	Mn ppm CFB	Mn ppm	Sr ppm CFB	Sr ppm
0	0.1000	0.753	43	43	18	225	225	225	4.77	1.95	1023	418	2990	1222
2	0.1000	0.733	38	38	17	94	94	94	4.29	1.91	798	355	2720	1211
4	0.1000	0.750	38	38	17	97	97	97	4.27	1.91	756	338	2620	1173
6	0.1000	0.806	40	40	18	98	98	98	4.40	1.97	759	340	2690	1207
8	0.1000	0.850												
10	0.0999	0.827	26	26	12	101	101	101	4.11	1.81	746	329	2660	1172
12	0.0997	0.952	23	23	10	107	107	107	4.10	1.80	740	324	2820	1234
14	0.1002	1.180	21	21	10	108	108	108	3.97	1.88	689	326	2590	1226
16	0.1002	0.497	21	21	7	104	104	104	4.25	1.39	792	258	3980	1299
18	0.0999	0.687	24	24	10	103	103	103	4.25	1.71	778	312	3130	1257
20	0.1002	0.746	385	385	167	464	464	464	4.05	1.76	738	320	2750	1193
22	0.0996	0.698	295	295	125	403	403	403	4.19	1.77	760	322	2920	1236
23	0.0999	0.647	1158	1158	490	768	768	768	3.97	1.68	789	334	2840	1202
24	0.1000	0.722												
25	0.1000	0.672	491	491	187	367	367	367	4.45	1.69	837	319	3400	1295
27	0.1000	0.734	402	402	171	326	326	326	4.48	1.90	794	337	2930	1241
29	0.1000	0.736	362	362	154	293	293	293	4.34	1.84	753	320	2940	1251
34	0.1000	0.729	383	383	165	318	318	318	4.40	1.89	765	329	2890	1245
39	0.1000													
44	0.0999	0.685				353	353	353	4.17	1.75	730	306	2970	1246
49	0.1000													
54	0.1001	0.669				252	252	252	4.16	1.74	721	301	3070	1283
59	0.1003													
64	0.1003	0.791												
69	0.0998													
74	0.1000	0.835												
79	0.0999													
84	0.1000													
89	0.0998													
94	0.1005	0.686												

Tabelle 5.1 Forts.: Analysenergebnisse; CFB = Karbonat freie Basis

Meteor Sta. 1152B KAL															
Tiefe cm	Cu ppm CFB	Cu ppm	Zn ppm CFB	Zn ppm	Fe % CFB	Fe %	Mn ppm CFB	Mn ppm	Sr ppm CFB	Sr ppm	Ba ppm CFB	Ba ppm	CaCO3 %	% Σ C	% N
0	38	16	108	48	4.01	1.75	791	346	3040	1332	228				
2	39	18	100	45	4.05	1.82	764	342	2870	1286	219				
5	51	22	111	49	4.08	1.81	774	344	2980	1327	225				
7	49	22	115	51	3.99	1.76	760	336	2960	1310	227				
9	45	20	95	42	4.01	1.75	810	354	2890	1263	228				
11	51	22	103	44	3.94	1.71	791	342	3050	1320	225				
13	644	264	437	179	4.34	1.78	827	339	3190	1308	232				
15	734	308	506	212	4.29	1.80	828	348	3280	1376	225				
17	578	253	406	178	4.15	1.81	833	365	3080	1347	224				
19	766	319	491	204	4.23	1.76	843	351	3180	1324	233				
21	77	33	99	42	4.17	1.77	848	361	3120	1329	232				
23	51	22	110	48	4.12	1.78	803	348	3170	1373	225				
25	38	16	105	45	4.06	1.75	788	339	3120	1342	227				
27	1055	456	704	304	4.03	1.74	809	350	2870	1242	220				
29	1745	781	993	445	3.99	1.78	805	360	2860	1280	216				

Ba ppm	V ppm CFB	V ppm	C org	% Σ C	% N	CaCO3 %
100	97	42	0.608	7.350	0.075	56.2
98	97	44	0.589	7.210	0.070	55.2
100	98	44	0.563	7.220	0.081	55.5
100	95	42	0.602	7.290	0.082	55.7
100	95	42	0.542	7.300	0.081	56.3
98	106	46	0.553	7.360	0.069	56.7
95	115	47	0.519	7.600	0.078	59.0
94	111	46	0.466	7.430	0.066	58.0
98	105	46	0.529	7.280	0.064	56.3
97	104	44	0.475	7.480	0.068	58.4
99	104	45	0.511	7.400	0.066	57.4
97	99	43	0.527	7.330	0.064	56.7
97	98	42	0.563	7.400	0.060	57.0
95	95	41	0.533	7.340	0.056	56.7
97	94	42	0.559	7.190	0.057	55.3

Tabelle 5.1 Forts.: Analysenergebnisse; CFB = Karbonat freie Basis

Meteor Sta. 1155B KAL

Tiefe cm	Einwaage g	Cd ppm	Cd ppm CFB	Cu ppm	Zn ppm	Zn ppm	Cu ppm	Zn ppm	Fe % CFB	Fe %	Mn ppm CFB	Mn ppm
0	0.1000	0.50	1.36	45	17	952	351	4.04	1.49	851	314	
2	0.1000	0.40	1.01	35	14	99	39	4.00	1.58	849	335	
4	0.1000	0.35	0.74	32	15	87	42	3.30	1.57	661	315	
6	0.1000	0.35	0.95	43	16	115	43	4.39	1.62	893	329	
9	0.1000	0.40	1.10	43	15	107	39	4.37	1.59	899	327	
11	0.1000	0.35	1.07	46	15	110	36	4.35	1.43	926	304	
13	0.1000	0.35	0.96	47	17	112	41	4.27	1.56	886	324	
15	0.1000	0.35	0.99	1594	561	1084	381	4.32	1.52	902	318	
17	0.1000	0.30	0.86	47	17	103	36	4.02	1.41	861	302	
19	0.1000	0.35	0.99	2126	753	1144	405	4.16	1.48	859	304	
21	0.1000	0.35	1.04	2002	677	1077	364	4.07	1.37	891	301	
23	0.1000	0.30	0.81	1211	451	873	325	4.41	1.64	886	330	
25	0.1000	0.40	1.08	1903	704	1081	400	4.53	1.67	916	339	
27	0.1000	0.30	0.78	1001	385	690	266	4.43	1.71	884	340	
29	0.0999	0.30	0.75	1674	544	1050	341	4.47	1.46	944	307	
34	0.1002	0.30	0.71			90	36	4.27	1.71	884	354	
39	0.0998	0.35	0.82			114	48	4.33	1.83	877	370	
44	0.1001	0.25	0.64			104	44	4.35	1.85	863	367	
49	0.1002	0.35	0.81			105	41	3.95	1.53	906	352	
54	0.0995	0.35	0.77			114	49					
59	0.0997	0.25	0.72			110	50	4.43	2.02	846	386	
64	0.0998	0.20	0.60			112	39	4.36	1.51	929	321	
69	0.1001	0.15	0.55			116	39	4.34	1.45	949	317	
74	0.1005	0.20	0.57			122	33	4.66	1.26	1004	272	
79	0.1004	0.20	0.65			114	30	4.43	1.16	967	254	
84	0.0998	0.20	0.55			102	31	4.34	1.33	941	289	
89	0.1001	0.15	0.51			113	41	4.57	1.66	962	349	
94	0.1001	0.15	0.51			134	39	4.01	1.17	927	270	

Tabelle 5.1 Forts.: Analyseergebnisse; CFB = Karbonat freie Basis

Meteor Sta. 1155B KAL											
Sr ppm CFB	Sr ppm	Ba ppm CFB	Ba ppm	V ppm CFB	V ppm	C organic %	% Σ C	% N	CaCO3 %		
3530	1302	213	79	96	36	0.355	7.930	0.047	63.12		
3150	1243	203	80	110	43	0.354	7.620	0.049	60.55		
2750	1308	162	77	88	42	0.849	7.140	0.112	52.42		
3470	1280	221	81	118	43	0.417	7.990	0.053	63.11		
3550	1293	224	82	114	41	0.410	8.040	0.050	63.58		
4190	1376	221	73	111	36	0.350	8.410	0.045	67.16		
3580	1306	219	80	107	39	0.449	8.070	0.045	63.51		
3700	1302	222	78	109	38	0.394	8.170	0.049	64.80		
3530	1239	221	78	107	38	0.390	8.180	0.046	64.91		
3530	1251	210	75	107	38	0.412	8.160	0.049	64.56		
3640	1230	219	74	124	42	0.365	8.310	0.049	66.21		
3250	1210	244	91	110	41	0.407	7.940	0.056	62.77		
3240	1199	253	94	114	42	0.410	7.970	0.054	63.00		
3060	1177	243	93	117	45	0.424	7.810	0.056	61.55		
4140	1347	247	80	128	41	0.364	8.460	0.048	67.46		
2940	1179	211	85	114	46	0.442	7.630	0.052	59.90		
2780	1172	215	91	111	47	0.460	7.400	0.060	57.83		
2620	1114	217	92	108	46	0.471	7.370	0.057	57.49		
3020	1174	215	83	126	49	0.394	7.730	0.046	61.13		
				116	50	0.469	7.290	0.065	56.84		
2470	1127	210	96	79	36	0.594	7.120	0.067	54.38		
4060	1406	219	76	104	36	0.354	8.200	0.052	65.38		
4340	1448	230	77	105	35	0.334	8.330	0.050	66.63		
5940	1610	264	71	114	31	0.302	9.050	0.041	72.90		
6400	1682	235	62	108	28	0.273	9.120	0.035	73.72		
5310	1633	215	66	102	31	0.290	8.600	0.039	69.25		
4080	1479	217	79	115	42	0.360	8.010	0.045	63.75		
6640	1936	219	64	105	30	0.258	8.760	0.027	70.85		

6. Sauerstoff und ATP-Biomasse

(Stefan Forster, Gerhard Graf, Moshira Hassan, Wolfgang Queisser, Wiebke Ziebis)

Die Berechnung des diffusiven Sauerstoffflusses ins Sediment aus Messungen von Sauerstoffmikroprofilen ergeben sowohl für jede einzelne Station, als auch für das gesamte Untersuchungsgebiet gleichbleibend niedrige Werte. Diese liegen bei ungefähr $5 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (Abb. 6.1) und damit im Bereich der Messungen, die im Sommer (17°C) in deutschen Küstengewässern durchgeführt wurden (Forster, 1985). Verschiedene Untersuchungen (z. B. Gundersen und Jørgensen, 1991) haben gezeigt, daß der diffusive O_2 -Fluß pro Quadratmeter wegen der Mikrotopographie der Sedimentoberfläche um circa 25 % höher sein kann als die Berechnung aus Mikrogradienten ergibt. Selbst unter dieser Annahme läge der mittlere Fluß bei $6,4 \pm 1,1 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse der Sauerstoffzehrung. Sie zeigen einen höheren Bedarf an Sauerstoff an als die Mikrofilmmessungen. Im Durchschnitt werden im Untersuchungsgebiet pro Tag $21 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2}$ verbraucht. Auch dieser Wert ist mit solchen der Kieler Bucht im Sommer vergleichbar. Damit ist die mittlere Zehrung dreimal so hoch wie der mittlere diffusive Fluß.

Die Zehrungsmessungen zeigen allerdings auch einen deutlichen Unterschied zwischen den östlichen, nahe der Insel Kharg gelegenen Stationen und der südwestlichen Seite des Untersuchungsgebietes. Während der Sauerstoffverbrauch an den östlich gelegenen Stationen etwa $16 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ beträgt, liegen entsprechende Werte bei den drei westlichen Stationen (Station 14, 21 und 22) mit etwa $30 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ doppelt so hoch. Diese Unterscheidung ist aus den Mikrofilmmessungen nicht erkennbar. Sie entspricht jedoch den Ergebnissen der geophysikalischen Vermessungen, die in dem tiefergelegenen westlichen Bereich des Untersuchungsgebietes ein anderes Sediment (Reflektortyp) erkennen läßt.

Die Mittelwerte aller Messungen an Sedimentkernen weisen z.T. hohe Standardabweichungen auf. Dies ist vor allem auf eine unterschiedlich stark ausgeprägte Ungleichheit zwischen Tages- und Nachtwerten zurückzuführen. Beispielsweise entspricht die während der Nachtstunden (18 - 6 Uhr) gemessene Sauerstoffzehrung an Station 1 mit $5,6 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ($n=2$) genau dem Wert der molekularen Diffusion. Messungen während des Tages liegen mit $27 \text{ mmol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ deutlich darüber. In Abbildung 6.2 ist die Sauerstoffzehrung nach Tag und Nacht unterschieden aufgetragen. Eine Interpretation der Unterschiede zwischen verschiedenen Stationen ist aus Mangel an Beobachtungen nicht möglich. Unterschiede zwischen Tag und Nacht legen einen Rhythmus der Organismen, die

zum Sauerstoffverbrauch bzw -transport beitragen nahe. Diese These konnte allerdings auf dieser Fahrt nicht weiter untersucht werden.

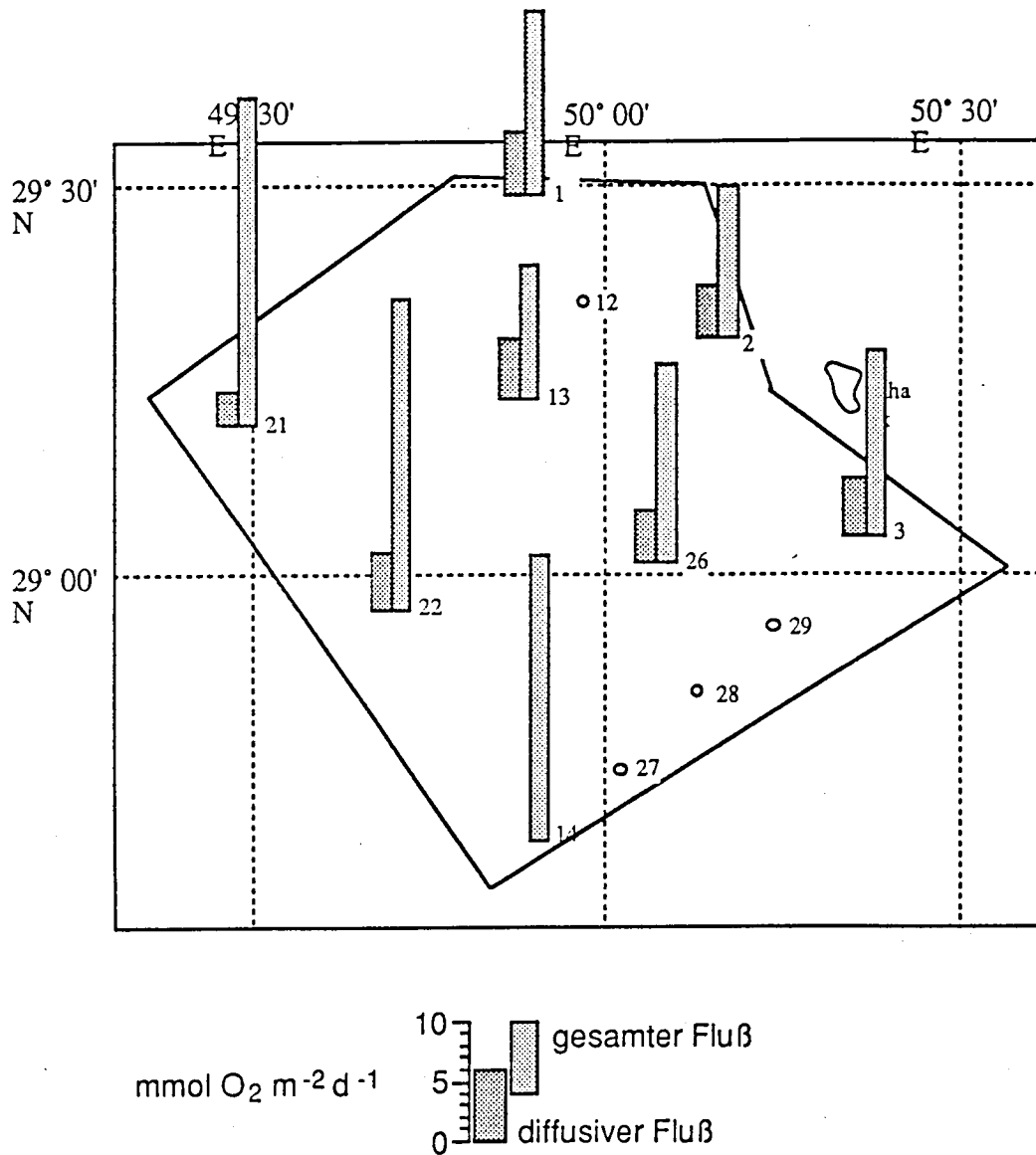
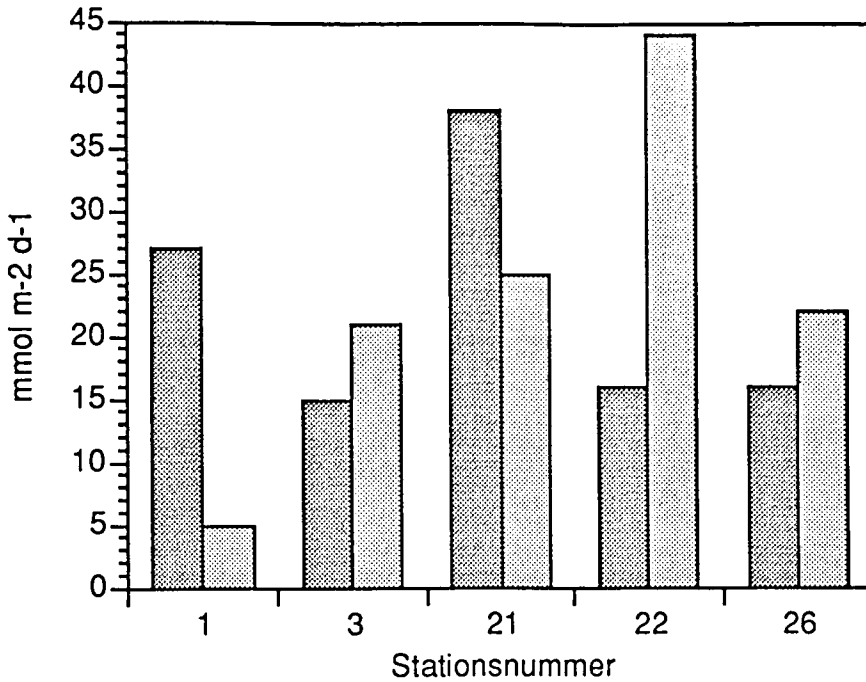


Abbildung 6.1: Vergleich von diffusiven und Gesamtflüssen von Sauerstoff im Untersuchungsgebiet. Diffusive Sauerstoffflüsse sind aus mikrogradienten an der Sedimentoberfläche berechnet. Die gesamte Sauerstoffaufnahme des Sedimentes wurde an inkubierten Sedimentkernen bestimmt.

Die Strömungsmessungen über den Öffnungen der Bauten des auffälligsten Organismus, Upogebia spec., ließ keinen T -N- Rhythmus erkennen.



- Zehrung tags
- Zehrung nachts

Abbildung 6.2: Sauerstoffzehrung der untersuchten Stationen nach Tag und Nacht unterschieden

Der decapode Krebs Upogebia spec. wurde im südwestlichen Bereich des Untersuchungsgebietes mit hohen Abundanzen gefunden. Die ebenfalls südwestlich gelegenen Stationen 14, 21 und 22 fallen durch ihre hohe mittlere Sauerstoffzehrung auf. Hier wurden an einzelnen Sedimentkernen die höchsten Zehrungswerte ermittelt (vergleiche Tab. 6.1 und Tab. 6.2). Einzelne Sauerstoffverbrauchswerte der Stationen 21 und 22 liegen 12 mal höher als der diffusive Sauerstofffluß.

An Station 21 wurde die Oberfläche der Y-förmigen Bauten von Upogebia spec. nach der Vermessung von 5 Bauten verschiedener Größe berechnet und auf die Gesamtabundanz hochgerechnet. Pro Quadratmeter stehen 1,2 m² Gangwandung als zusätzliche Sediment-Wasser-Grenzfläche für aerobe mikrobielle und chemische Prozesse zur Verfügung. Bei gleichem diffusiven O₂-Fluß könnte dies eine Sauerstoffzehrung des Sedimentes von 14 mmol O₂ m⁻² d⁻¹ (6,4x2,2 m²) erklären. Der Sauerstoffverbrauch beträgt mit 31 mmol O₂ m⁻² d⁻¹ aber etwa 5 mal soviel (31/6,4) wie der errechnete diffusive Fluß. Welche Prozesse diesem zusätzlichen O₂-Bedarf zu Grunde liegen konnte nicht ermittelt werden.

Station #	diffusiver Fluß ±1 s [mmol m ⁻² d ⁻¹]	n	mittlere Zehrung ±1 s [mmol m ⁻² d ⁻¹]	n	Zehrung nachts ±1 s [mmol m ⁻² d ⁻¹]	n	Zehrung tags ±1 s [mmol m ⁻² d ⁻¹]	n
1	5,9 ± 0,5	8	18 ± 11	9	5,6	2	27 ± 3	3
2	4,9 ± 1,0	8	15 ± 1	3	15	2		
3	5,6 ± 1,8	4	18 ± 5	6	21 ± 3	3	15 ± 4	3
13	5,8 ± 0,9	4			13	1		
14			28 ± 15	3	28 ± 15	3		
21	3,2 ± 0,8	5	31 ± 13	6	25 ± 5	3	38 ± 17	3
22	5,3 ± 0,8	8	30 ± 20	6	44 ± 18	3	16 ± 8	3
26	5,2 ± 0,1	3	19 ± 5	6	22 ± 5	3	16 ± 2	3

Tabelle 6.1: Sauerstofffluß über die Sediment-Wasser-Grenzfläche mit Standardabweichung (s) und Probenanzahl (n). Der diffusive O₂-Fluß wurde aus O₂-Mikrogradienten errechnet. O₂-Zehrung wurde an gehäuterten Sedimentkernen ermittelt. Ergebnisse der O₂-Zehrung sind als Mittelwert aller Messungen, als Mittelwert der Messungen während des Tages (6 - 18 Uhr) und als Mittelwert der Messungen während der Nacht (18 - 6 Uhr) angegeben. Die Summe der Tages- und Nachtmessungen stimmt nicht immer mit der aller Messungen überein, da in manchen Meßintervallen die Grenzzeiten überschritten wurden.

Station #	Zehrung nachts		Zehrung tags			1. Messung		2. Messung		3. Messung	
	$\pm 1 s$	n	1. Messung	2. Messung	3. Messung	$\pm 1 s$	n	Messung	Messung	Messung	Messung
	[mmol m ⁻² d ⁻¹]		[mmol m ⁻² d ⁻¹]								
1	5,6	2	4,66	6,63	-	27,5 ± 3	3	24,3	27,95	30,12	
2	15,0	2	16,03	15,03	-			-	-	-	
3	21,2 ± 3	3	24,07	21,77	17,8	14,6 ± 4	3	19,4	13,54	10,97	
13	12,9	1	12,92	-	-			-	-	-	
14	27,5 ± 15	3	20,70	44,74	17,06			-	-	-	
21	24,5 ± 5	3	21,82	22,04	29,76	38,1 ± 17	3	30,94	57,15	26,05	
22	44,2 ± 18	3	41,68	63,14	27,72	15,8 ± 8	3	23,83	8,79	14,62	
26	22,1 ± 5	3	22,04	17,43	26,92	15,8 ± 2	3	17,93	13,59	15,89	

Table 6.2: Vergleich der Sauerstoffzehrung während des Tages (6 - 18 Uhr) mit Messungen während der Nacht (18 - 6 Uhr). Ergebnisse der O₂-Zehrung jeweils als Mittelwert mit Standardabweichung (s) und Probenanzahl (n) angegeben.

Pumpaktivitäten des Krebses konnten durch kombinierte Messungen mit O₂- und Strömungs sonden belegt werden. Dabei wird sauerstoffhaltiges Wasser in die Bauten geleitet. Die Menge des derart eingetragenen Sauerstoffs entspricht jedoch dem fehlenden Betrag. Wahrscheinlich wird mit dem Ansatz des diffusiven Flusses entlang der Mikrogradienten der Sauerstoffbedarf stark unterschätzt.

Mit der Bestimmung des ATP-Gehaltes der Sedimente wurde ein Überblick über die Biomassenverteilung der kleinen Organismen, d.h. hauptsächlich Bakterien, Meiofauna und Foraminiferen im Untersuchungsgebiet erzielt. Die Konzentrationen können mit einem Faktor von 200 auf Kohlenstoff umgerechnet werden, wobei sich eine gute Übereinstimmung mit den über Volumen gemessenen Biomassewerten aus der Größenklassenbestimmung ergab. In den sehr karbonatreichen Sedimenten wurde das Extraktionsverfahren von Bancroft et al. (1976) bevorzugt, das ein Auflösen des Karbonats verhindert und die spätere Biolumineszenzanalytik nicht stört.

Mit Ausnahme der Station 2, in der in der Oberfläche und dem 2. Horizont der Station 26, in denen normale Flachwasser-Konzentrationen beobachtet wurden (Abb.6.3). sind alle ATP -Konzentrationen extrem niedrig und so bisher nur aus Tiefseegebieten beschrieben worden (cf. Graf 1989). Sie entsprechen damit den Erwartungen, daß der nördliche Golf sehr oligotroph ist. In Flachwassergebieten auf den Philippinen mit ähnlich karbonathaltigen Sedimenten wurden bis zu 20-fach höhere Werte gefunden (Graf und Meyer-Reil, 1985). Der geringen Biomasse der kleinen Organismen im Golf entspricht die ebenfalls geringe Biomasse der Makrofauna (siehe Größenklassenspektren).

Innerhalb des Untersuchungsgebietes zeigt sich eine deutliche Abnahme der ATP-Biomasse von der iranischen Küste zu den tieferen Gebieten (Stationen 21, 22, 14, Abb.6.4). Damit ergibt sich ein genau gegenläufiger Trend zu den Sauerstoffzehrungswerten (Abb.6.5). Hieraus folgt eine drastische Verschiebung im Verhältnis von Biomasse zur Respiration (B/R) von bis zu einem Faktor 10. Die obengenannten Stationen 21, 22 und 14 fielen durch die Rußpartikel an der Sedimentoberfläche auf, gehören aber auch zu einem anderen Sedimenttyp (cf. Mienert).

Auf Station 14, auf der zwei Öllagen im Sediment beobachtet wurden, wurden in tieferen Sedimentschichten im Vergleich zu der vom Sedimenttyp ähnlichen Nachbarstation 22 bis zu 5-fach erhöhte ATP-Konzentrationen gefunden (Abb.6.6). Auch wenn die Absolutwerte nicht hoch sind, deutet dieser signifikante Unterschied auf eine erhöhte mikrobielle Beeinflussung dieser Station aufgrund des Öleintrages hin.

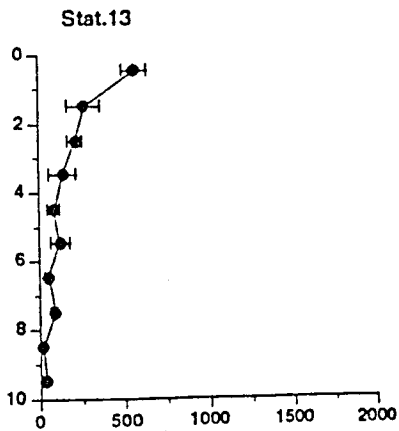
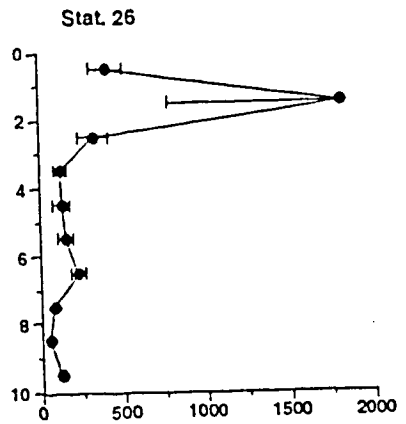
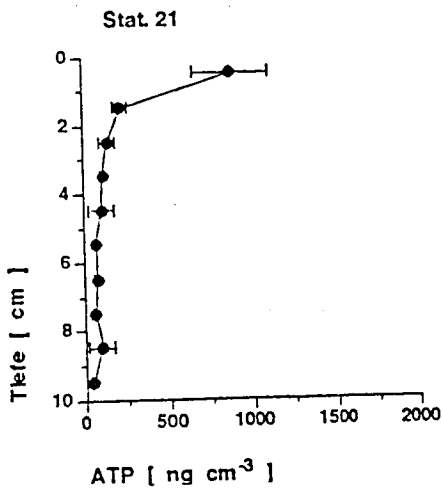
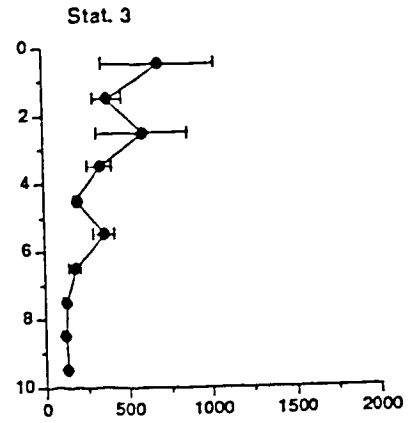
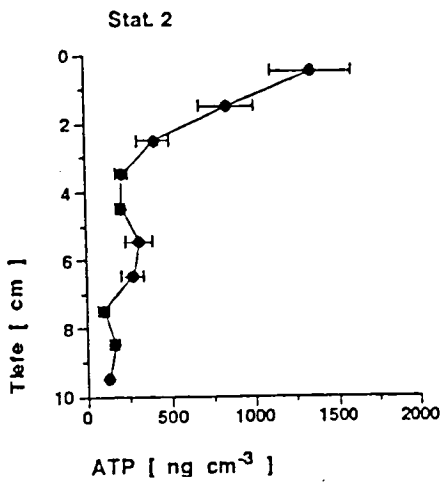


Abbildung 6.3: ATP - Werte [ng cm⁻³] der untersuchten Stationen.

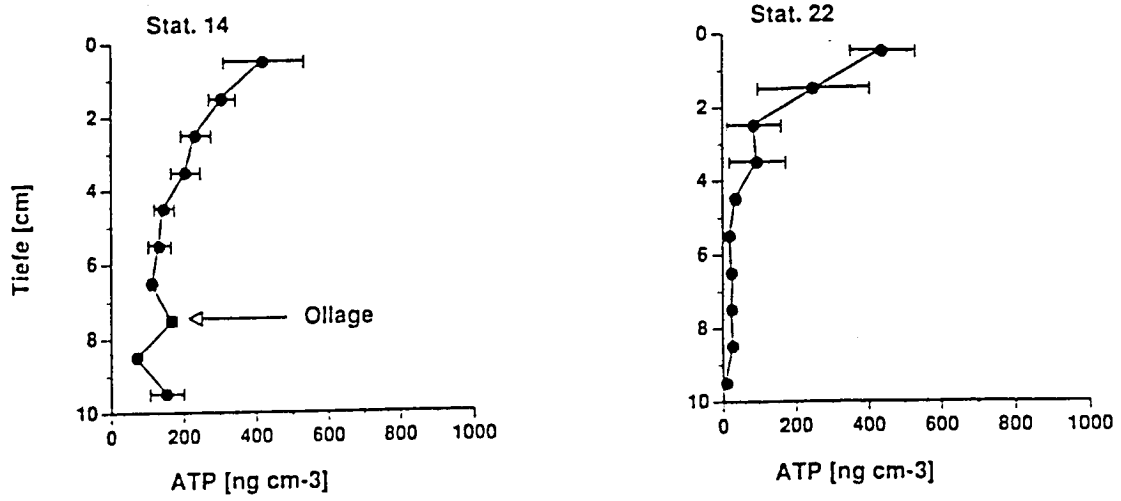


Abbildung 6.4: ATP - Werte [ng cm^{-3}] der Stationen 14 und 21.

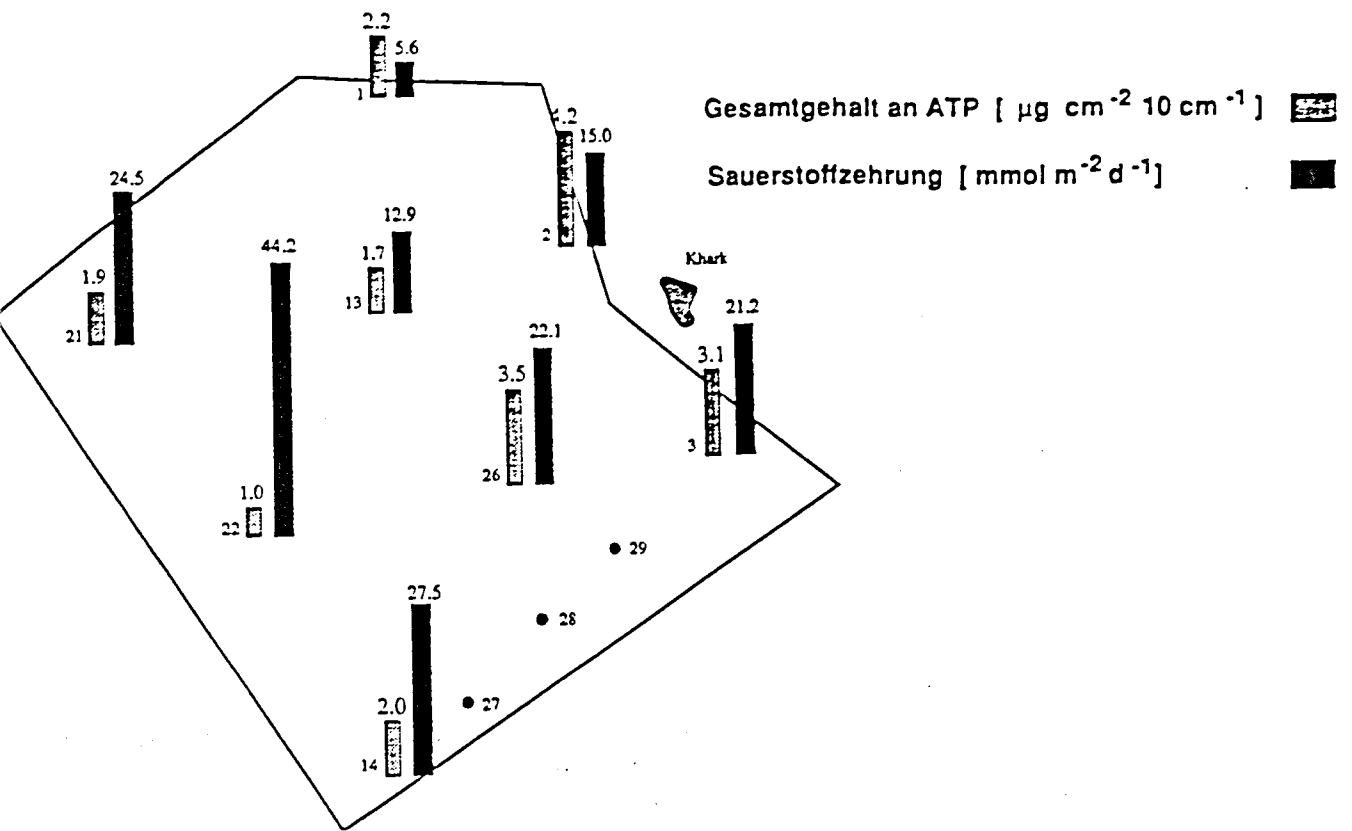


Abbildung 6.5: Gesamtgehalt an ATP und Sauerstoffzehrung an den untersuchten Stationen im Arbeitsgebiet.

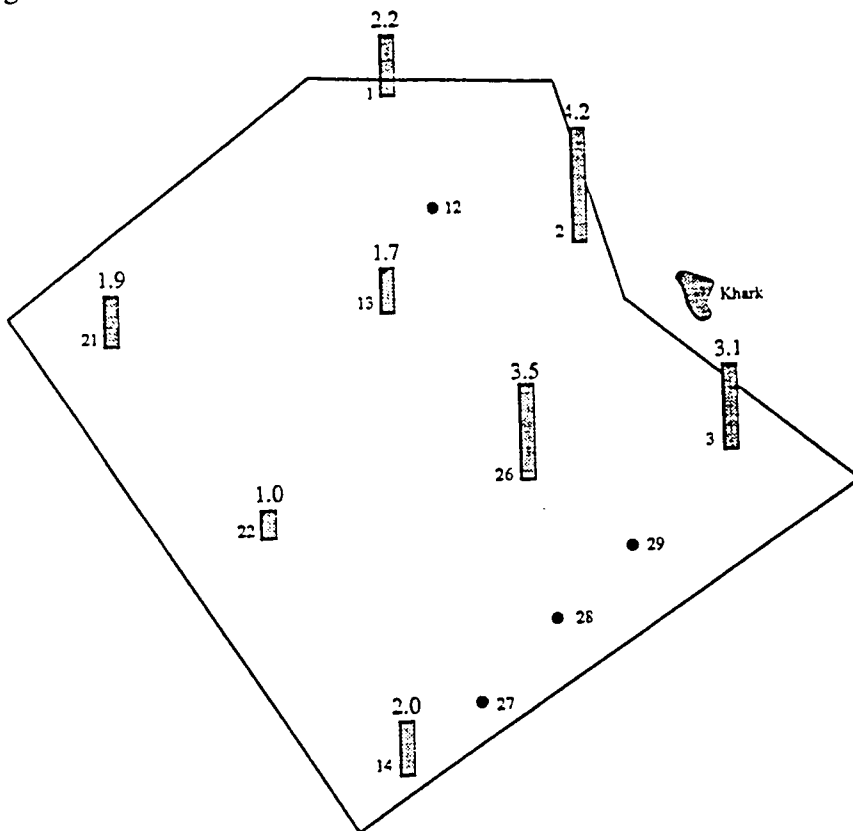


Abbildung 6.6: Gesamtgehalt an ATP in $\mu\text{g cm}^{-2} 10 \text{ cm}^{-1}$ an den untersuchten Stationen.

Literatur:

- BANCROFT, K., E. A. PAUL, and W. J. WIEBE. 1976: The extraction and measurement of adenosine triphosphat from marine sediments. *Limnol. Oceanogr.* 21: 473-480
- FORSTER, S. 1985: Was bedeutet "Sauerstoffzehrung" bei marinen Sedimenten? Diplomarbeit, C. A. Universität Kiel.
- GRAF, G. 1989: Benthic-pelagic coupling in a deep-sea benthic community. *Nature* 341: 437-439
- GRAF, G. and L.-A. MEYER-REIL. 1985: Short-term variations of heterotrophic activity on the surface film of *Sargassum* and in the sediment. *The Phillipine Scientist.* 22: 47-50
- GUNDERSEN, J. and B. B. JØRGENSEN. 1990: Microstructure of diffusive boundary layer and the oxygen uptake of the sea-floor. *Nature* 245: 604-607.

7. Verschiebung des Größenklassenspektrums der benthischen Organismen durch Verschmutzungseinfluß

(Wolf-Christian Dullo, Gerhard Graf, Will Ritzrau, Sabine Scheibe, Ralf Schiebel)

Einleitung

Benthische Mikroorganismen, Meio- und Makrofauna stehen in einem konstanten Biomasseverhältnis zueinander. Dieses Verhältnis findet sich bei den verschiedensten Ökosystemen vom Flachwasser bis zur Tiefsee immer wieder (Schwinghamer, 1981, 1983) (Abb. 7.1). Das erste Maximum dieses Größenklassenspektrums liegt im Bereich von 0,5 bis 1 μm , und spiegelt die Bakterienzahlen wider. Die Makrofauna am oberen Ende der Größenklassenverteilung (>1mm) ist viel stärker als die Bakterien von abiotischen Parametern geprägt. Durch die längeren Reproduktionszeiten können z.B. Verschmutzungsereignisse stärkere Auswirkungen haben (Schwinghamer, 1988). Diese könnten zu einer Verschiebung des Spektrums zugunsten der Bakterien führen (Meyer-Reil, 1987). Das hätte zur Folge, daß Bakterien das Biomasseverhältnis dominieren. Der mittlere Peak (8-500 μm) in der Größenklassenverteilung ist mit der interstitiellen Fauna gekoppelt. Dies sind vor allem Nematoden, aber auch Foraminiferen.

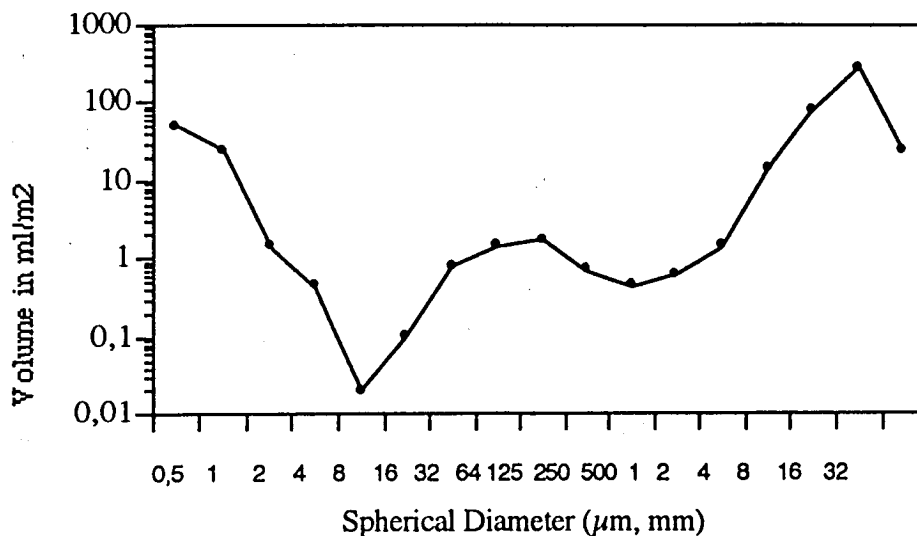


Abbildung 7.1: Sheldon-Größenklassenspektrum gemittelt aus unterschiedlichen Untersuchungen (nach Schwinghamer, 1981)

Studien, die die Auswirkungen von Umweltverschmutzungen auf marine Gesellschaften untersuchen, sind meist sehr zeitaufwendig und wenig aussagekräftig (Hargrave & Thiel, 1983). Es sind dazu nicht nur Untersuchungen auf der Ebene der Gesellschaften nötig, sondern ebenso biochemische und andere "lower level" Untersuchungen (Schwinghamer, 1988). Während eines GEEP Workshops in Norwegen wurde untersucht, wie Verschmutzungen sich auf die Größenklassenverteilung auswirken. In einem Mesokosmos Experiment behandelte man eine Testfläche mit einer Dieselöl-Kupfer Mischung. Im Vergleich zur unbehandelten Kontrollfläche ließ sich eine Veränderung insbesondere der Meio- und Makrofauna feststellen (Heip et al., 1988, Warwick et. al, 1988). Die Bakterienzahlen zeigten keine deutliche Änderung (Schwinghamer, 1988). Demgegenüber hatte in früheren Untersuchungen Meyer-Reil (1987) eine Reaktion der Bakterien gefunden. Die genannten Untersuchungen sowie frühere Studien von Grassle et. al (1981), Elmgren & Frithsen (1982) und Frithsen et. al (1985) waren der Anlaß, diese Methode zur Abschätzung von Verschmutzungsschäden auf eine benthische Lebensgemeinschaft im Persischen Golf anzuwenden.

Material und Methoden

Für die Untersuchungen standen Proben von vier Stationen zur Verfügung. Die Stationen 21 (29:11.51 N, 49:31.04 E), 22 (28:56.49 N, 49:43.81 E), 14 (28: 40.03 N, 49:55.22 E) und 1 (29:29.90 N, 49:54.11 E). Zur Gewinnung der Makrofauna wurden Großkastengreifer-Proben (GKG) gesiebt (Siebmaschenweite 1mm) und der Überstand in 4% Korsolin fixiert. Für die Bestimmung der Bakterien- und Nematodenzahlen wurde aus den oberen 3 cm des Sediments jeweils 1 cm³ abgenommen und ebenfalls fixiert. Zur Quantifizierung der Foraminiferen wurden Sedimentproben in Bengalrosa überführt, um eine Anfärbung der "lebenden" Organismen gegenüber leeren Schalen zu erhalten.

Die Makrofaunaproben wurden unter einem Stereomikroskop aussortiert, das Biovolumen durch Verdrängung bestimmt (Schwinghamer, 1983, Scheibe, 1991) und über diesen Wert nach Rumohr et. al (1987) das Asche freies Trockengewicht (AFDW) und der Gehalt an organischer Kohlenstoffauflösung bestimmt.

Die Nematoden wurden über eine Ludox-Dichtentrennung vom Sediment getrennt, auf Filter gespült, um anschließend über eine halbautomatische Bildauswertung (Thomsen 1991) das Volumen als Biomasseindikator zu bestimmen. Die Umrechnung auf den Gehalt an organischem Kohlenstoff erfolgte nach Andrassy (1956).

Die Foraminiferen wurden zusätzlich zu der Ludoxmethode noch durch eine Kalciumbromid-Dichtentrennung vom Sediment getrennt (Thomsen 1989). Das Volumen nach Murray (1973) wurde ebenfalls über die Bildverarbeitung ermittelt, die Umrechnung auf organischen Kohlenstoff erfolgte nach Altenbach (1985).

Die Vorarbeiten zur Bestimmung der Bakterienzahl und Biomasse erfolgte über die von Meier-Reil (1978) für Sedimente modifizierte Epifluoreszenz-Mikroskopie. Eine bestimmte Anzahl von Rasterfeldern wurde unter dem Mikroskop ausgezählt, die Gesamtbakterienzahl über Multiplikationsschritte errechnet und zur späteren Ermittlung der Bakterienbiomasse von charakteristischen Gesichtsfeldern Diapositive angefertigt. Diese Dias dienen dann der Bestimmung der Zellvolumina mittels halbautomatischer Bildauswertung (Ritzrau 1990, Thomsen 1989).

Das Volumen der Organismen wurde nach Schwinghamer (1981) in sphärische Durchmesser umgerechnet, und die gesamte Biomasse jeder \log_2 Größenklasse als Volumen (ml/m^2 Sedimentoberfläche) zugeordnet (Sheldon, 1972, Schwinghamer, 1981).

Ergebnisse

Zur Erstellung der Größenklassenspektren wurden Stationen herangezogen, die sich visuell durch unterschiedliche Mengen an sichtbarem Öl unterschieden und von denen alle benötigten Begleitdaten vollständig vorhanden waren. Die Stationen 21 und 22 zeigten einen geringeren Anteil sichtbaren Öls. Diesen Stationen wurde die Station 14 gegenübergestellt, die einen höheren Anteil sichtbaren Öls zeigte. Station 1 zeichnete sich durch eine offensichtlich verschiedene Makrofauna Besiedlung und relativ hohe sichtbare Ölbelastung aus.

Station 1 (Abb. 7.2) zeigt einen Bakterien-Peak bei $1 \mu\text{m}$ mit einer maximalen Biomasse von $11,51 \text{ ml}/\text{m}^2$. Ein weiterer Peak befindet sich zwischen 16 und $200 \mu\text{m}$, mit einer maximalen Biomasse von $1,2 \text{ ml}/\text{m}^2$, der die Meiofauna widerspiegelt. Der Peak für die Makrofauna beginnt bei ca $500 \mu\text{m}$ und endet bei ca 2 mm , mit einer maximalen Biomasse von $3,3 \text{ ml}/\text{m}^2$. Diese Station weist mit Abstand die geringsten Makrofaunawerte auf, was auf ein Fehlen bestimmter Crustaceen-Arten, die auf den anderen Stationen relativ abundant waren, zurückzuführen ist.

Station 21 (Abb. 7.3) zeigt ebenfalls eine Dreiteilung. Die Nematoden bilden hier mit sehr geringen Biomassewerten den Übergang zwischen der Mikro- und Meiofauna. Der Bakterien-Peak liegt bei dieser Station ebenfalls bei $1 \mu\text{m}$ mit einer maximalen Biomasse von $17,29 \text{ ml}/\text{m}^2$. Der Größenklassenbereich der Meiofauna liegt zwischen 64 und $200 \mu\text{m}$ mit einem Biomassemaximum von $6,5 \text{ ml}/\text{m}^2$, und einem weiteren kleinen Peak bei 1 mm , der durch auffallend große Foraminiferen gebildet wird. Die Makrofauna beginnt bei 3 mm und endet bei ca 12 mm . Das Biomassemaximum liegt hier bei $4,7 \text{ ml}/\text{m}^2$, das sich aber bei einer Abschätzung der großen Crustaceen (diese werden mit dem GKG nicht quantitativ erfasst, da sie zu tief im Sediment sitzen) nach vorhandenen Gangstrukturen auf ca $20 \text{ ml}/\text{m}^2$ erhöhen würde.

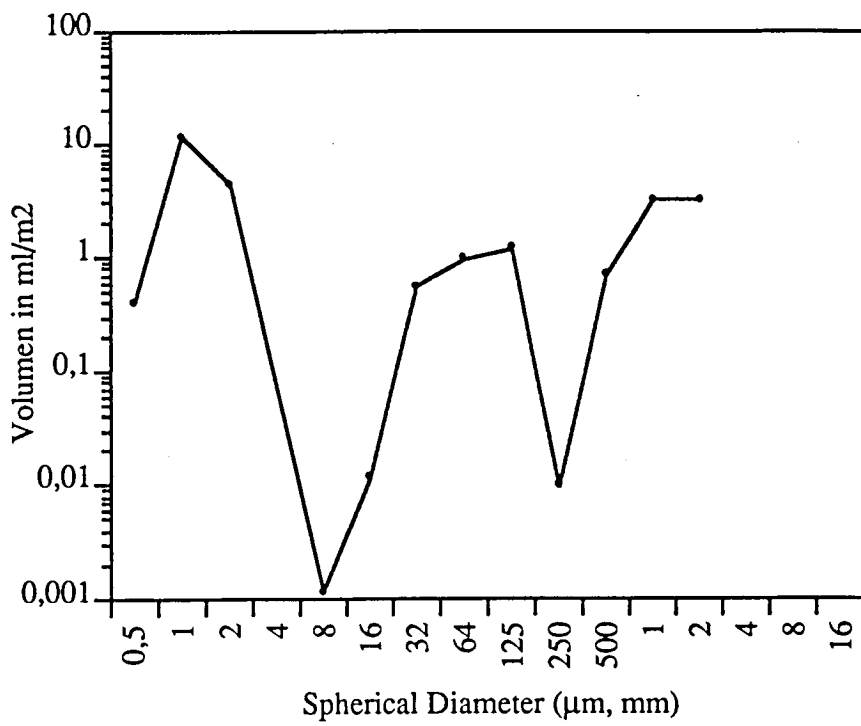


Abbildung 7.3: Größenklassenspektrum an der Station 1

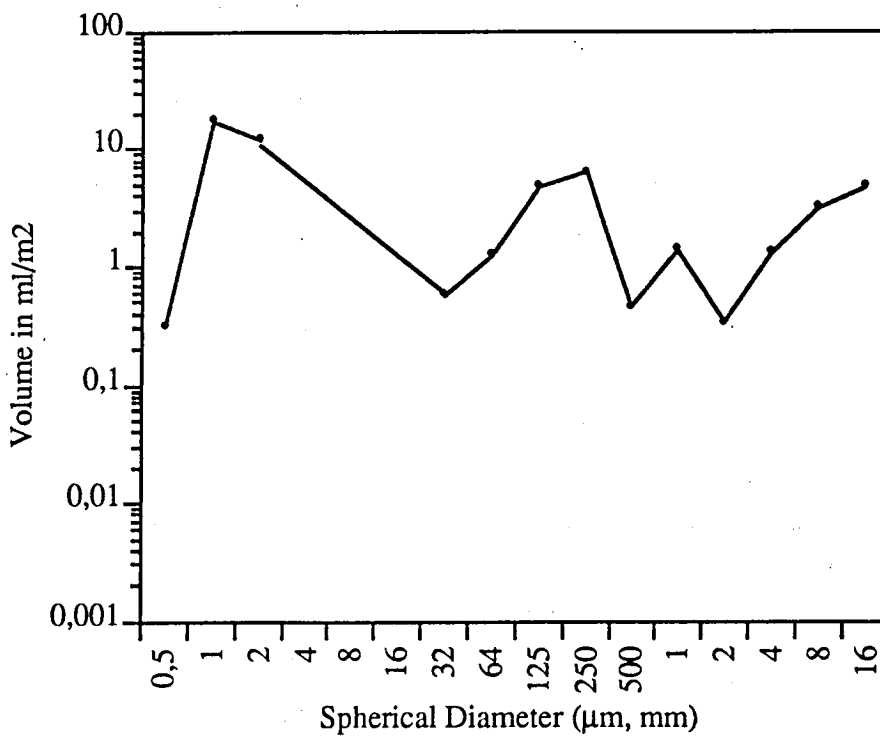


Abbildung 7.4: Größenklassenspektrum von Station 21

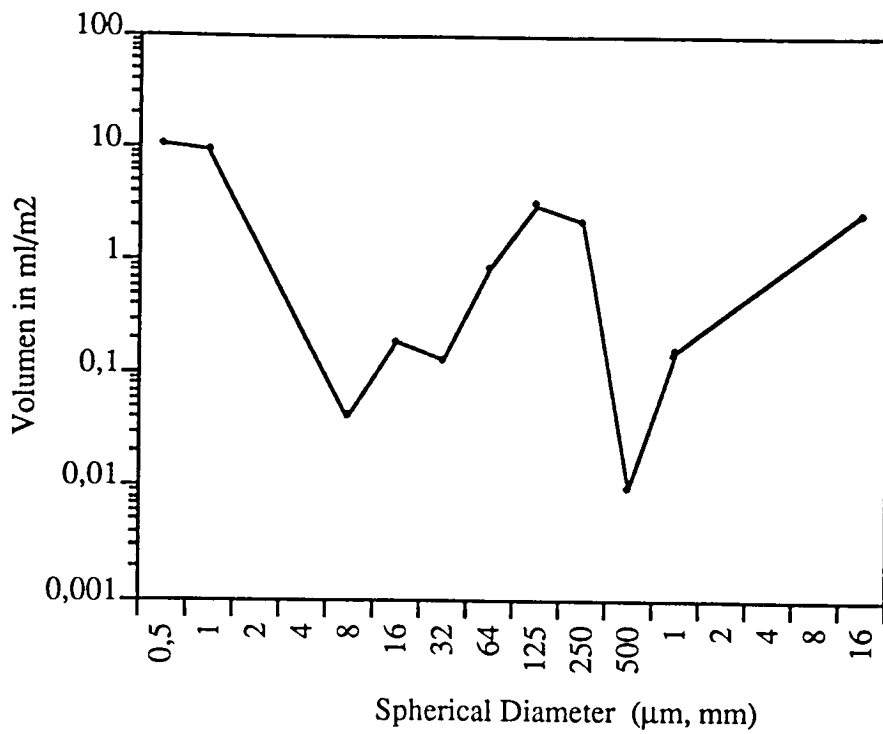


Abbildung 7.4: Größenklassenspektrum an der Station 22.

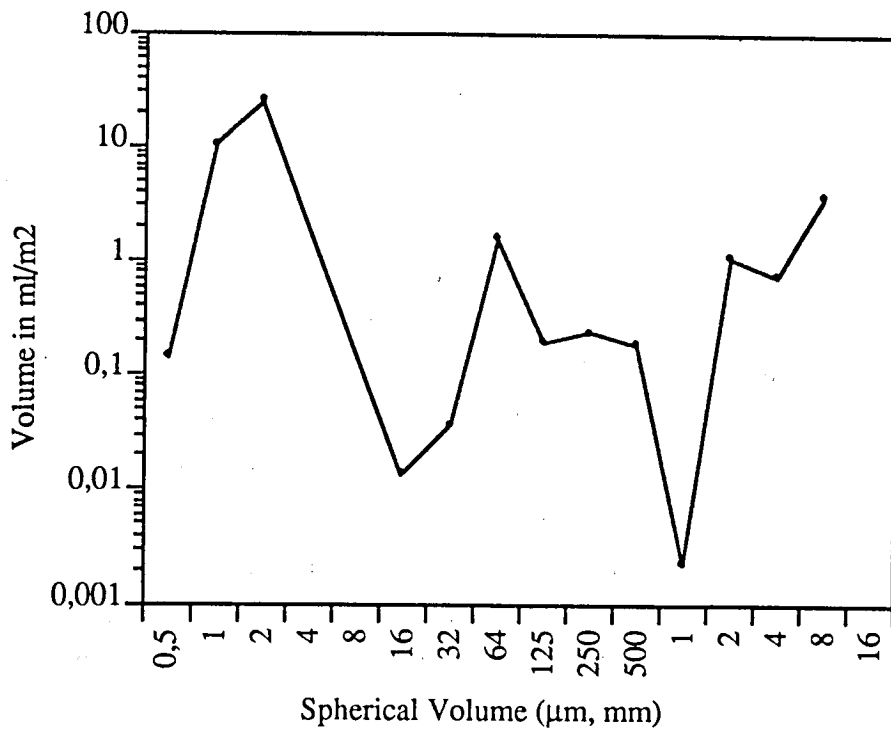


Abbildung 7.5: Größenklassenspektrum an der Station 14.

Auch auf Station 22 (Abb. 7.4) stellen die Bakterien die größte Biomasse mit einem Maximum von $10,35 \text{ ml/m}^2$ in einem Bereich von $0,9$ bis $2 \text{ }\mu\text{m}$. Die Meiofauna zeigt, wie schon bei Station 21, zwei Peaks, einen bei $16 \text{ }\mu\text{m}$ und den anderen bei $125 \text{ }\mu\text{m}$. Der kleinere Peak weist eine maximale Biomasse von $0,2 \text{ ml/m}^2$, der größere von $3,13 \text{ ml/m}^2$ auf. Auch bei dieser Station bilden die Nematoden mit einer sehr geringen Biomasse den Übergang zwischen Mikro- und Meiofauna. Die Makrofauna wird bei dieser Station nur durch einen Punkt bei 12 mm mit einem Maximum von $2,5 \text{ ml/m}^2$ repräsentiert.

Station 14 (Abb. 7.5), die auf den ersten Blick am stärksten belastete Station, zeigt wiederum eine deutliche Dreiteilung im Größenklassenspektrum. Die Bakterien weisen ein Biomassemaximum bei $2 \text{ }\mu\text{m}$ mit 25 ml/m^2 auf. Die Meiofauna mit einem Maximum bei $32 \text{ }\mu\text{m}$ hat eine maximale Biomasse von $1,55 \text{ ml/m}^2$, die Makrofauna von $3,62 \text{ ml/m}^2$ mit einem Maximum bei 8 mm .

Diskussion

Um Veränderungen in den benthischen Lebensgemeinschaften als Folge von Verschmutzungsereignissen zu diagnostizieren, ist die Kenntnis der "unbelasteten" Situation sehr wichtig. Diese Daten standen uns nicht oder nur in sehr begrenztem Maße zur Verfügung. So waren wir darauf angewiesen, visuell weniger von mehr belasteten Stationen zu unterscheiden. Chemische Untersuchungen haben aber gezeigt, daß die Belastung aller Stationen ähnlich hoch ist, auch wenn sich der Anteil aromatischer zu zyklischen Kohlenwasserstoffen unterscheidet (siehe auch Kap.4. Kohlenwasserstoffe in Sedimentproben aus dem Persischen Golf).

Typische Erscheinungen eines Sheldon-Schwinghamer-Spektrums (siehe Abb. 7.1) sind (1) Biomassemaxima am unteren und oberen Ende der Skala, (2) ein lokales Maximum, ein bis drei Zehnerpotenzen niedriger als die beiden anderen, im Zentrum des Spektrums, und (3) lokale Biomasseminima bei $4\text{-}16 \text{ }\mu\text{m}$ and $0,5\text{-}1 \text{ mm}$. Marine Sedimente bieten verschiedene Möglichkeiten der Besiedlung. Entweder sind die Organismen groß genug, um die Sandkörner zu verdrängen, oder hinreichend klein um die Körner zu besiedeln, oder sie haben die richtige Größe, um zwischen (interstitiell) den Körnern herumkriechen zu können. Diese Lebensweisen sind natürlich stark von den vorherrschenden Korngrößen und dem Wassergehalt des Sediments abhängig. Je kompakter das Sediment desto geringer ist der Raum für interstitiell lebende Tiere etc. Aber auch der Verschmutzungsgrad kann einen Einfluß auf die Größenklassenverteilung der Benthosorganismen haben. Viele der großen Makrofauna Arten sind empfindlich gegen Verschmutzung. Sie sind oft langsamwüchsig und haben lange Reproduktionszeiten. Diese Arten sind die ersten, die man nach einem Verschmutzungsereignis nicht wiederfindet. Oft setzten sich nach solch einem Ereignis Arten durch, die schnellwüchsig

sind und kurze Reproduktionszeiten haben. Diese Arten liegen im unteren Bereich der jeweiligen Größenklasse (so z.B. im unteren Bereich der Makrofauna).

In der vorliegenden Untersuchung sollte der Einfluß einer Ölverschmutzung mit Hilfe einer Größenklassenverschiebung in der benthischen Gemeinschaft nachgewiesen werden. Auffallend auf allen Stationen ist die geringe Biomasse der Makrofauna, die um bis zu zwei Zehnerpotenzen unter vergleichbaren Werten aus dem Flachwasser liegt (Warwick et. al. 1979, Gerlach 1978, Ankar, 1979, Schwinghamer 1981). Weiterhin auffallend ist das Fehlen bzw. sehr gering Auftreten von ganzen Tierklassen wie Echinodermaten und das Fehlen von großen Polychaeten und anderen Tieren am oberen Ende des Spektrums. Während der dänischen Untersuchungen im Iran in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts (1902-1938) wurde unter anderem auch der Persische Golf untersucht. Hierbei wurde die Makrofauna aus Dredgproben untersucht. Zu dieser Zeit fanden sich noch alle zu erwartenden Tierklassen in diesem Meeresgebiet, unter anderem verschiedene Vertreter der Echinodermen und anderer großer Makrofauna. Auch große Polychaeten, bis 10 cm Länge, wurden gefunden und bestimmt (Wesenberg-Lund, 1949). Aufgrund fehlender Daten aus den vergangenen Jahren ist nicht zu sagen, seit wann diese Tiere kaum mehr gefunden werden.

Laut der Definition des Schwinghamer-Spektrums sollte die Meiofauna einen um mindestens zwei Zehnerpotenzen niedrigeren Peak als die beiden anderen haben. An den untersuchten Stationen aus dem Persischen Golf war das nicht der Fall. Die Meiofauna hat hier den gleichen Anteil an der Gesamtbiomasse wie die Makrofauna. Bedingt sind diese Werte durch hohe Abundanzen von Foraminiferen. Besonders Auffällig war das auf den von uns als relativ wenig verölt eingestuften Stationen 21 und 22.

Ein weiterer Aspekt, der für eine Beeinflussung der benthischen Fauna durch das eingebrachte Öl spricht, sind die Bakterienzahlen. Auf allen Stationen haben Bakterien die höchste Biomasse. Station 14, die von uns als stark verölt eingestuft wurde, zeigt um eine Zehnerpotenz höhere Bakterien- als Makrofaunawerte. Dies würde für die Annahme von Meier-Reil (1987) sprechen, der eine Verschiebung des Spektrums zugunsten der Bakterien und innerhalb der Bakterien eine Verschiebung zu den großen Arten, nach einem massiven Nahrungspuls postuliert. Dies ist ein Zeichen dafür, daß eine sehr gute Nahrungssituation für Bakterien vorliegt. Im Vergleich mit der klassischen Sheldon-Schwinghamer Kurve (Abb. 1) fällt außerdem die geringe Menge kleiner Bakterien auf, die in einer normalen Größenklassenverteilung die größte Biomasse innerhalb dieser Gruppe haben sollten.

Beim direkten Vergleich der visuell unterschiedlichen Stationen (14 und 22) läßt sich eine leichte Verschiebung der Makrofauna und Meiofauna in Richtung der kleinen Größenklassen erkennen. Der Peak der Meiofauna auf Station 14 zeigt ein Biomassemaximum bei einer um eine Zehnerpotenz kleineren Größenklasse, bei der Makrofauna macht diese

Verschiebung ca. eine halbe Zehnerpotenz aus. Die Bakterien waren von dieser Verschiebung nicht betroffen. Größenklassenverteilung und Biomasse waren bei beiden Stationen ähnlich.

Aufgrund des Vergleichs verschiedener Stationen ist es allerdings nicht möglich, eine eindeutige Aussage bezüglich des Einflusses von Öl auf die Größenklassenzusammensetzung der benthischen Makrofauna zu treffen, da alle untersuchten Sedimente belastet waren. Aufgrund der Verschiebung des Größenklassenspektrums im Vergleich zur generellen Größenklassenverteilung kann jedoch davon ausgegangen werden, daß die heutige Zusammensetzung der benthischen Fauna durch eine permanente Ölverschmutzung beeinflusst ist. Weitere Untersuchungen, besonders auch parallele Probenahme aus unbelasteten Gebieten, sind vonnöten, um die hier aufgestellten Thesen zu bestätigen.

Literatur

- ALTENBACH, A. V. 1985. Die Biomasse von benthischen Foraminiferen. Diss. Univ. Kiel
- ANDRASSY, I. 1956. Die Rauminhalts- und Gewichtsbestimmung der Fadenwürmer (Nematoden). Acta zool. Hung., 11: 1-5.
- ANKAR, S. 1979. Annual dynamics of a northern Baltic soft bottom. In: E. Naylor and R. G. Hartnoll (ed.). Cyclic phenomena in marine plants and animals. Pergamon Press. New York. N.Y.
- ELMGREN, R. and J. B. FRITHSEN. 1982. The use of experimental ecosystems for evaluating the environmental impacts of pollution: A comparison of an oil spill in the Baltic Sea and two long term, low level oil addition experiments in mesocosms. In: Grice, G. D. and M. R. Reeve (eds). Marine mesocosms - biological and chemical research in experimental ecosystems. Springer Verlag, New York: 153-165.
- FRITHSEN, J. B., R. Elmgren and D. T. Rudnick. 1985. Responses of benthic meiofauna on long-term, low-level additions of No. 2 fuel oil. Mar. Ecol. Progr. Ser. 23: 1-14.
- GERLACH, S. 1978. Food-chain relationships in subtidal silty sand marine sediments and the role of meiofauna in stimulating bacterial productivity. Oecologia 33: 55-69.

- GRASSLE, J. F., R. ELMGREN and J. P. GRASSLE. 1981. Response of benthic communities in MERL experimental ecosystems to low level, chronic additions of No. 2 fuel oil. *Mar. environ. Res.* 4: 279-297.
- HARGRAVE, B. T. and H. THIEL. 1983. Assessments of pollution-induced changes in benthic community structure. *Mar. Pollut. Bull.* 14: 41-46.
- HEIP, C., R. M. WARWICK, M. R. CARR, P. M. J. HERMAN, R. HUYS, N. SMOL and K. VAN HOLSBEKE. (1988). Analysis of community attributes of the benthic meiofauna of Friersfjord/Langesundfjord. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 46: 171-180.
- MURRAY, J. W. 1973. Distribution and ecology of living benthic foraminifera. HEB, Heinemann Educational Books Ltd., London.
- PILNAY, C., L. THOMSEN and A. V. ALTENBACH. 1989. Methodische Ansätze zur Biomassebestimmung mittels biochemischer Parameter und der computergestützten Bildanalyse. *Ber. SFB 313, Nr. 19.*
- SHELDON, R. W., A. PRAKASH and W. H. SUTCLIFFE JR. 1972. The size distribution of particles in the ocean. *Limnol. Oceanogr.* 17: 327-340.
- SCHWINGHAMER, P. 1981. Characteristic size distributions of integral benthic communities. *Can J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 1255-1263.
- SCHWINGHAMER, P. 1983: Generating ecological hypotheses from biomass spectra using causal analysis: a benthic example. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 13: 151-166.
- SCHWINGHAMER, P. 1988. Influence of pollution along a natural gradient and in a mesocosm experiment on biomass-size spectra of benthic communities. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 46: 199-206.
- THOMSEN, L. 1991. Treatment and splitting of samples for bacteria and meiofauna biomass determinations by means of a semi- automatic image analyse system. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 71: 301-306.
- WARWICK, R. M., J. R. JOINT and P. J. RADFORD. 1979. Secondary production of the benthos in an estuarine environment. In: R. L. Jeffries and A. J. Davy (ed). *Ecological processes in coastal environments.* Blackwell Scientific Publication. London.

WARWICK, R. M., M. R. CARR, K. R. CLARKE, J. M. GEE and R. H. GREEN. 1988. A mesocosm experiment on the effects of hydrocarbon and copper pollution on a sublittoral soft-sediment meiobenthic community. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 46: 181-191.

WESENBERG-LUND, E. 1949. Polychaetes of the Iranian Gulf. Reprint from: Danish investigations in Iran, Part IV. Copenhagen 1949.

8. Lebensspuren in den Sedimenten des Persischen Golfes

(Uwe Hentschke)

Vorbemerkungen

Die Beschreibung und Analyse von Bioturbationsstrukturen oder Lebensspuren ist seit langem eine bekannte Methode in der Geologie, um Paläo-Umweltbedingungen zu rekonstruieren (REINECK & SINGH 1980). Lebensspuren kennzeichnen die Aktivität von Organismen, die entweder auf oder dicht unter der Sedimentoberfläche leben. Aufgrund der Aktivität dieser Organismen werden die bestehenden Sedimentschichten deformiert und gestört. Die Art der Deformation kann einen Hinweis auf die Taxonomie und die Bedingungen geben, unter denen die Spuren gebildet wurden (BROMLEY 1991). Ein guter Erhaltungsgrad ist in der Regel in weichen Sedimenten gegeben.

Im Gegensatz zu harten Bestandteilen sind Spuren in Sedimenten immer autochthon und können daher wesentlich besser als andere Komponenten ein Abbild des Verhaltens der benthischen Biozönose liefern. Bereits SEILACHER (1953) zeigte auf, daß Bioturbationsstrukturen unter taxonomischen, ökologischen und stratigraphischen Gesichtspunkten interpretiert werden können. Die Möglichkeit, aus den Lebensspuren die rezenten bzw. subrezentem Umweltbedingungen der benthischen Lebensgemeinschaft zu rekonstruieren, war der Ansatz, die Kernproben aus dem Persischen Golf zu bearbeiten. In diesem Teilabschnitt steht die Frage im Vordergrund, ob mit der Belastung dieses speziellen marinen Ökosystems eine Änderung der benthischen Lebensgemeinschaft einhergeht und ob sich die dokumentierten Lebensspuren zu einer Interpretation im Hinblick auf eine Schadensbewertung heranziehen lassen.

Bei der Bearbeitung von Schlicksedimenten kann die physikalische Struktur des Sedimentes durch Röntgenaufnahmen dünner Schichten sichtbar gemacht werden. Mit Hilfe dieser Methode können prinzipiell zwei Organismtypen unterschieden werden:

- 1: Endobionten, die sich frei im Sediment bewegen und
- 2: gangbauende Organismen.

Während bisher die Bearbeitung der Radiographien visuell erfolgt, sollten hier einige Radiographien zusätzlich digitalisiert werden (HENTSCHE & TALMAT 1992), um die qualitativen Untersuchungen zu ergänzen. Aufgrund der kurzen Auswertephase beschränkt sich diese Untersuchung auf eine Analyse physikalischer Strukturmerkmale. Die Sedimentologie und Paläontologie sind ohnehin während der Meteor Expedition sehr ausführlich bearbeitet

worden, während Strukturuntersuchungen fehlen. Eine Analyse der Bioturbationsstrukturen ist um so wichtiger, da das gesamte Verteilungsmuster geochemischer Spurenelemente durch biogene Aufarbeitung stark geprägt wird. Bei einer Beurteilung möglicher Umweltveränderungen muß der physikalische Zustand des Sedimentes unbedingt berücksichtigt werden. Nach SARNTHEIN (1971) gibt die Verschleppung von Reliktmaterial einen Hinweis auf die mögliche stratigraphische Verunreinigung. Sie kann in einigen Fällen den Schichtumfang von 2,5 m übersteigen.

Ergebnisse

Das Hauptgemenge in der Toplage des Sedimentes im Untersuchungsgebiet besteht aus unregelmäßigem, chaotisch strukturierten Schill und Bruchschill. In bezug auf die Korngrößenverteilung weist das Material eine Differenzierung von feinkörnig im flachen Teil und grobkörnig im tieferen Teil auf, wie es bereits im Fahrtbericht beschrieben wurde. Muscheln in Lebendstellung wurden weder bei der Bearbeitung vor Ort noch bei der radiographischen Untersuchung beobachtet. Es fehlen ebenfalls Doppelklappen, die auf autochthones Material hinweisen würden. Aufgrund der chaotischen Struktur des Sedimentes sind in der Toplage mit Ausnahme der gangbauenden Thalassinoiden keine Lebensspuren erhalten. Aus einigen Wandungen dieser rezenten und subrezenten (inzwischen verfüllten) Gänge wurden Dünnschliffe hergestellt, um die Feinstruktur zu untersuchen. Die rezenten Gänge zeigen eine Kompaktion von feinkörnigerem Material im direkten Wandbereich (75 µm), der von einer Fe-Oxidschicht (5 µm) belegt ist. Es können mehrere, dünne Schichten parallel ausgebildet sein.

In einem weiteren Halo befinden sich mineralisierte Fe-Oxidaggregate, die mit der O₂ Diffusion im Gleichgewicht stehen und in Abhängigkeit von der Distanz zur Wandung zunehmend aufgelöst werden. Unter der Voraussetzung, daß viele Gangbauten vorhanden sind, durch die Wasser mit einer genügend hohen O₂-Konzentration fließt, ist eine Zufuhr von gelöstem Sauerstoff ins Sediment und damit ein aerober, mikrobieller Abbau von Ölderivaten auch in einem ansonsten von Natur aus anaeroben Milieu möglich. Eindeutige Lebensspuren sind erst am Kontakt zwischen der grobkörnigen Toplage und dem darunterliegenden sehr feinkörnigen, schluffigen Material nachweisbar und anhand einiger Plots dargestellt.

Gut dokumentiert ist die Verschleppung und Verfüllung von grobkörnigem Material aus der Toplage in die tieferen Schichten des Sedimentes. Die Gangformen sind typische Formen der Thalassoniidenbauten (Abb. 8.1). Erkennbar sind unterschiedliche Verfüllungsgrade der Bauten und eine unterschiedlich starke Kompaktion sowohl des Ganges, als auch der Gangwandung. Die Durchdringung des Sedimentes mit den Bauten erreicht in diesem Beispiel einen sehr hohen Grad, der auf ca. 25 % geschätzt werden kann. Bei dem zweiten

Lebensspurentyp (Abb. 8.2) handelt es sich höchstwahrscheinlich um die Fluchtspur eines Echinodermaten. Ganz sicher ist dies nicht, da die Spreiten schlecht erhalten sind. Größe und Form sprechen aber am ehesten für die genannte Tiergruppe. Diese Struktur ist eine typische Fluchtspur, die nach oben gerichtet ist. Der letzte Typ, der nur in den feinkörnigen, wechselgelagerten tiefen Schichten zu beobachten ist, sind Fluchtpuren von Polychaeten (Abb. 8.3). Die gerade, nach oben gerichtete Form und die geringe Größe von 2-3 mm Durchmesser sind typisch für Wurmgänge und sprechen für diesen Organismtyp. Er ist allerdings in den rezenten Sedimenten bei der Untersuchung vor Ort nicht mehr beobachtet worden.

Als letztes ist zu bemerken, daß kleinere tektonische Verwerfungen der Schichten zu beobachten sind. Auch hierdurch kommt es zu einer Deformation der Schichten, die aber nicht mit Lebensspuren verwechselt werden können. Diese Verwerfungen sind gering, sie bewegen sich maximal im cm-Bereich.

Bewertung der Ergebnisse

Im Gegensatz zum Material in der Toplage besteht das Sediment in den tieferen Lagen aus feinkörnigem Kalkschlamm, der teilweise eine Wechsellagerung aufweist. Der hohe Anteil an Bruchschill im Oberflächensediment, das Fehlen von Doppelklappen und die chaotische, regellose Struktur weisen auf hohe Sedimentationsraten bzw. Umlagerungsvorgänge hin und sind Anzeichen für einen allochthonen Ursprung. Offensichtlich ist das Milieu aufgrund der hohen Umlagerungs- oder Sedimentationsraten von vornherein ungünstig für die meisten Arten der benthischen Lebensgemeinschaft. Dies gilt besonders für die Polychaeten, die zwar in einigen Schichtpaketen verstärkt auftreten, aber rezent nicht mehr beobachtet wurden. Während in den Oberflächensedimenten hauptsächlich Maulwurfskrebse der Gattung Upogepia auftraten, handelt es sich bei den beobachteten Gangbauten, die etwas tiefer im Sediment lagen, um typische Thalassoniiden, wie z.B. Callianassa spec. Diese Art wurde in den Oberflächensedimenten nicht mehr beobachtet. Die Lebensspuren in den wechselgelagerten, feinkörnigen Schlämmen sind Fluchtpuren. Offensichtlich lassen sich komplexe oder kleine Gangsysteme in einem Milieu mit hoher Sedimentations- oder Umlagerungsdynamik nicht aufrechterhalten. Diese Faktoren können von Natur aus als limitierend für die Artenzusammensetzung einer Lebensgemeinschaft angesehen werden. Das Oberflächensediment ist stark mit Y-förmigen Gangsystemen von Maulwurfskrebsen der Gattung Upogepia durchsetzt. Aufgrund der hohen Sättigungswerte des Bodenwassers an gelöstem Sauerstoff, kann über diese Gangsysteme, wie an dem Auftreten der Fe-Oxide abzulesen ist, genügend Sauerstoff in das Sediment diffundieren, wobei die Transportprozesse von Schadstoffen in die Wassersäule aus dem Sediment durch die Fe-Oxidschicht, die bekanntermaßen stark adsorbierende und damit transporthemmende Eigenschaften aufweist, zu

diskutieren sind. Bei genügend hoher Anzahl an Gangsystemen ist die Möglichkeit eines schnellen, aeroben Abbaus von Ölderivaten auch im Sediment gegeben.

Ein kausaler Zusammenhang zwischen Ölverschmutzung und dem eventuellen Fehlen bestimmter Arten bedingt durch übermäßige Belastung des Ökosystems, kann über die Untersuchung der Lebensspuren in diesem Fall nicht hergestellt werden.

Literatur:

BROMLEY, R. G. (1991): Trace fossils: Biology and Taphonomy. Unwin & Hyman, London.

HENTSCHKE, U., TALMAT, A. (1992): A LowCost Optical Scanner for Sediment X-Radiographs. Sea Technology, No. 10: 65-68.

REINECK, H.E., SINGH, I.B. (1980): Depositional Sedimentary Environments. 2nd ed. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 549 pp.

SARNTHEIN, M. (1971): Oberflächensedimente im Persischen Golf und Golf von Oman. II. Quantitative Komponentenanalyse der Grobfraktion. Meteor Forsch.Ergebnisse, Reihe C, Nr.5, 1-113.

SEILACHER, A. (1953): Studien zur Palichnologie.N. Jb. Geol. Pal., Abh. 98: 87-124.

Danksagung

Mein Dank gilt den Mitarbeitern des GPI, Herrn Reimer und Frau Rehder, die bei der Präparation bzw. bei der Durchleuchtung der Proben maßgeblich beteiligt waren.

Tabelle:

Die Nummer in Spalte 1 kennzeichnet die Nummer der Radiographie. Sie stellt einen 25 cm langen, 10 cm breiten und 0.75 cm dicken Ausschnitt des Sedimentkerns dar.

Kernnummer 1/11

- 1: grobkörniger Schill bestehend aus Bruch und Einzelklappen. Lebendstellungen wurden nicht beobachtet. Regellose Orientierung. Mit zunehmender Tiefe wird das Material feinkörniger und der Grobschill nimmt ab.
- 2-7: feinkörniger, strukturloser Mergel mit wenig Schill
- 8-10: -"-
- 11: scharfer Horizont mit Muschel- und Polychaetenfluchtspuren
- 12-15: Schichtpakete mit Wechsellagerung und einigen Fluchtspuren wie oben.

Kernnummer 3/4

- 1-6: unregelmäßiges Sediment, wenig Schill, einige Upogepia-Spuren
- 7: leichte Laminierung
- 8: -"- , im unteren Bereich Thalassinoiden-Spuren
- 9-10: leichte Laminierung, keine Spuren, wenig Schill
- 11-14: viel Schill, regelloses Struktur
- 15-16: feinkörniger, unstrukturierter Mergel
- 17: wie 15, zusätzlich 1 Seeigelgang
- 18: wie 15

Kernnummer 13/5

- 1-3: kompakter, feinkörniger Mergel mit sehr schwacher Laminierung und wenig Schill
- 4: ein Thalassinoiden Gang, ansonsten wie oben
- 5-6: wie 1
- 7-8: einzelne Schillnester
- 9-12: einzelne Muschelklappen

- 13-15: unstrukturierter Mergel mit wenig Schill
- 16: enthält zusätzlich ein Thalassinoiden-Gang
- 17-21: wie 13

Kernnummer 14/10

- 1-6: besteht aus unregelmäßigem Schill.

Kernnummer 21/5

- 1-4: besteht aus unregelmäßigem Schill

Kernnummer 22/9

- 1-3: besteht aus unregelmäßigem Schill

Kernnummer 23/2

- 1-3: besteht aus unregelmäßigem Schill, an der Basis von 3 befindet sich ein scharfer Horizont mit
- 4-5: zahlreichen Thalassinoiden-Gängen, die einen feinkörnigen, leicht laminierten Mergel durchsetzen.
- 5-7: Die Gänge aus dem vorhergehenden Abschnitt sind nicht mehr zu beobachten. Das Material besteht aus leicht laminiertem Mergel.

Kernnummer 24/2

- 1-4: besteht aus unregelmäßigem Schill
- 5: leicht laminiertes Mergel mit Thalassinoiden-Gängen
- 6-7: durchsetzt mit Polychaeten-Fluchtspuren
- 8: Thalassinoiden-Gänge mit gekapptem Top, stark bioturbat
- 9-10: stark laminiert, keine Spuren

Kernnummer 25/1

- 1-2: besteht aus unregelmäßigem Schill, mit scharfer Grenze an der Basis zu laminiertem Material, das mit einigen
- 3: Thalassinoiden-Gängen durchsetzt ist.
- 4: Bioturbation durch Thalassinoiden ist durch Schillnester gekennzeichnet.

Kernnummer 26/9

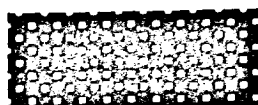
- 1: feinkörniger Mergel, der in der unteren Hälfte Schill enthält.
- 2: schillhaltiger, feinkörniger Mergel
- 3: Material wie oben, einzelne Polychaeten-Fluchtspuren
- 4-8: mit Thalassinoiden-Gängen
- 9-12: ohne Gänge, starke Schillanreicherung und
- 13: Thalassinoiden-Gänge
- 14-15: unregelmäßigem Schill

Optical density

LT. 1.30



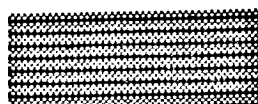
1.30-1.35



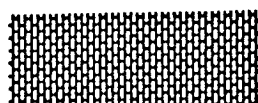
1.35-1.40



1.40-1.45



1.45-1.50



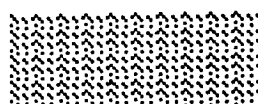
1.5 -1.6



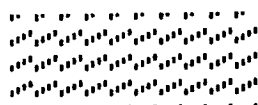
1.6 -1.7



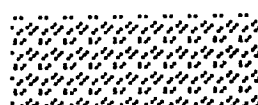
1.7 -1.8



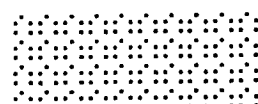
1.8 -1.9



1.9 -2.0



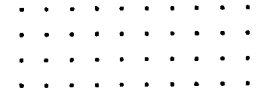
2.1 -2.2



2.2 -2.3



GT. 2.3



Legende

23/2-5

0 10 cm

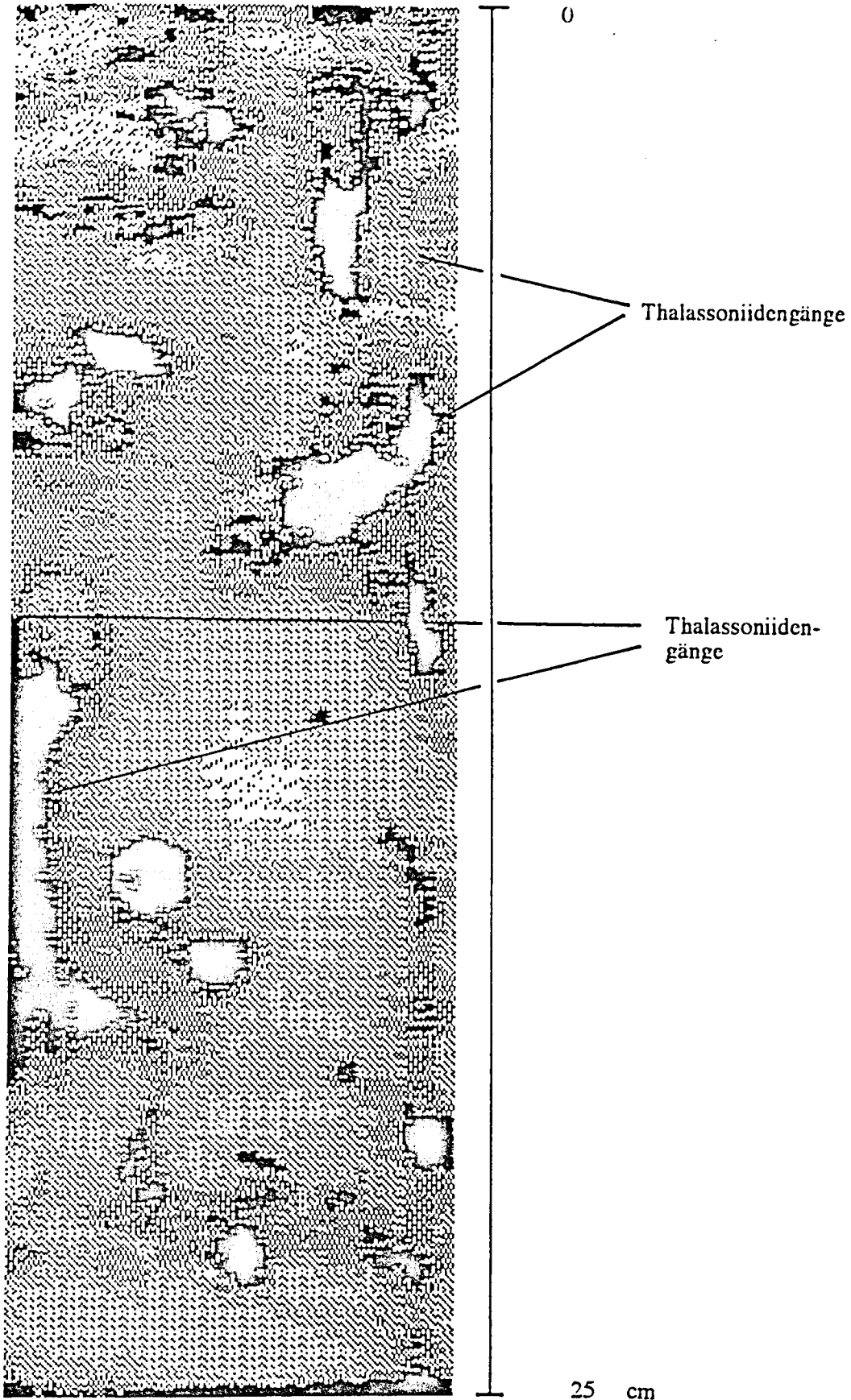


Abbildung 8.1

0 $\frac{3}{4}$ - 17 10 cm

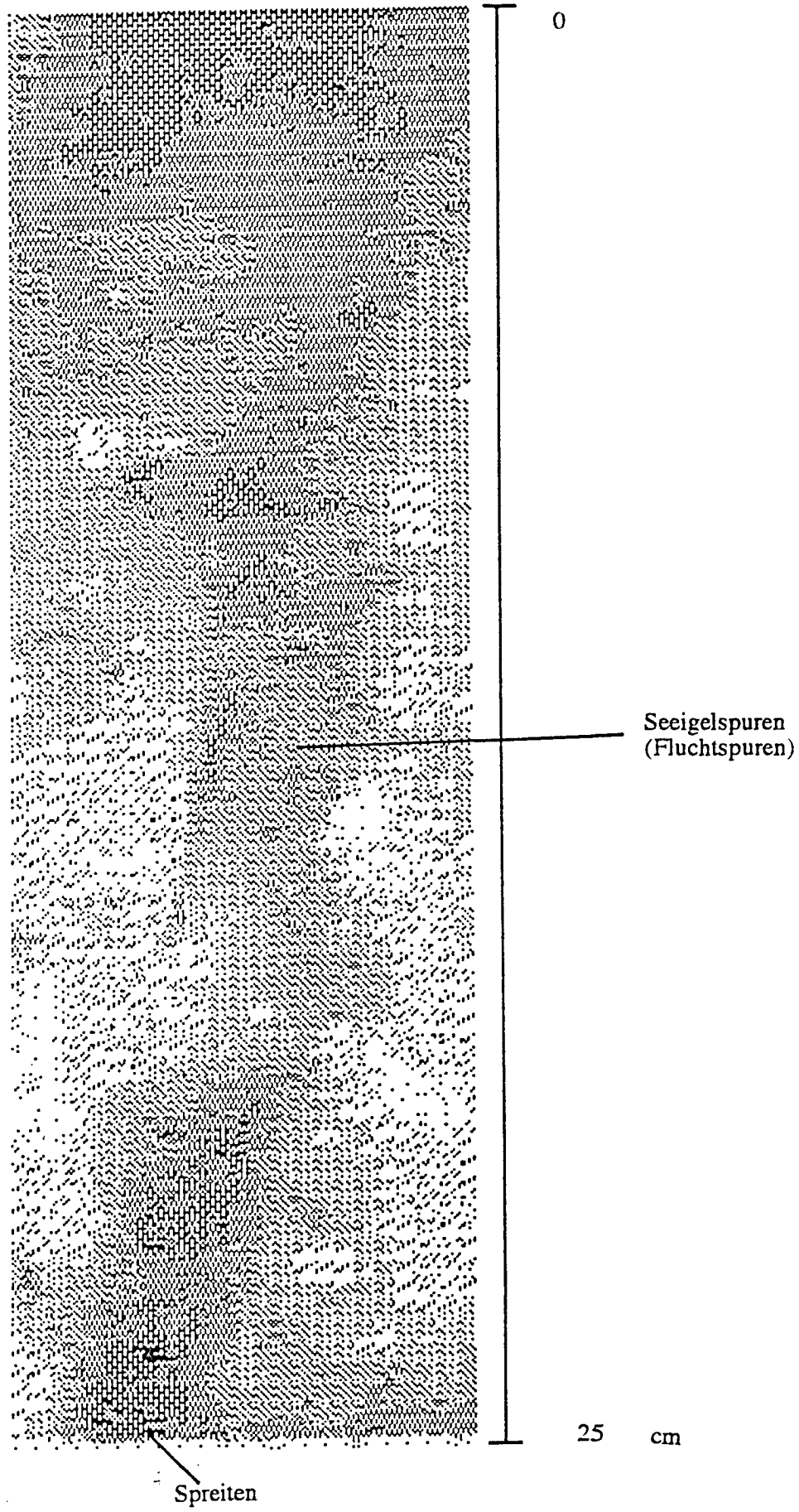


Abbildung 8.2

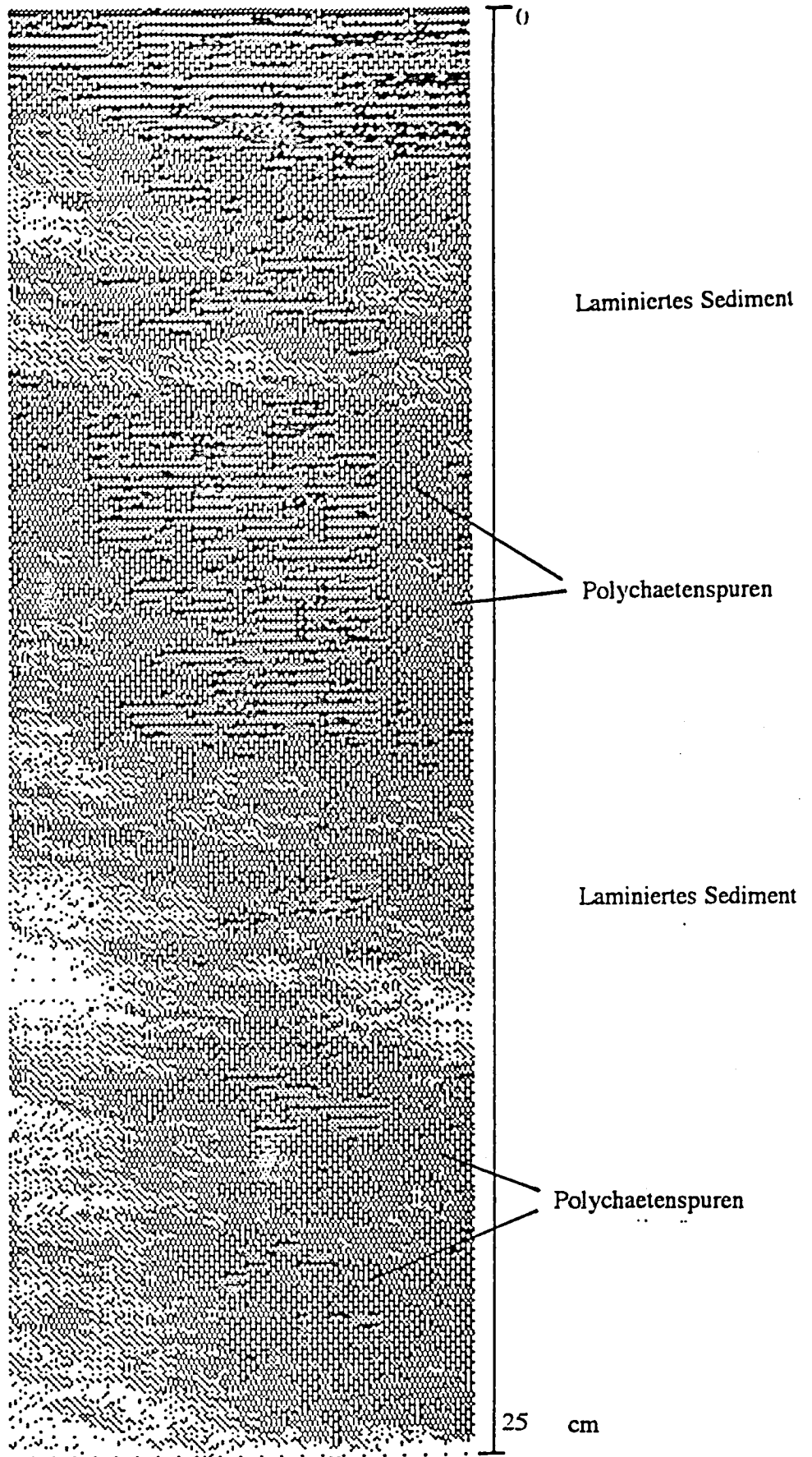


Abbildung 8.3

9. Änderung der Zuwachsrate bei Steinkorallen

(Wolf-Christian Dullo)

Steinkorallen weisen in der Regel eine deutliche Jahresbänderung innerhalb ihres Skelettzuwachses auf. Diese Jahresbänderungen, die mittels röntgenographischer Methoden (Radiographien) sichtbar gemacht werden können, entstehen durch unterschiedliche Dichten im Skelett (Knutson 1972, Budemeyer et al 1974, Hudson et al 1976, Pätzold 1984). Die sogenannten "high density bands" mit einem hohem Absorptionskoeffizienten werden während wärmerer Jahreszeiten gebildet, die "light density bands" dagegen während der kühleren Monate im Jahresgang, gleichwohl die zeitliche Zuordnung vielfach umstritten ist (Barnes et al. 1992, Bosscher 1992).

Die jährliche Zuwachsrate wird von mehreren äußeren Faktoren bestimmt, wobei die Temperatur sicherlich einen entscheidenden Faktor darstellt. Salinität und Nährstoffe spielen eine weitere Rolle und in besonderem Maß auch Licht, da die Mehrzahl der Steinkorallen in Symbiose mit Photosynthese betreibenden Zooxanthellen leben. Für die der röntgenographischen Wachstumsanalyse unterzogenen Arten, *Dendrophyllia horsti* und *Dendrophyllia spec.* des persischen Golfes ist letzter Faktor jedoch unbedeutend, da sie nicht zooxanthellat sind. Erhöhter Sedimenteintrag wirkt sich ebenfalls negativ auf die Zuwachsraten aus, bis hin zur vollkommenen Wachstumsunterbrechung (Bosscher 1992).

Drastische Änderungen der extern steuernden Faktoren können neben der Wachstumsunterbrechung sogenannte Streißbänderung hervorrufen (Hudson et al. 1976, Brown et al. 1986), die sich in mehrfachen Bänderungen innerhalb eines Jahres dokumentiert. Der kriegsbedingte Ölausfluß müßte sich, wenn das Benthos ernsthaft betroffen würde, in einer derartigen Streißbänderung äußern. Die Untersuchungen mittels Radiographien fielen jedoch negativ in der Gestalt aus, daß überhaupt keine klare Bänderung auszumachen ist. Präparate in unterschiedlicher Dicke brachten die gleichen negativen Resultate, so daß ein methodischer Fehler ausgeschlossen werden kann. Auch ist der bekannte Zuwachs bei dieser Koralle von wenigen mm/Jahr (Scheer und Pillai 1983) ausreichend, um eine röntgenographische Streifung zu erzeugen. Unter den azooxanthellaten aber auch den zooxanthellaten Vertretern der Steinkorallen gibt es immer wieder Ausnahmen, bei denen Wachstumsstreifung aus bisher unbekanntem Gründen (meist mikroarchitekturbedingt) ausbleiben kann.

Auf Grund der negativen Ergebnisse wurde in zahlreichen Proben die Kristallgröße der Skelettelemente der Sklerodermis bestimmt. Die typische Mikrostruktur der Steinkorallen besteht aus sphärolithischen Aragonitkristallen (Sorauf 1980), deren Größe innerhalb taxonomischer Einheiten des gleichen Environments (Art, Gattung oder Familie) eine definierte

Streubreite zeigt (Constantz 1986 Dullo 1986, 1987a), da die Biomineralisation noch von externen Faktoren mitbestimmt wird (Swart & Hubbard, 1982). Wird die Biomineralisation wie durch geänderte Umweltparameter beeinflusst, so wird sich das im Kristallgrößenspektrum (Keupp 1981) dokumentieren.

Die Ergebnisse der Kristallgrößenbestimmung am jüngsten Abschnitt (Abb 9.1) im Vergleich zum ältesten Abschnitt (Abb. 9.2) zeigt eine gewisse Vergrößerung, die auf eine reduzierte Biomineralisation während der allerjüngsten Zeit schließen lassen könnte. Auf der anderen Seite ist aber bekannt, daß der polykristalline Skelettkristall des Korallenskeletts sich noch im lebenden Zustand des Korallengewebes, aber im nicht mehr vom lebenden Gewebe bedeckten Skelett der Koralle vergrößern kann (Dullo 1987b). Die geringe Änderung insbesondere der Größenklassen 0,3 und 0.4 μm \varnothing und nicht derjenigen der größeren Kristalle von 0.6 μm \varnothing , ist daher als eine derartige "Sammelkristallisation" oder Kristallvergrößerung zu verstehen.

Es lassen sich somit keine klaren Hinweise auf eine Schädigung durch das eingeleitete Öl am Korallenwachstum nachweisen, sondern eher sogar ausschließen.

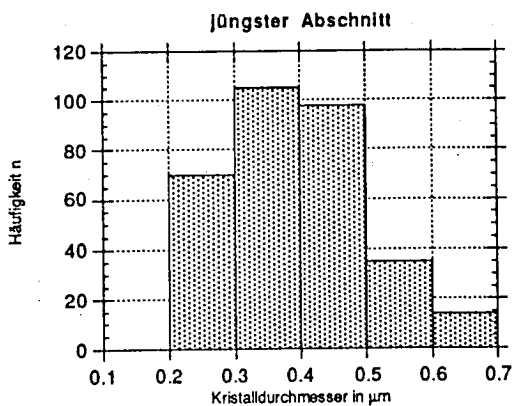


Abb. 9.1: Größenklassen der Sclerodermiskristalle im jüngsten Abschnitt von *Dendrophyllia horsti*, 322 Messungen.

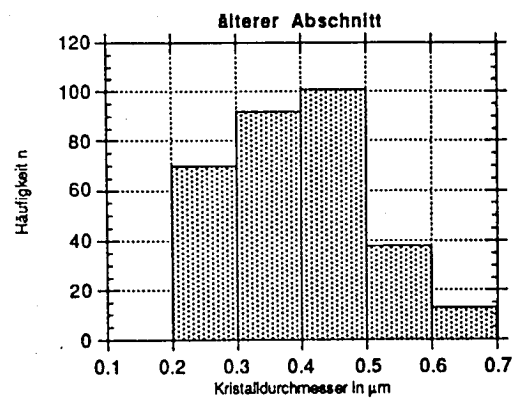


Abb. 9.2: Größenklassen der Sclerodermiskristalle im älteren Abschnitt von *Dendrophyllia horsti*, 318 Messungen.

Literatur:

- Barnes, D.J., Lough, J.M. & Taylor, R.B. (1992): Coral density banding - the mist is clearing. 7th International Coral Reef Symposium, p. 7 (abstract).
- Bosscher, H. (1992): Growth potential of coral reefs and carbonate platforms.- Academisch Proefschrift, Universität Amsterdam, 160 pp.
- Brown, B., Le Tissier, M., Howard, L.S. Charuchinda, M. & Jackson, J.A. (1986): Asynchronous deposition of dense skeletal bands in *Porites lutea*.- Marine Biology, v. 93, 83-89.
- Buddemeyer, R.W., Magros, J.E. & Knutson, D.W. (1974): Radiographic studies of reef coral exoskeletons: rates and patterns of coral growth. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, v. 14, 179-200.
- Constantz, B. (1986): The primary surface of corals and variations in their susceptibility to diagenesis.- In Schroeder, J.H & Purser, B. (eds.): Diagenesis of Reefs.- 53-76
- Dullo, W.-Chr. (1986): Variation in diagenetic sequences: An example from Pleistocene coral reefs, Red Sea, Saudi Arabia.- In Schroeder, J.H & Purser, B. (eds.): Diagenesis of Reefs.- 77-90.
- Dullo, W.-Chr. (1987a): The role of microarchitecture and microstructure in the preservation of taxonomic closely related scleractinians.- Facies v. 16, 11-22.
- Dullo, W.-Chr. (1987b): Fazies und Diagenese der pleistozänen Riffe der Ostküste des Roten Meeres, Saudi Arabien.- Habilschrift Universität Erlangen, 289 pp.
- Hudson, J.H., Shinn, E.A., Halley, R.B. & Lidz, B. (1976): Sclerochronology: a tool for interpreting past environments. Geology, v. 4, 361-364.
- Keupp, H. (1981): Die kalkigen Dinoflagellaten-Zysten der borealen Unter-Kreide (Unter-Hauterivium bis Unter-Albium).- Facies v. 5, 1-190.

- Knutson, D.W., Buddemeyer, R.W. & Smith, S.V. (1972): Coral chronometers: seasonal growth bands in reef corals. *Science*, v. 177, 270-272.
- Pätzold, J. (1984): Growth rhythms recorded in stable isotopes, and density bands in the reef coral *Porites lobata* (Cebu, Philippines).- *Coral Reefs*, 3: 87-89.
- Scheer, G. & Pillai, C.S.G. (1983): Report on the Stony Corals from the Red Sea.- *Zoologica*, v. 133, 1-190.
- Sorauf, J.E. (1980): Biomineralization, structure, and diagenesis of the coelenterate skeleton. *Acta Palaeontol. Polonica*, v. 25, 327-343.
- Swart, P. & Hubbard J.A.E.B. (1982): Uranium in scleractinian coral skeletons.- *Coral Reefs*, v. 1, 13-19.

10. Schlußfolgerungen

(Gerhard Graf)

Schadstoffe

Alle Stationen in den iranischen Gewässern des nördlichen Persischen Golfes weisen deutliche Spuren der Belastung mit Kohlenwasserstoffrückständen auf. Die Belastung war weniger deutlich im Bereich der leicht abbaubaren Alkane, wo Konzentrationen wie in anderen verschmutzten, küstennahen Sedimenten festgestellt wurden, als vielmehr ausgeprägt bei den polycyklischen-aromatischen Verbindungen. Hier lagen die Konzentrationen im tieferen Wasser des Persischen Golfes z.B. von Pyren, deutlich höher als kürzlich von Stationen unmittelbar vor der Küste Kuwaits und Saudi Arabiens berichtet wurde (c.f. Readman et al., 1992).

Quantitativ bedeutsam war eine Gruppe von Kohlenwasserstoffen, die noch nicht identifiziert werden konnte, aber eindeutig anthropogenen Ursprungs ist. Diese Verbindungen waren besonders auf den westlichen und zugleich tiefsten Stationen (21, 22 14) zu finden, an denen Ruß auf der Oberfläche beobachtet wurde, und auf denen teilweise ölähnliche Lagen im Sediment beschrieben wurden.

Geochemisch spiegelt sich diese Belastung mit Kohlenwasserstoffrückständen in einem atypischen Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis und in ungewöhnlich hohen Vanadiumkonzentrationen der Sedimente wieder. Ein Vergleich mit alten Sedimentkernen der METEOR-Reise 1965, zeigt, daß die Belastungen der Sedimentoberflächen mit kohlenstoffreichen Rückständen, vermutlich aus Öl stammend, und in einem Falle auch mit Vanadium, deutlich gestiegen sind. Eine genauere Datierung, seit wann die erhöhte Belastung besteht, kann aufgrund der hohen Bioturbation, die den Eintrag in das tiefer liegende Sediment bewirkt, nicht erstellt werden. Auf jeden Fall können diese Rückstände nicht nur auf die Einleitungen während des Golfkrieges zurückgeführt werden, sondern müssen vor dem Hintergrund eines ständigen Öleintrags in den Golf von jährlich 150 000 bis 200 000 m³ durch den Tankerverkehr und die Belastung durch den irakisch-iranischen Krieg, in dem Ölfördereinrichtungen und Tanker angegriffen wurden, und seines natürlichen Abbaues bewertet werden.

Sauerstoffbilanz

In den westlichen Stationen erreichen die Werte der Kohlenwasserstoffe mit $> 10 \mu\text{gg}^{-1}$ in den ansonsten an organischem Kohlenstoff armen Sedimenten den Prozentbereich. Dennoch kann ausgeschlossen werden, daß zum Zeitpunkt der Expedition (Dezember 1991) der

mikrobielle Abbau dieser Stoffe noch nennenswert die Sauerstoffzehrung des Sedimentes beeinflusst hat. Die ungewöhnlich hohen Zehrungswerte, die scheinbar nicht zu den oligotrophen Verhältnissen des nördlichen Golfes passen, müssen auf natürliche Prozesse zurückgeführt werden. Eine Erklärungsmöglichkeit besteht in den hydrographischen Bedingungen. Durch das Absinken der Wassermassen im nördlichen Golf wird eine ungewöhnlich schnelle Kopplung pelagischer und benthischer Prozesse erreicht, die die Versorgung der benthischen Organismen gewährleistet und einen Stoffabbau von teilweise $> 500 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ermöglicht. Der gleiche hydrographische Prozeß stellt sicher, daß die extrem hohen Zehrungswerte nicht zu Sauerstoffmangel am Meeresboden führen. Die Sättigungswerte lagen immer weit über 90%. In südlicheren und tieferen Gebieten müßten allerdings aufgrund der dort vorhandenen Schichtung erneut die Sauerstoffverhältnisse überprüft werden, da die sedimentologischen und hydrographischen Ergebnisse einen bodennahen Transport von partikelgebundenen Schadstoffen in südliche Richtung prognostizieren.

Veränderung des Ökosystems

Da aus dem Untersuchungsgebiet nur sehr wenig Vorkenntnisse existieren, ist eine Beurteilung über eine Systemveränderung schwierig. Aus älteren dänischen Arbeiten (Wesenberg-Lund, 1949), die leider keine quantitativen Daten enthalten, läßt sich immerhin schließen, daß früher große Polychaeten und Echinodermen im nördlichen Golf vorkamen, die auf dieser Expedition nicht mehr gefunden wurden. Die Lebensspurenanalysen kommen zu ähnlichen Ergebnissen. Die Analyse des Größenklassenspektrums belegt ebenfalls, daß im Vergleich zu anderen Ökosystemen die Gruppe der großen Tiere stark unterrepräsentiert und eine Verschiebung des Spektrums in Richtung auf kleinere Organismen erfolgt ist. Die Sedimente des nördlichen Golfes werden von der Biomasse der Bakterien dominiert, die an einigen Stationen zwei Zehnerpotenzen größer als die der Makrofauna ist. Innerhalb der Bakterien zeichnet sich ein Maximum bei größeren Bakterien ab, ein Befund, der auf sehr aktive Mikroorganismen hindeutet, die hauptverantwortlich für die hohe Sauerstoffzehrung sein werden.

Die noch vorhandene Makrofauna, wie z.B. die Maulwurfskrebse, scheint durch die Verschmutzung wenig beeinträchtigt zu sein. Auch die Analyse der Wachstumsringe der Steinkorallen zeigt keine wesentliche Wachstumsbeeinträchtigung.

Die Verschiebung im Größenklassenspektrum im Verbund mit den wenigen alten Beobachtungen sprechen jedoch für eine deutliche Veränderung des Ökosystems im nördlichen Persischen Golf.

Literatur

- Wesenberg-Lund, E. 1949: Polychaetes of the Iranian Gulf. Danish Scientific Investigations in Iran, Part IV, Ejnar Munkgaard, Copenhagen
- Readman, J.W., Fowler, S.W., Vileneuve, J.-P., Cattini, C. Oregioni, B., Mee, L.D. 1992. Oil and combustion-product contamination of the Gulf marine environment following the war. Nature, Vol. 358, 662-665.

11. Abstract

This GEOMAR REPORT 15 summarizes the results of the projects "The Persian Gulf: environmental risk, damage assessment and damage evaluation based on studying the sea-floor" and "Recognition of environmental changes after oil pollution" funded by the German Federal Ministry of Research and Technology (BMFT). The results are based on investigations in the Persian Gulf during a cruise with the chartered Bulgarian research vessel "Akademik" from November 30 to December 21, 1991, and on resampling the stations of stored sediment cores taken during the "RV Meteor" cruise in 1965.

Following conclusions can be drawn:

Pollutants

All the stations visited in the Persian Gulf show contamination by hydrocarbons. The concentrations of easily degradable alkanes are comparable to other polluted coastal sediments, whereas contamination by polycyclic aromatic components is significantly increased in deeper waters of the Persian Gulf, e.g., around Pyren, compared to stations off the coast of Kuwait or Saudi Arabia (Readman et al, 1992).

An array of hydrocarbon components, yet unidentified, but of anthropogenic origin, appears to be a major pollutant. These substances were frequently found at the westernmost and deepest stations (21, 22, 14), where coal particles were floating at the sea surface and the sediments contained layers showing oil contamination.

Contamination by hydrocarbons is reflected in unusually high carbon-nitrogen ratios and high concentrations of vanadium in the sediments. The comparison with sediment cores taken in 1965 revealed a significant increase in hydrocarbon and vanadium concentrations, presumably of oil origin. Mixing of the pollutants in sediments due to bioturbation hinders the exact evaluation of the pollution's time frame. Evaluating the present situation, the permanent input of up to 200,000 m³ of crude oil into the Persian Gulf by shipping and the consequences of the former Iraq-Iranian war have to be considered.

Oxygen demand

Although the hydrocarbons contribute with more than 10 μgg^{-1} , equivalent to about 1%, to the organic carbon pool of normally oligotrophic sediments at the western stations, the microbial degradation of the pollutants appears to be insignificant for the sediment's oxygen budget in December 1991. Unusually high values of oxygen demand for an otherwise oligotrophic environment have to be dominated by natural processes. The hydrographic situation of deep-water formation in the northern Gulf area supports the benthic community

with food and oxygen (O_2 -saturation > 90%). A tight benthic-pelagic coupling with a daily consumption of 500 mgCm^{-2} in the benthos appears to be reasonable.

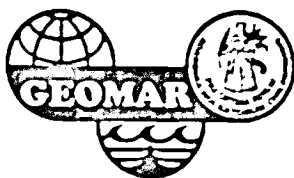
The situation of the southern deeper stations demands a reevaluation, since the hydrographic and sedimentologic results suggest a near bottom transport of particle bound pollutants in this direction.

Environmental changes

Due to the fact that previous knowledge of the Persian Gulf's ecosystem is very sparse, an evaluation of environmental changes appears difficult. Wesenberg-Lund 1949 described the presence of large polychaets and echinoderms. None of them was found in the area investigated in 1991. The analysis of "Lebensspuren" reveals the same result. A significant shift towards small organisms is apparent in the benthic community. Large macrofauna organisms are very sparse. Bacteria dominate the benthic biomass and exceed the macrofauna biomass by two orders of magnitude at some stations. Within the bacteria a shift towards large bacteria indicates a highly active microbial community, which appears to be mainly responsible for the high oxygen demand of the sediments.

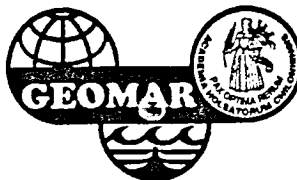
The still existing macrofauna like thalassionid crustaceans appears to be only slightly affected by the oil pollution. Corals do not show any change of growth rates based on skeleton structure.

Comparing the few existing data the shift in size distribution in the benthic community implies a change of the ecosystem in the northern Persian Gulf.



GEOMAR REPORTS

- 1 GEOMAR FORSCHUNGSZENTRUM FÜR MARINE GEOWISSENSCHAFTEN
DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL
BERICHT FÜR DIE JAHRE 1987 UND 1988. 1989.
- 2 GEOMAR FORSCHUNGSZENTRUM FÜR MARINE GEOWISSENSCHAFTEN
DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL
JAHRESBERICHT / ANNUAL REPORT 1989. 1990.
- 3 GEOMAR FORSCHUNGSZENTRUM FÜR MARINE GEOWISSENSCHAFTEN
DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL
JAHRESBERICHT / ANNUAL REPORT 1990. 1991.
- 4 ROBERT F. SPIELHAGEN
DIE EISDRIFT IN DER FRAMSTRASSE WÄHREND DER LETZTEN 200.000 JAHRE. 1991.
- 5 THOMAS C. W. WOLF
PALÄO-OZEANOGRAPHISCH-KLIMATISCHE ENTWICKLUNG DES NÖRDLICHEN NORDATLANTIKS
SEIT DEM SPÄTEN NEOGEN (ODP LEGS 105 UND 104, DSDP LEG 81). 1991.
- 6 SEISMIC STUDIES OF LATERALLY HETEROGENEOUS STRUCTURES - INTERPRETATION AND
MODELLING OF SEISMIC DATA . Edited by ERNST R. FLUEH
Commission on Controlled Source Seismology (CCSS), Proceedings of the 8th Workshop Meeting,
held at Kiel - Fellhorst (Germany), August 27 - 31, 1990. 1991.
- 7 JENS MATTHIESSEN
DINOFAGELLATEN-ZYSTEN IM SPÄTQUARTÄR DES EUROPÄISCHEN NORDMEERES:
PALÖKOLOGIE UND PALÄO-OZEANOGRAPHIE. 1991.
- 8 DIRK NÜRNBERG
HAUPT- UND SPURENELEMENTE IN FORAMINIFERENGHÄUSEN - HINWEISE AUF KLIMATISCHE
UND OZEANOGRAPHISCHE ÄNDERUNGEN IM NÖRDLICHEN NORDATLANTIK WÄHREND DES
SPÄTQUARTÄRS. 1991.
- 9 KLAS S. LACKSCHEWITZ
SEDIMENTATIONSPROZESSE AM AKTIVEN MITTELOZEANISCHEN KOLBEINSEY RÜCKEN
(NÖRDLICH VON ISLAND). 1991.
- 10 UWE PAGELS
SEDIMENTOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN UND BESTIMMUNG DER KARBONATLÖSUNG IN
SPÄTQUARTÄREN SEDIMENTEN DES ÖSTLICHEN ARKTISCHEN OZEANS. 1991.
- 11 FS POSEIDON - EXPEDITION 175 (9.10.-1.11.1990)
175/1: OSTGRÖNLÄNDISCHER KONTINENTALRAND (65° N)
175/2: SEDIMENTATION AM KOLBEINSEYRÜCKEN (NÖRDLICH VON ISLAND)
Hrsg. von J. MIENERT und H.- J. WALLRABE-ADAMS .1992.
- 12 GEOMAR FORSCHUNGSZENTRUM FÜR MARINE GEOWISSENSCHAFTEN
DER CHRISTIAN-ALBRECHTS-UNIVERSITÄT ZU KIEL
JAHRESBERICHT / ANNUAL REPORT 1991. 1992.



GEOMAR REPORTS

- 13 SABINE E.I. KÖHLER
SPÄTQUARTÄRE PALÄO-OZEANOGRAPHISCHE ENTWICKLUNG DES
NORDPOLARMEERES UND EUROPÄISCHEN NORDMEERES ANHAND VON
SAUERSTOFF- UND KOHLENSTOFF-ISOTOPENVERHÄLTNISSEN DER
PLANKTISCHEN FORAMINIFERE *Neoglobobulimina pachyderma* (sin.). 1992.
- 14 FS SONNE - FAHRTBERICHT SO 78 PERUVENT
BALBOA, PANAMA - BALBOA, PANAMA, 28.2.1992-16.4.1992
Hrsg.von ERWIN SUESS. 1992.
- 15 FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PALEOCEANOGRAPHY (ICP IV)
SHORT - AND LONG TERM GLOBAL CHANGE: RECORDS AND MODELLING
21-25 SEPTEMBER 1992, KIEL/GERMANY
PROGRAM & ABSTRACTS. 1992.
- 16 MICHAELA KUBISCH
DIE EISDRIFT IM ARKTISCHEN OZEAN WÄHREND DER LETZTEN
250.000 JAHRE. 1992.
- 17 PERSISCHER GOLF:
- Umweltgefährdung, Schadenserkenung, Schadensbewertung
am Beispiel des Meeresbodens
- Erkennen einer Ökosystemveränderung nach Öleinträgen
Schlußbericht zu den beiden BMFT - Forschungsvorhaben 03F0055 A+B. 1993.