BERICHTE
aus dem Fachbereich Geowissenschaften
der Universität Bremen

Nr. 25

Schulz, H.D., D. Beese, M. Breitzke, L. Brück, B. Brügger, A. Dahmke, K. Dehning, V. Diekamp, B. Donner, I. Ehrhardt, H. Gerlach, M. Giese, R. Glud, R. Gumprecht, J. Gundersen, R. Henning, S. Hinrichs, H. Petermann, M. Richter, J. Sagemann, W. Schmidt, R. Schneider, M. Scholz, M. Segl, U. Werner, M. Zabel

BERICHT UND ERSTE ERGEBNISSE ÜBER DIE METEOR-FAHRT M 20/2

ABIDJAN - DAKAR, 27.12.1991 - 3.2.1992.

Berichte, Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen, Nr. 25,
173 S., 131 Abb., 8 Tab., Bremen 1992.

ISSN 0931-0800

INHALT Seite

1. Teilnehmer 3

2. Forschungsprogramm 4

3. Ablauf der Reise 10

4. Durchgeführte Arbeiten und erste Ergebnisse 12

4.1 Profilierende Schiffsmessungen 12

4.1.1 HYDROSWEEP 12

4.1.2 PARASOUND 13

4.1.2.1 Profile 13

4.1.2.2 Registrierparameter und vorläufiges Prozessing an Bord 14

4.1.2.3 Beispiele 15

4.1.2.4 Zusammenfassung 39

4.2 Geräteeinsatz und Probennahme im Sediment 39

4.2.1 Großkastengreifer 40

4.2.2 Multicorer 47

4.2.3 Schwerelote 48

4.3 Stratigraphie und Smear Slide - Analyse 51

4.4 Profilierende CTD-Messungen 80

4.5 Planktonprobennahme aus der Wassersäule 87

4.6 Verankerungen 91

4.7 Wasserproben zur Messung stabiler Isotope 91

4.8 Sedimentphysik 95

4.8.1 Meßmethoden 95

4.8.2 Meßergebnisse 97

4.8.3 Zusammenfassung 112

4.9 Porenwasserchemie 115

4.9.1 Untersuchungsmethodik 115

4.9.2 Erste Ergebnisse 119

4.10 Biogeochemistry: Oxygen and pH-measurements in the sediment 136

4.10.1 Background 136

4.10.2 Methods 137

4.10.3 First Results 140

4.11 Mikrobiologie 148

4.11.1 Probenaufbereitung 148

4.11.2 Erste Ergebnisse 149

4.12 Magnetische Bakterien 159

4.12.1 Einleitung 159

4.12.2 Probennahme und Probenbearbeitung 160

4.12.3 Ergebnisse 167

5. Literatur 172

6. Danksagung 173

1. Teilnehmer

Name	Fachgebiet	Institut
Beese, Detlef, Stud.	Geräteeinsatz	GeoB
Breitzke, Monika, Dr.	Geophysik	GeoB
Brück, Liane, techn. Ang.	Geophysik	GeoB
Brügger, Barbara, techn. Ang.	Geologie	GeoB
Dahmke, Andreas, Dr.	Geochemie	GeoB
Dehning, Klaus, techn. Ang.	Geräteeinsatz	GeoB
Diekamp, Volker, techn. Ang.	Geologie	GeoB
Donner, Barbara, Dr.	Mikropaläontologie	GeoB
Erhardt, Isabel, Dipl.-Geol.	Geologie	GeoB
Gerlach, Heidrun, Dipl.-Biol.	Mikrobiologie	UBBC
Giese, Martina, Dr.	Geologie	GeoB
Glud, Ronnie, Dipl.-Biol.	Biogeochemie	UniA
Gumprecht, Ralph, Dipl-.Biol.	Mikrobiologie	UBBC
Gundersen, Jens, Dipl.-Biol.	Biogeochemie	UniA
Henning, Renate, techn. Ang.	Geochemie	GeoB
Hinrichs, Sigrid, techn. Ang.	Geochemie	GeoB
Petermann, Harald, Dipl.-Geophys.	Geophysik	GeoB
Richter, Martina, Dipl.-Geophys.	Geophysik	GeoB
Sagemann, Jens, Dipl.-Geol.	Geochemie	GeoB
Schmidt, Werner, Stud.	Geräteeinsatz	GeoB
Schneider, Ralph, Dr.	Geologie	GeoB
Scholz, Maike, techn. Ang.	Geologie	GeoB
Schulz, Horst D., Prof. Dr. (Fahrtleiter)	Geochemie	GeoB
Segl, Monika, Dr.	Geologie	GeoB
Werner, Ulrich, Stud.	Geochemie	GeoB
Zabel, Matthias, Dipl.-Geol.	Geochemie	GeoB

GeoB Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen
Klagenfurter Straße, D 2800 Bremen 33

UBBC Mikrobiologie, Fachbereich Biologie/Chemie, Universität Bremen
Leobenerstraße, D 2800 Bremen 33

UniA Department of Ecology and Genetics, University of Aarhus,
Ny Munkegade, Building 550, DK 8000 Aarhus C, Denmark

2. Forschungsprogramm

Das Hauptziel des zweiten Fahrtabschnittes während der METEOR-Expedition Nr. 20 waren die Sedimente der Hochproduktionsgebiete im Bereich der Flußmündungen von Niger, Kongo und Kunene sowie ganz besonders des Benguela-Auftriebsgebietes vor der Küste von Namibia. Abbildung 1 zeigt als Übersichtskarte den Kurs des Schiffes sowie die Lage der bearbeiteten Kernstationen und Profile. Dabei wurden geologische, geochemische, geophysikalische, mikrobiologische und biogeochemische Fragestellungen von den verschiedenen Gruppen an Bord verfolgt, auf die im folgenden näher eingegangen wird:

Geologie, Sedimentologie

Neben der Gewinnung von Kernmaterial wurde während des Fahrtabschnittes M 20/2 eine Verankerung mit Sedimentfallen und Strömungsmessern auf dem Walfisch-Rücken aufgenommen und zwei entsprechende Verankerungen auf dem südlichsten Profil C neu ausgelegt. Aus den Daten dieser Verankerungen sowie aus der Bearbeitung der Sedimente werden Informationen zur Saisonalität der Partikelproduktion im Bereich des Benguela-Stromsystems und unter dem Einfluß des küstennahen Auftriebs von nährstoffreichem Wasser erwartet.

An dem Sedimentfallen-Material soll die Artenzusammensetzung planktischer Organismen (Pteropoden, Foraminiferen, Radiolarien, Coccolithophoriden, Diatomeen) mit ihrer chemischen und isotopischen Zusammensetzung sowie die Zusammensetzung der organischen Substanz und des terrigenen Materials bestimmt werden, um Signale für jahreszeitliche Schwankungen der für die Sedimentbildung wichtigen Faktoren zu finden. Diese Untersuchungen sind die Voraussetzung dafür, die Lage der Stromsysteme und frühere Produktionsverhältnisse im Südatlantik aus den Sedimenten ablesen zu können.

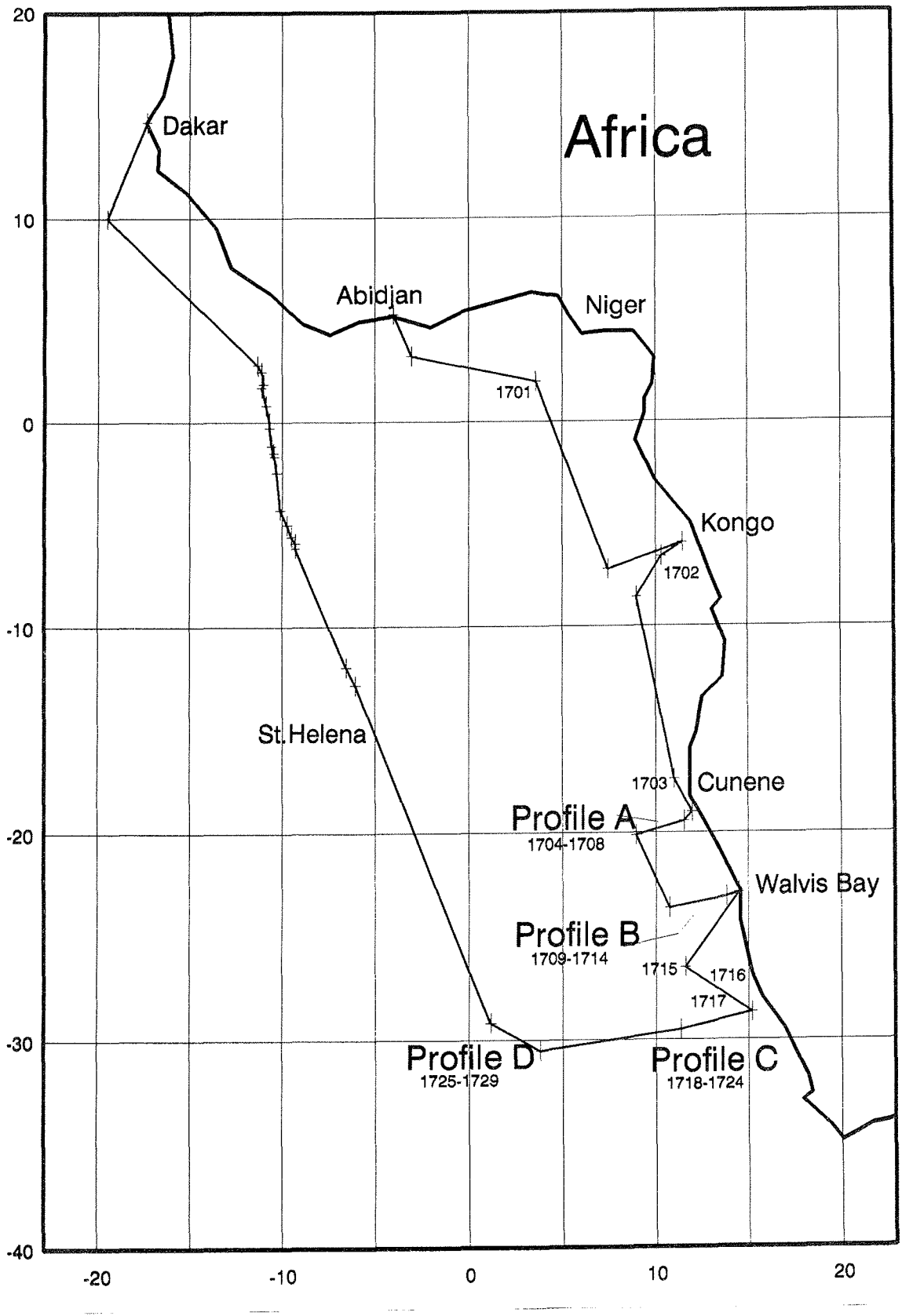


Abb. 1: Fahrtroute der METEOR-Reise Nr. 20/2.

Durch eine detaillierte chemische und isotopische Charakterisierung der organischen Substanz in Sinkstoffen und in Sedimenten soll u.a. festgestellt werden, welcher Anteil der "neuen Produktion" in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Ausgangsmaterials und von anderen Randbedingungen (Einbettungsrate im Sediment, Porenwassermilieu) schließlich im Sediment erhalten bleibt. Darüber hinaus sollen Untersuchungen an Sedimenten aus den küstennahen Auftriebsgebieten vor Angola und Namibia zeigen, wie hoch die terrigenen organischen Anteile sind und in welchem Maße sich diese während der Diagenese relativ anreichern. Ein besseres Verständnis dieser Zusammenhänge sollte schließlich auch zu einer Verbesserung der bisherigen Ansätze zur Rekonstruktion der Paläoproduktivität führen.

Die Geschichte der Lage des Benguelastroms mit der Temperaturverteilung des Oberflächenwassers soll mit Hilfe der Artenverteilung planktischer Organismen, mit ihrer Verteilung stabiler Sauerstoffisotope sowie Alkenon-Analysen, die die Rekonstruktion der Temperatur des Oberflächenwassers erlauben, erfaßt werden. Insbesondere sollen die Änderungen zwischen Glazialzeiten und Interglazialzeiten und ihre Abbildung in der Arten- und Isotopenzusammensetzung planktischer Organismen erforscht werden. Mit dem zu erwartenden Material werden sich vor allem die Veränderungen des Auftriebs in Lage und Intensität beschreiben lassen.

Geophysik

Die akustischen Bordsysteme wurden in allen Arbeitsgebieten der Expeditionen M 20 kontinuierlich eingesetzt. Vor Ort sollte eine Übersicht der morphologischen Gesamtsituation durch das Fächerecholot HYDROSWEEP und der oberflächennahen Sedimentstrukturen durch das PARASOUND-Echolot die Grundlage bilden für eine geeignete Auswahl und Positionierung der Kernstationen. Grundsätzlich wurde angestrebt, den Einsatz der PARASOUND-Anlage noch weiter zu optimieren und die neu entwickelte digitale Datenerfassung abschließend zu testen.

Für das gesamte Kernmaterial wurden hochauflösende Messungen (Kernlogs) der Kompressions-Wellengeschwindigkeit und der magnetischen Suszeptibilität sowie ergänzend an ausgewählten Kernen der elektrischen Leitfähigkeit und der Wärmeleitfähigkeit durchgeführt. Diese Arbeiten erfolgten in größtmöglichem Umfang bereits an Bord, um so in optimaler Näherung die in-situ Bedingungen erfassen zu können. Zusammen mit weiteren sedimentphysikalischen Basisparametern dienten diese Ergebnisse einmal dazu, die profilierenden Schiffsmessungen über synthetische Seismogramme quantitativ zu interpretieren. Darüber hinaus haben sich insbesondere aus gesteinsmagnetischen Datensätzen bereits sehr interessante Ansätze für paläoklimatisch und paläozeanographisch geprägte Varianten ergeben, die nunmehr in weiteren Einzelheiten charakterisiert werden sollen. In enger Kooperation mit biostratigraphischen und isotopenstratigraphischen

Methoden war ein weiteres Ziel, durch paläomagnetische Analysen den notwendigen chronostratigraphischen Rahmen für alle übrigen Untersuchungen zu erarbeiten.

Geochemie

Die Untersuchungen, die in das JGOFS-Programm und in den SFB 261 "Der Südatlantik im Spätquartär" eingebunden sind, konzentrieren sich im wesentlichen auf zwei Ziele:

1. Messung der diffusiven Stoff-Flüsse und geochemischen Prozesse an der Sediment/Bodenwasser Grenzschicht, insbesondere in dem biologischen Hochproduktionsgebiet des Benguelastrom-Auftriebes.

Möglichst an allen Kernstationen - auch dort wo Schwerelotkerne aus Zeitgründen nicht geochemisch bearbeitet werden konnten - wurden die oberflächennahen Stoff-Flüsse sowie die Flüsse durch die Grenzschicht an den Kernen des Multicorers und/oder des Großkastengreifers für die C-Spezies und die Nährstoffe über die Gradienten im Porenwasser erfaßt. Diese Daten sollen besonders im Rahmen des JGOFS-Programms verwendet werden und unabhängig davon den Vergleich mit den Ergebnissen der mikrobiologischen und der biogeochemischen Gruppen (siehe unten) ermöglichen.

2. Messung und Beprobung von tieferen Sedimentprofilen zur Erfassung der frühdiagenetischen Umwandlungsprozesse. Besonderes Interesse besteht dabei an den aus den Porenwasserdaten ableitbaren C_{org}-Abbauraten und dem vermuteten diffusiven S-Kreislauf in den anoxischen Bereichen der Sedimente von Auftriebsgebieten. Weiterhin soll der Einfluß frühdiagenetischer Prozesse auf die Erhaltung oder Überprägung sogenannter Paläosignale untersucht werden.

Durch eine detaillierte Messung der Konzentrationsgradienten im Porenwasser sowie durch entsprechende Analysen der sedimentären Festphasen sollten die komplexen Prozesse der Frühdiagenese in Sedimenten aus Hochproduktionsgebieten quantifiziert werden, um mit den Ergebnissen bereits bestehende geochemische Modelle zur Frühdiagenese zu verifizieren und wo nötig, zu erweitern. Im Unterschied zu vorausgegangenen Fahrten sollten an Bord sofort im Kühlraum und unter Inertatmosphäre Festphasen-Proben entnommen und ohne Sauerstoff-Kontakt gefroren bis zur sequentiellen Analytik bzw. Mösbauerspektrometrie im Labor aufbewahrt werden.

Ein weiterer Untersuchungsschwerpunkt war die bereits an einzelnen anderen Kernen aus dem Hochproduktionsgebiet festgestellte, ungewöhnlich tiefe Lage der Sulfatreduktionszone. Hier wurde insbesondere der Frage nachgegangen, ob und inwieweit durch "reaktive" Eisenoxide die Sulfatreduktion inhibiert werden kann oder ob andere Ursachen dafür verantwortlich sind. Es sollte festge-

stellt werden, wieweit solche Sulfat-Profile mit tiefliegender Reduktionszone charakteristisch für das Auftriebsgebiet sind und inwieweit so eine Unterscheidung zwischen mariner und terrestrischer organischer Substanz in anoxischen Sedimenten erfolgen kann.

Dritter Untersuchungsschwerpunkt war die Charakterisierung von Element-Bindungsformen im Sediment. Zum einen sollte damit ein besseres Verständnis des "Reaktivitätspotentials" der einzelnen Elemente erreicht werden, zum anderen wurden so die bereits abgelaufenen frühdiagenetischen Stoff-Flüsse und damit auch die Minerallösungs- und Minaralfällungsprozesse besser erfaßt. Von besonderem Interesse war dabei im Auftriebsgebiet des Benguela-Stromsystems die Untersuchung der Genese von Phosphorit-Mineralen, die nach den Angaben aus der Literatur hier weit verbreitet sind.

Biogeochemie

Für die biogeochemische Gruppe von der Universität Aarhus stand besonders der Aufbrauch von Sauerstoff im Bereich der Grenzschicht und in den sehr oberflächennahen (bis ca. 10 cm) Sedimentschichten im Vordergrund des Interesses. Dazu wurden an den Kernen des Multicorers im Labor Sauerstoff- und pH-Profile mit Mikroelektroden gemessen und zum Vergleich mit den daraus abgeleiteten diffusiven Stoff-Flüssen Inkubationsversuche zur Bestimmung des Sauerstoffverbrauchs durchgeführt. Diese Messungen und Versuche erfolgten jeweils im Rohr des Multicorer-Kerns unter Sauerstoffkonzentrationen und Temperaturbedingungen, die denen des jeweiligen Standortes möglichst ähnlich sind.

Parallel wurden an einigen Stationen, an denen auch die geochemische und mikrobiologische Gruppe Untersuchungen durchführten, mit den beiden Landern PROFILUR (Messung von in-situ Sauerstoff-Profilen) und ELINOR (Durchführung von in-situ Inkubationsversuchen) entsprechende Messungen zum Vergleich des diffusiven Sauerstoff-Verbrauchs und des gesamten Sauerstoff-Verbrauchs am Meeresboden durchgeführt. Aus den Ergebnissen wird eine sehr zuverlässige, nicht durch die Eingriffe der Probennahme gestörte Aussage zum Sauerstoffumsatz an der Grenzschicht und im oberflächennahen Sediment erwartet.

Mikrobiologie

Mikroorganismen spielen als Destruenten die entscheidende Rolle bei der Remineralisation organischer Substanz. Da Mikroorganismen bezüglich der Wahl ihrer Energiequelle, dem Wasserstoffdo-

nator und der C-Quelle als einzelne Zellen und mehr noch in ihrer Gesamtheit äußerst variabel sind, beeinflussen sie die verschiedensten Stoffkreisläufe.

Die im marinen Milieu pelagial gebildete bzw. aus Flüssen eingetragene organische Substanz wird bereits auf ihrem Weg zum Meeresboden zum großen Teil abgebaut, bevorzugt die leicht abbaubaren organischen Substanzen. Verallgemeinernd läßt sich sagen, daß je länger die Wassersäule ist, desto weniger organische Substanz erreicht den Meeresboden und um so größer wird der Anteil der schwer abbaubaren Substanzen. Die Art und Menge der sedimentierten organischen Substanz ist zudem abhängig von der Höhe der Primärproduktion im jeweiligen Meeresgebiet.

Aufgrund des beschränkten C-Angebots bei großen Wassertiefen, des hohen hydrostatischen Drucks und der niedrigen Temperaturen ist daher zumindest theoretisch nur in den obersten Sedimentschichten von einer nachweisbaren mikrobiellen Aktivität auszugehen. Andererseits sind in Tiefenprofilen von Sedimenten des Südatlantik Stoffgradienten feststellbar, die durch rein abiotische Prozesse nicht erklärbar sind und auf eine mikrobielle Beteiligung hinweisen.

Über die mikrobielle Besiedlung und Aktivität von Tiefseestandorten ist, insbesondere aufgrund der schwierigen Zugänglichkeit der Untersuchungsgebiete verglichen mit anderen Lebensräumen, relativ wenig bekannt. Um Aufschlüsse über die Beteiligung von Mikroorganismen an Stoff-Flüssen im Tiefenprofil von Tiefsee-Sedimenten zu erlangen, wurden direkt an Bord mikrobiologische Untersuchungen und präparierende Vorarbeiten durchgeführt. Die Aufarbeitung der Sedimentproben an Bord hat sich als unverzichtbar erwiesen, da Voruntersuchungen an konservierten (tiefgefrorenen, gekühlten) und im Labor aufgearbeiteten Proben keine verwertbaren Ergebnisse brachten. Die mikrobiologischen Untersuchungen haben zum einen die Erfassung der Besiedlungsdichte und -struktur und zum anderen die Erfassung von biochemischen Aktivitäten im Vergleich mit den Ergebnissen der geochemisch arbeitenden Gruppe zum Ziel.

Magnetische Bakterien

Magnetische Bakterien bilden intrazellulär Magnetitkristalle (= Magnetosome), die zur Orientierung im Erdmagnetfeld genutzt werden. Sterben die Bakterien ab, bleiben die Magnetosome erhalten und tragen zur Sedimentmagnetisierung bei. Die Frage, ob Magnetosome in den spätquartären Sedimenten des Südatlantiks vorkommen, konnte bereits mit Probenmaterial der Reise M 16/2 (westlicher Äquatorialatlantik) positiv beantwortet werden. Es gelang dabei aber nicht, lebende magnetische Bakterien in der Tiefsee zu identifizieren. Primäres Ziel der biomagnetischen Arbeiten während des Fahrtabschnittes M 20/2 war es deshalb, diesen Nachweis zu führen.

3. Ablauf der Reise

Nach einer problemlosen Anreise der Fahrtteilnehmer nach Abidjan konnte das Schiff am 27.12.91 mittags auslaufen. Nach dem Auslaufen wurde ein PARASOUND-Profil mit Kurs 155° über den afrikanischen Kontinentalhang gefahren. Anschließen wurde Kurs auf die erste große Kernstation (GeoB 1701, 1°57,1'N/3°33,0'E) genommen, die am 29.12.91 mittags erreicht wurde. Hier wurden nacheinander der Großkastengreifer mit CTD-Sonde, der Multicorer, der dänische Lander PROFILUR, zwei Schwerelote und das Multinetz eingesetzt. Nachdem am 30.12.91 gegen 9.00 Uhr auch der PROFILUR wieder heil geborgen war, konnte die Station verlassen und die Reise mit der Anfahrt auf das Arbeitsgebiet vor dem Kongo fortgesetzt werden.

Die Arbeiten vor dem Kongo wurden mit einem PARASOUND-Profil begonnen, das bei 7°12,0'S/7°28,0'E begann und bis 5°54,0'S/11°30,0'E an den Kontinent heranreichte. Nach dem Abfahren des PARASOUND-Profiles wurde am 3.1.92 früh morgens mit den Stationsarbeiten (GeoB 1702, 6°34,0'S/10°19,0'E) begonnen. Alle Geräte (Multicorer, Großkastengreifer, Schwerelote, Multinetz, Rosette, CTD-Sonde sowie die beiden Lander PROFILUR und ELINOR) konnten erfolgreich eingesetzt werden und brachten gute Proben bzw. Meßwerte. Spät am Abend wurde die Station verlassen und die Reise mit der Anfahrt auf die Station vor der Kunene-Mündung fortgesetzt. Auch auf dieser Station (GeoB 1703, 17°27,0'S/11°2,0'E) konnten alle Geräte mit gutem Gewinn an Proben bzw. Meßwerten eingesetzt werden.

Es folgte das Profil A vor Namibia auf einer Breite von etwa 20°S (Beginn bei 19°2,0'S/11°59,0'E, Knickpunkt bei 19°28,0'S/11°33,0'E, Ende bei 20°7,0'S/8°58,0'E) mit den fünf Kernstationen GeoB 1704 bis 1708 bei Wassertiefen von 400 m, 640 m, 970 m, 1240 und 2300 m. Alle eingesetzten Geräte ergaben gute Proben bzw. Meßwerte. Besonders hervorzuheben sind die um 11 m langen und offensichtlich ungestörten Schwerelotkerne aus geringen Wassertiefen. Die Verankerung WR 4 konnte bei der Station GeoB 1708 problemlos aufgenommen werden; beide Fallen sind gut gelaufen und brachten in allen Flaschen Probenmaterial. Die beiden Lander PROFILUR und ELINOR tauchen nach kleinen Anfangsproblemen immer rechtzeitig wieder auf und konnten mit sehr schönen und wichtigen Daten zum Sauerstoff-Verbrauch in den obersten mm bzw. cm des Sediments wieder geborgen werden.

Am 8.1.92 fiel wegen eines Lagerschadens der Schiebebalken aus. Er konnte mit Kranunterstützung jedoch in eine Lage gebracht werden, bei der das Kernabsetzgestell nur mit der Laufkatze betrieben werden konnte und so die Arbeiten mit dem Schwerelot problemlos waren. Multicorer und Großkastengreifer wurden dann über den Heckgalgen gefahren. Ihr Einsatz bereitete zuerst bei schlechterem Wetter einige Probleme, bei abflauendem Wind und etwas mehr Übung mit der ungewohnten Situation kamen wir aber dann doch zurecht.

Auf dem Profil B auf einer Breite von etwa 23° vor Namibia (Beginn bei 23°35,0'S/10°46,0'E, Ende bei 23°5,0'S/13°51,0'E) konnten so trotzdem alle gewünschten Geräte auf insgesamt sechs Stationen (GeoB 1709 bis 1714, Wassertiefen: 4000 m, 3000 m, 2000 m, 1000 m, 600 m, bei 200 m nur GKG) mit gutem Erfolg eingesetzt werden. Die Längen der Schwerelotkerne lagen meist bei etwa 11 m.

Am Montag, 13.1.92 um 6.00 Uhr gingen wir auf der Reede von Walvis Bay vor Anker. Die Ersatzteile für den Schiebebalken wurden übernommen. Bereits gegen 13.00 Uhr wurde die Reede wieder verlassen und mit der Anfahrt auf das Kernprofil C begonnen.

Da im Zeitplan noch genug Freiraum war, erfolgte die Anfahrt zu Profil C nicht auf direktem Wege, sondern mit einem Profil-Umweg vom Schelf wieder bis zu einer Wassertiefe von ca. 4000 m auf der Mitte zwischen den Kernprofilen B und C. Auf dieser Anfahrt zu Profil C konnte zuerst der Schiebebalken repariert und dann 3 zusätzliche Kernstationen bei den Wassertiefen 4000 m (GeoB 1715, 26°28,0'S/11°38,0'E), 1500 m (GeoB 1716, 27°57,1'S/14°0,0'E) und 600 m (GeoB 1717, 28°12,6'S/14°25,4'E) bearbeitet werden.

Am 16.1.92 wurde mit dem Kernprofil C vor Namibia auf einer Breite von etwa 29°S begonnen (Beginn bei 28°42,0'S/15°13,0'E, Ende bei 29°59,0'S/8°2,7'E). Auf diesem Profil wurden 7 Stationen (GeoB 1718 bis 1724) bei den Wassertiefen 200 m (nur GKG), 1000 m, 2000 m, 3000 m, 4000 m, 4900 m und 5100 m bearbeitet. Alle gewünschten Geräte konnten mit gutem Gewinn an Proben bzw. Daten eingesetzt werden. Die Längen der Schwerelotkerne lagen meist bei 10 bis 11 m. Bei den Wassertiefen 1000 m und 3000 m wurden die Verankerungen NU 1 und NU 2 ohne Probleme ausgebracht. In der Nacht vom 19.1. auf den 20.1.92 wurden die Arbeiten auf dem südlichsten Profil C vor Namibia beendet und früh morgens mit der Anfahrt zum Profil D begonnen.

Auf dem Profil D (Walfisch-Rücken, Beginn bei 30°32,0'S/3°47,0'E, Ende bei 29°10,0'S/1°8,0'E) wurde auf insgesamt 5 Stationen mit den Wassertiefen 970 m, 1000 m, 1300 m, 2880 m, 4400 m gearbeitet. Bei den drei flachen Stationen gelang es trotz mehrerer Einsätze nicht, einen Schwerelotkern zu gewinnen, da das Sediment aus reinen und fest gelagerten Foraminiferen-Sanden besteht, in die das Lot nicht eindrang. Einziger Erfolg blieb hier ein sehr schön ungestörter Großkastengreifer-Kern von etwa 0,3 m Länge. Bei den größeren Wassertiefen konnten alle Geräte mit gutem Probengewinn eingesetzt werden.

Am 23.1.92 wurde um 6.00 Uhr am Ende des Profils D die seilgebundene Stationsarbeit beendet und mit der Rückfahrt nach Dakar begonnen. Nachfolgend ist für alle Geräte die Zahl der Einsätze während des Fahrtabschnittes zusammengestellt; in Klammern sind jeweils die erfolgreichen Einsätze genannt: Schwerelot 38 (35) mit insgesamt 301 m Kern, Großkastengreifer 28 (27), Multicorer 18 (17), CTD-Sonde 26 (26), Rosette 7 (7), Multinetz 25 (23), PROFILUR 10 (9), ELINOR 7 (7).

PARASOUND und HYDROSWEEP wurden während des gesamten Fahrtabschnittes genutzt; lediglich im 200 Meilen-Abstand zu den Ländern, bei denen keine Erlaubnis für Forschungsarbeiten beantragt war, wurde das HYDROSWEEP abgeschaltet. Um bessere PARASOUND-Aufzeichnungen zu erhalten, wurde auf allen Profilfahrten und auch auf einigen Fahrten zwischen den Profilen die Geschwindigkeit des Schiffes auf max. zehn Knoten begrenzt. Auf diese Weise wurden auf den Profilen ungestörte PARASOUND-Aufzeichnungen gewonnen. Auf der langen Rückreise vom letzten Profil D am Walfisch-Rücken bis nach Dakar konnte dies jedoch aus Zeitgründen nicht gemacht werden, sodaß die PARASOUND-Aufzeichnungen z.T. recht gestört waren. Die HYDROSWEEP-Aufzeichnungen blieben jedoch auch bei den Geschwindigkeiten von etwa 12,5 Knoten ungestört.

Für das Institut für Meereskunde in Kiel wurden während des Fahrtabschnittes insgesamt 30 Driftbojen ausgesetzt. Bewährt hat sich dabei das Aussetzen über Heck bei einer Restgeschwindigkeit des Schiffes von etwa 0,5 bis 1 Knoten und angehaltener Schraube. Zehn Bojen wurden auf der Anfahrt nach Profil A entsprechend der Vorgabe im Bereich des Angolastroms bei Breiten zwischen 3° und 13°S, weitere 20 Bojen auf der Rückreise von Profil D nach Dakar im Bereich des Subtropenwirbels bei Breiten zwischen 3° und 20°S ausgelegt.

4. Durchgeführte Arbeiten und erste Ergebnisse

4.1 Profilierende Schiffsmessungen

(M. Breitzke, L. Brück, H. Petermann, M. Richter und alle PARASOUND-Wachgänger)

4.1.1 HYDROSWEEP

Das Fächerecholot HYDROSWEEP wurde während des gesamten Fahrtabschnittes M 20/2 routinemäßig eingesetzt und durch den System-Operator und die Elektroniker von METEOR sowie die PARASOUND-Wachgänger im 24-stündigen Wachbetrieb betreut.

Zur Bestimmung der Wassertiefen und zur Erstellung der Isolinienpläne ist die über die C-Sonde automatisch bestimmte Wasserschallgeschwindigkeit verwendet worden. Die Isolinienpläne wurden zum einen auf dem in der Anlage integrierten Drucker kontinuierlich auf Endlospapier aufgezeichnet, zum anderen gleichzeitig digital auf Magnetband gespeichert und stehen so für ein weiteres Postprozessing zur Verfügung.

Aufgrund der relativ starken Winde und der damit verbundenen hohen Dünung waren in den küstennahen Arbeitsgebieten südlich des Äquators bis zur Kunene-Mündung und im Auftriebsgebiet vor Namibia zahlreiche bis nahezu vollständige Ausfälle der Anlage zu verzeichnen, so daß auch durch ein späteres Postprozessing eine auswertbare Aufarbeitung der Daten kaum möglich erscheint. In den Gebieten der Niger- und Kongo-Mündung, des Kap-Beckens und des Walfisch-Rückens sowie auf der Rückreise vom Walfisch-Rücken nach Dakar im Bereich des Mittelatlantischen Rückens konnten dagegen hervorragende Daten registriert werden. Sie liefern ein ausgezeichnetes Abbild der Morphologie des Meeresbodens auf einem Streifen entlang der Schiffsroute, dessen Breite etwa der doppelten Wassertiefe entspricht und unterstützen damit die Auswertung und Interpretation der Daten des Sedimentecholotes PARASOUND.

4.1.2 PARASOUND

4.1.2.1 Profile

Während des gesamten Fahrtabschnittes M 20/2 wurde das Sedimentecholot PARASOUND auf den Profilfahrten zwischen den einzelnen Kernstationen zur linienhaften Kartierung der Sedimentbedeckung bis zu einer Tiefe von maximal 100 bis 150 m eingesetzt und in einem 24-stündigen Wachbetrieb betreut.

Zusätzlich wurden im Gebiet der Kongo Mündung zwei Profile gefahren, die ein bereits im Frühjahr 1991 während des Fahrtabschnittes M 16/1 registriertes Profil ergänzen sollen. Das erste dieser beiden Kongo-Profile verläuft parallel, um etwa 30' in nordwestlicher Richtung versetzt, zum Profil des Fahrtabschnittes M 16/1 zwischen 7°15'S/7°30'E und 5°55'S/11°30'E (Abb. 6). Der östliche Abschnitt des zweiten Kongo-Profils setzt bei etwa 5°55'S/11°30'E am Ende des ersten Profils an und endet an der Station GeoB 1702 bei 6°33,9'S/10°19,1'E. Der zweite Abschnitt verläuft von Station GeoB 1702 in südwestlicher Richtung bis etwa 8°30'S/9°00'E und sollte die Ausdehnung des Kongo-Sedimentfächers nach Süden erfassen.

Weitere, auf der Rückreise vom Walfisch-Rücken nach Dakar im Bereich des Mittelatlantischen Rückens aufgezeichnete Profilabschnitte, die ebenfalls bereits vorhandene, während der Fahrtabschnitte M 12/1, M 16/1 und M 20/1 registrierte Profile im Hinblick auf eine flächenhafte Interpretation einzelner Bereiche ergänzen sollten, wurden aufgrund der hohen Schiffsgeschwindigkeit (12-13 kn) durch starkes Rauschen beeinträchtigt. Zusammen mit der sehr rauhen Morphologie des Mittelatlantischen Rückens führte dies in einzelnen Fällen zu nahezu vollständigen Echoverlusten, so daß vermutlich nur einzelne isolierte Beckenstrukturen für eine weitere Auswertung herangezogen werden können.

4.1.2.2 Registrierparameter und vorläufiges Prozessing an Bord

Die sedimentechographischen Registrierungen sind sowohl in analoger Form als schwarz-weiße Papierschriebe des Vermessungsecholotes DESO 25 als auch digital mit Hilfe des PARADIGMA Systems aufgezeichnet worden. Dabei wurde die auf dem vorangegangenen Fahrtabschnitt M 20/1 neu installierte Version des PARADIGMA Systems, die eine direkte Speicherung der Daten auf Magnetband ermöglicht, eingesetzt und weiter getestet. Sie arbeitete problemlos und gewährleistete so eine hochauflösende Aufzeichnung digitaler PARASOUND Seismogramme mit einem mittleren Registrierabstand von etwa 2 bis 4 s. Damit konnten je nach Wassertiefe 2 bis 5 Seismogramme pro Pulsfolge aufgezeichnet werden, die für eine Stapelung in einem Postprozessing zur Verfügung stehen. Die Abtastfrequenz der digitalen Echogramme betrug 40 kHz. Die Registrierdauer lag in der Regel bei 133 ms, entsprechend dem 100 m Fenster der analogen Aufzeichnungen und der üblichen Darstellung auf dem Farbechoskop, wurde aber auf zahlreichen Streckenabschnitten aufgrund der hohen Eindringtiefen des Signals auf 199 ms (entsprechend einem 150 m Fenster) erhöht. So konnten im Gegensatz zu den konventionellen analogen Papieraufzeichnungen, bei denen maximal ein 100 m Fenster zur Vergügung steht, auch noch tiefer liegende Reflexionseinsätze mit erfaßt werden. Als Quellsignal wurde standardmäßig der Sinusimpuls von 4 kHz über eine Dauer von 4 Perioden verwendet.
Die Daten konnten bereits an Bord einem ersten Prozessing unterzogen werden. Es wurden von allen Profilstrecken Übersichtsprofile erstellt, in denen die aufgrund der Meeresbodentopographie variablen Fenstereinstellungen auf ein einheitliches Tiefenniveau bezogen sind, und die damit einen ersten Eindruck über die Morphologie, die Sedimentbedeckung und die Variation der Sedimentationsmuster entlang der Schiffstracks geben. Anschließend sind von zahlreichen Profilabschnitten mit relativ geringen topographischen Änderungen Echogrammsektionen größerer Maßstäbe erstellt worden, die eine erste qualitative Beschreibung der unterschiedlichen Sedimentationsmuster ermöglichen. Zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses wurden die Echogramme mit dem Quellsignal kreuzkorreliert. Zur Verstärkung einzelner, insbesondere tief liegender Reflexionseinsätze wurde bei einigen Profildarstellungen eine AGC-Normierung mit einer Fensterlänge von 1 ms (entsprechend der Länge des Quellsignals) und einem Offset von 0,1 ms angewendet.

An allen Stationen, an denen eine Beprobung mit Schwerelotkernen erfolgte, wurden zusätzlich Untersuchungen zum Einfluß der Hauptfrequenz und der Länge des Quellsignals auf das Reflexionsmuster durchgeführt ("Frequenztests"). Dazu ist die Frequenz des Quellsignals systematisch in dem zur Verfügung stehenden Frequenzbereich zwischen 2,5 und 5,5 kHz in Schritten von 0,5 kHz bei Quellsignallängen von 1, 4 und 8 Sinusperioden variiert und die kompletten Folgen der Echogramme jeweils über eine Dauer von 2 min aufgezeichnet worden.

4.1.2.3 Beispiele

Die folgenden Abbildungen sollen einen beispielhaften Überblick über die unterschiedlichen auf den einzelnen Profilabschnitten aufgezeichneten Sedimentationsmuster geben. Die Lage der dargestellten digitalen Echogrammsektionen ist in einer Reihe von Kartenausschnitten gekennzeichnet. Folgende regionale Schwerpunkte wurden berücksichtigt:

- Kontinentalhang zwischen Abidjan und dem Niger-Gebiet,
- Kontinentalhang zwischen Niger und Kongo-Gebiet,
- Kongo-Gebiet,
- Kontinentalhang zwischen Kongo-Gebiet und Kunene-Mündung,
- Auftriebsgebiet vor Namibia (Schelf und Kontinentalhang),
- Kap-Becken.

Zur Darstellung der digitalen Echogrammsektionen wurde - im Gegensatz zu den in der konventionellen Seismik üblichen VA/Wiggle Traces - eine Umsetzung der einzelnen Spuren in Pixel verwendet, bei der die Amplituden in neun Graustufen umgesetzt werden. Die Tiefenachsen entsprechen den am Farbechoskop eingestellten Fensterwerten und lassen sich über eine konstante Wasserschallgeschwindigkeit von 1500 m/s in Zwei-Wege-Laufzeiten umrechnen.

Abbildung 2 zeigt den Kartenausschnitt mit der Lage der Profile parallel zum Kontinentalhang zwischen Abidjan und dem Niger-Gebiet sowie parallel zum Kontinentalhang zwischen dem Niger- und Kongo-Gebiet, die in den drei folgenden Abbildungen dargestellt sind. Das etwa in West-Ost-Richtung verlaufende nördlichste Profil (Abb. 3), das in einer Wassertiefe von etwa 4950 bis 5000 m registriert wurde, weist in seinem westlichen Bereich eine mehr oder weniger klar geschichtete Sedimentsequenz auf, deren einzelne Reflexionshorizonte allerdings erst bei einer noch stärkeren vertikalen Streckung deutlicher aufgelöst werden könnten. Die Eindringtiefe des PARASOUND Signals liegt in diesem Bereich bei etwa 65 bis 70 m. Weiter nach Osten geht die geschichtete Sedimentfolge in ein eher diffuses Reflexionsmuster über, bei dem die Signaleindringtiefe sich auf 45 bis 50 m verringert.

Parallel zum Kontinentalhang zwischen dem Niger und Kongo-Gebiet wurde südwestlich der Ile de Pagalu (Ile Annabon) im Bereich sehr flacher Hangneigungen ein Profilabschnitt aufgezeichnet, der das typische, klar parallel geschichtete Muster pelagischer Sedimente zeigt (Abb. 4). Dabei sind wiederum relativ hohe Signaleindringtiefen von 60 bis 65 m erreicht worden.

Der südliche Profilabschnitt (Abb. 5), der am Fuß eines sehr steilen Abschnittes des Kontinentalhanges in etwa 4500 m Wassertiefe liegt, weist dagegen sehr unterschiedliche Sedimentationsmuster

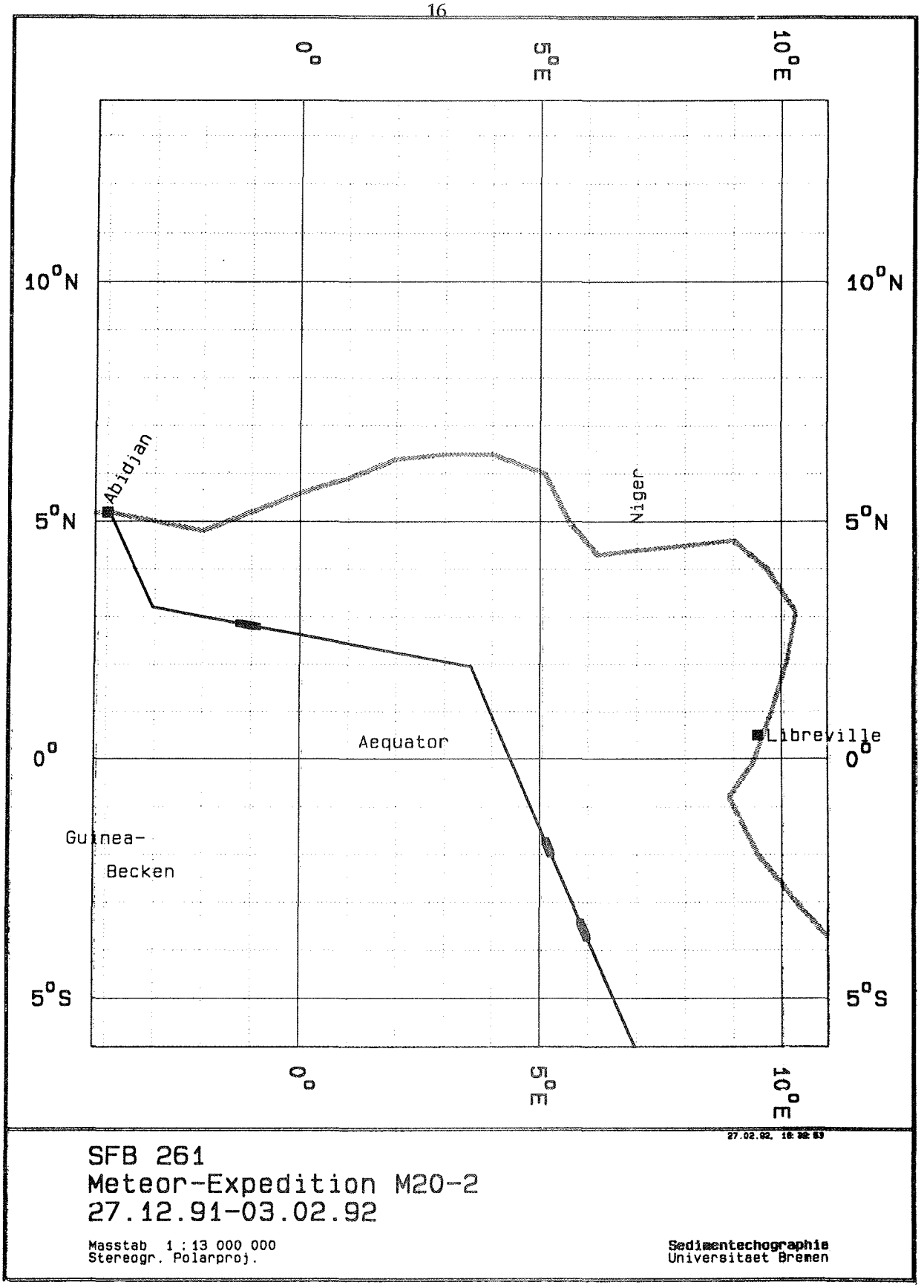


Abb. 2: Übersichtskarte der PARASOUND Profile parallel zum Kontinentalhang zwischen Abidjan und dem Niger Gebiet sowie zwischen dem Niger und Kongo Gebiet. Die Lage der in den Abbildungen 3 bis 5 dargestellten Echogrammsektionen ist durch schwarze Balken gekennzeichnet.

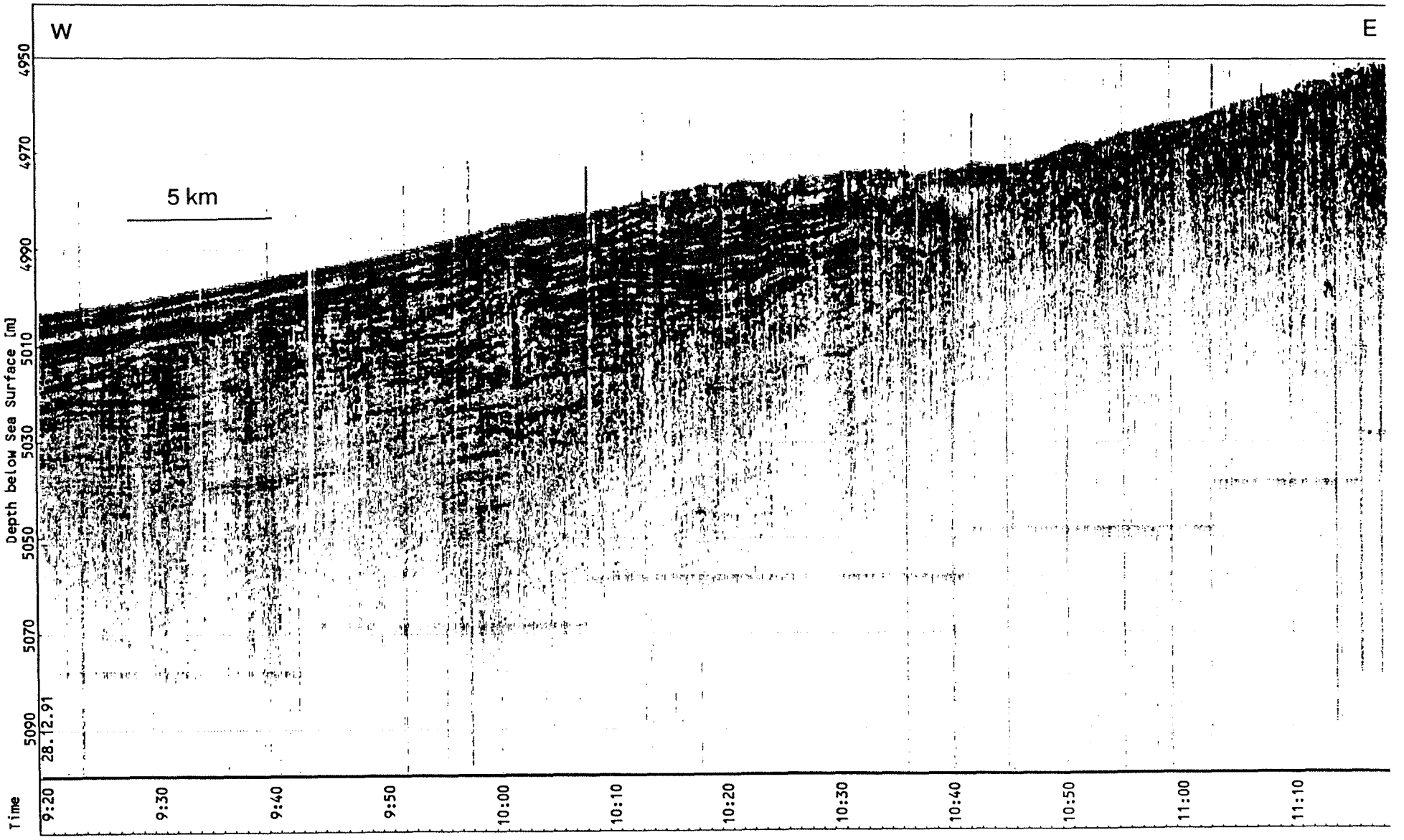


Abb. 3: Digitale PARASOUND Echogrammsektion parallel zum Kontinentalhang zwischen Abidjan und dem Niger-Gebiet, aufgezeichnet zwischen 2°51,8'N/1°15,8'W und 2°47,5'N/0°53,4'W. Normierte Amplituden.

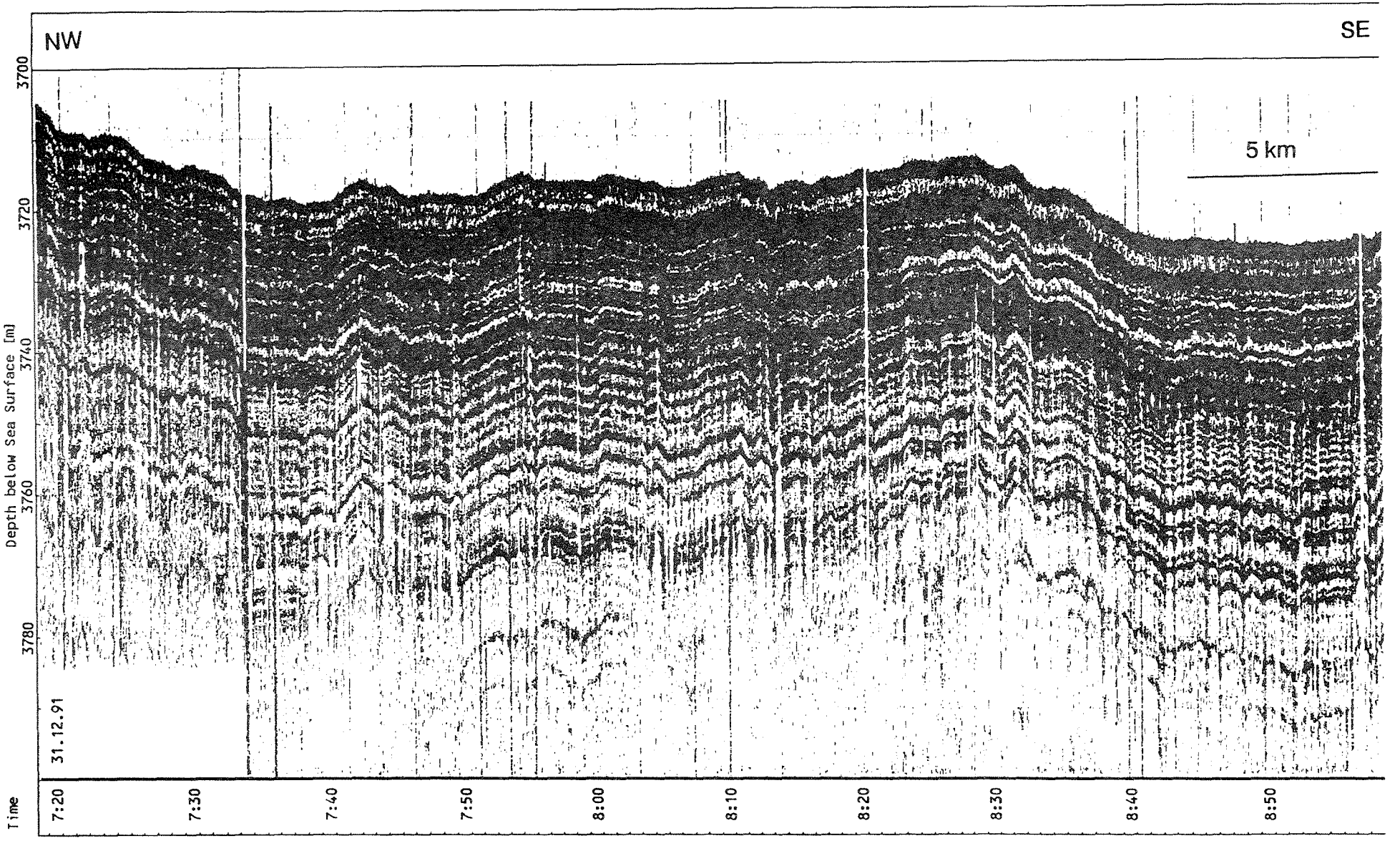


Abb. 4: Digitale PARASOUND Echogrammsektion parallel zum Kontinentalhang zwischen dem Niger- und Kongo-Gebiet, aufgezeichnet zwischen 1°42,8'S/5°07,0'E und 1°58,7'S/5°13,8'E. AGC-Normierung mit einer Fensterlänge von 1,0 ms und einem Offset von 0,1 ms.

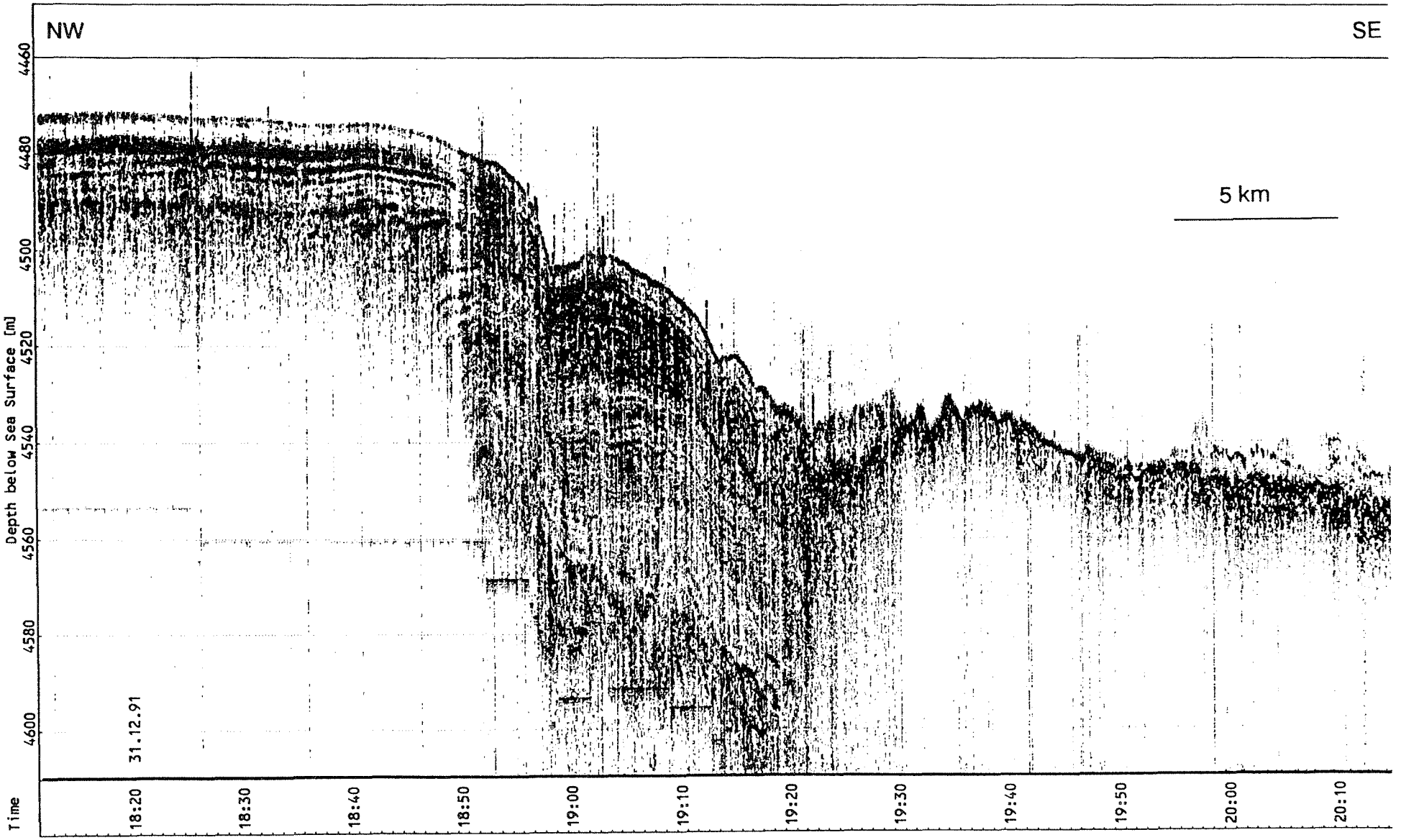


Abb. 5: Digitale PARASOUND Echogrammsektion parallel zum Kontinentalhang zwischen dem Niger- und Kongo-Gebiet, aufgezeichnet zwischen 3°24,6'S/5°50,5'E und 3°44,6'S/5°59,1'E. Normierte Amplituden.

auf. An den linken nordwestlichen Teil mit parallel verlaufenden Reflexionseinsätzen und einer Signaleindringtiefe von rund 30 m schließt sich ein Abschnitt von etwa 1 km Länge an, der bis in 100 m Tiefe klare, parallele Reflexionseinsätze zeigt, die dem Verlauf der Topographie folgen. Dieses Teilstück geht nach Südosten hin in einen Bereich über, der durch ein sehr diffuses Reflexionsmuster mit geringer Signaleindringtiefe von etwa 10 bis 20 m gekennzeichnet ist. Rutschmassen, die einen großen Teil der pelagischen Sedimente abtransportiert haben, so daß nur noch der mittlere Pfeiler ungestört zurückgeblieben ist, könnten die Ursache für diese recht ungewöhnliche Abfolge sein. In Streichrichtung angeschnitten erscheinen solche Rutschmassen als diffus reflektierende bis vollständig transparente Zonen, deren Unterkante je nach Mächtigkeit oft nur schwer zu erkennen ist. Während im nordwestlichen Abschnitt der Echogrammsektion dieser Rutschmasse später abgelagerte pelagische Sedimente mit parallel geschichteten Reflexionsmustern aufliegen, steht sie im südöstlichen Abschnitt direkt am Meeresboden an.

Die Abbildung 6 zeigt die Lage der im Kongo-Fächer aufgezeichneten PARASOUND Profile sowie das sich daran nach Süden anschließende, parallel zum Kontinentalhang verlaufende Profil bis zur Kunene-Mündung. Dabei ist die Lage der im folgenden dargestellten Echogrammsektionen aus dem Kongo-Fächer (Abb. 7-9) und aus dem Abschnitt bis zur Kunene-Mündung (Abb. 10 und 11) jeweils durch schwarze Balken gekennzeichnet.

Die westliche Echogrammsektion (Abb. 7), die entlang des Kongo-Profils in einer Wassertiefe von etwa 4000 m aufgezeichnet wurde, wird durch ein sehr welliges Sedimentationsmuster dominiert, das allenfalls noch in den obersten 10 m eine klare Schichtung erkennen läßt. Insbesondere der Meeresbodenreflektor zeigt vielfach die typische Schleifenstruktur sehr kleinräumiger Mulden. Dieser Profilabschnitt kreuzt zwei sehr steilwandige Erosionsrinnen von 20 bis 30 m Tiefe und 1 bis 2 km Breite. Die Eindringtiefe des PARASOUND Signals variiert vorwiegend zwischen etwa 60 und 70 m.

Der Kontinentalhang des Kongo-Gebietes weist oberflächennah ein parallel geschichtetes Sedimentationsmuster auf (Abb. 8). Zusätzlich zu diesem Sedimentpaket, das bis zu einer Signaleindringtiefe von etwa 30 bis 40 m nachzuweisen ist, sind noch ein bis zwei weitere, in etwa 60 m Tiefe liegende, unregelmäßigere Reflektoren zu verfolgen.

Der südliche Abschnitt des NE-SW verlaufenden Kongo-Profils ist durch eine etwa 20 m mächtige transparente Zone gekennzeichnet, die über einem stark, über weite Strecken aber diffus reflektierenden Sedimentpaket liegt (Abb. 9). Im rechten, südwestlichen Abschnitt der Echogrammsektion läßt sich ansatzweise wieder eine Schichtung unterhalb der transparenten Schicht erkennen. Von SW nach NE abtauchende Schichten bilden hier ansatzweise eine sich schließende transparente Linse. Sie deuten möglicherweise das Ende einer Rutschmasse an, die in dem weiter nordöstlich

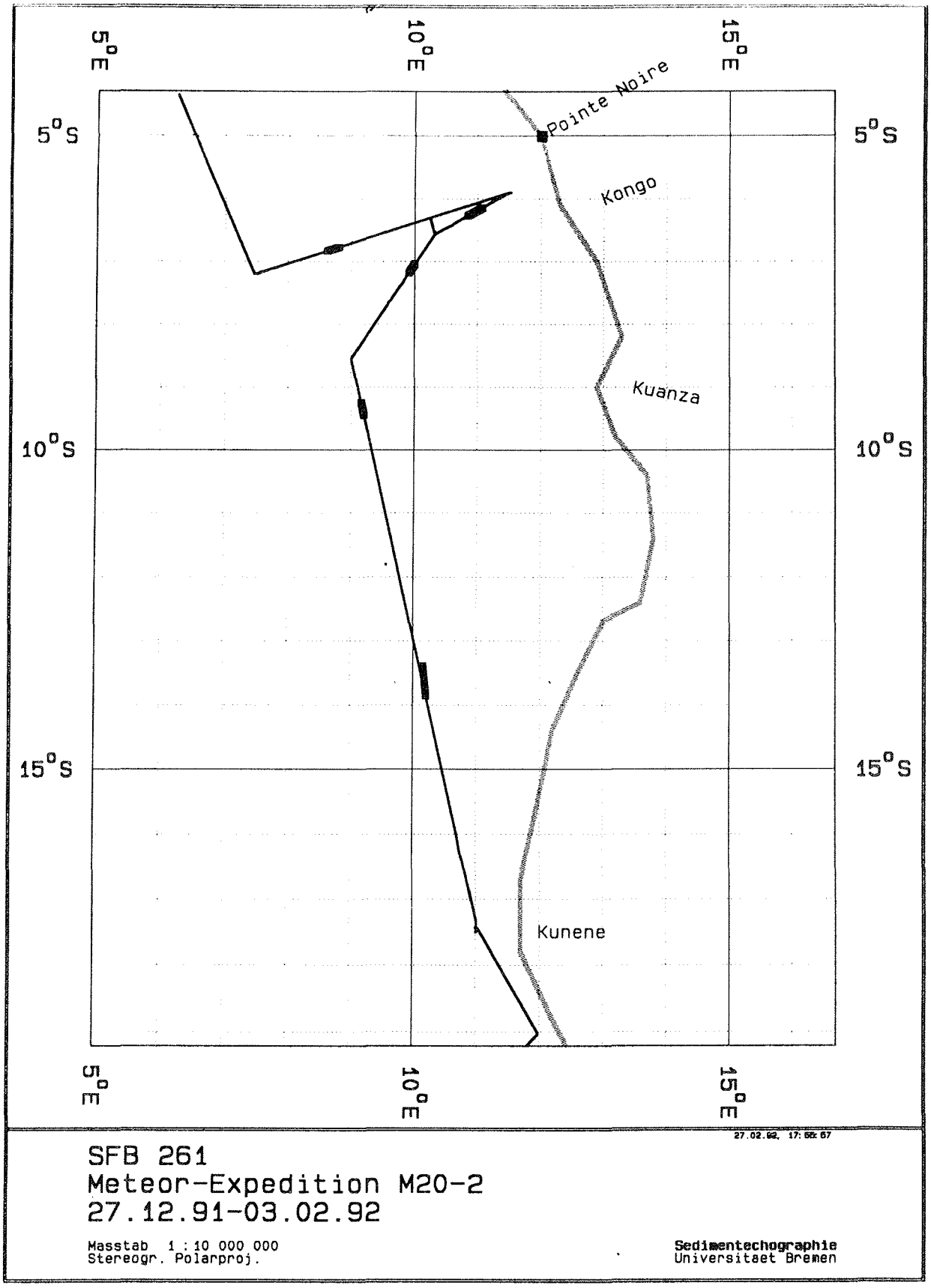


Abb. 6: Übersichtskarte der PARASOUND Profile im Kongo-Gebiet und parallel zum Kontinentalhang bis zur Kunene-Mündung. Die Lage der in den Abbildungen 7 bis 11 dargestellten Echogrammsektionen ist durch schwarze Balken gekennzeichnet.

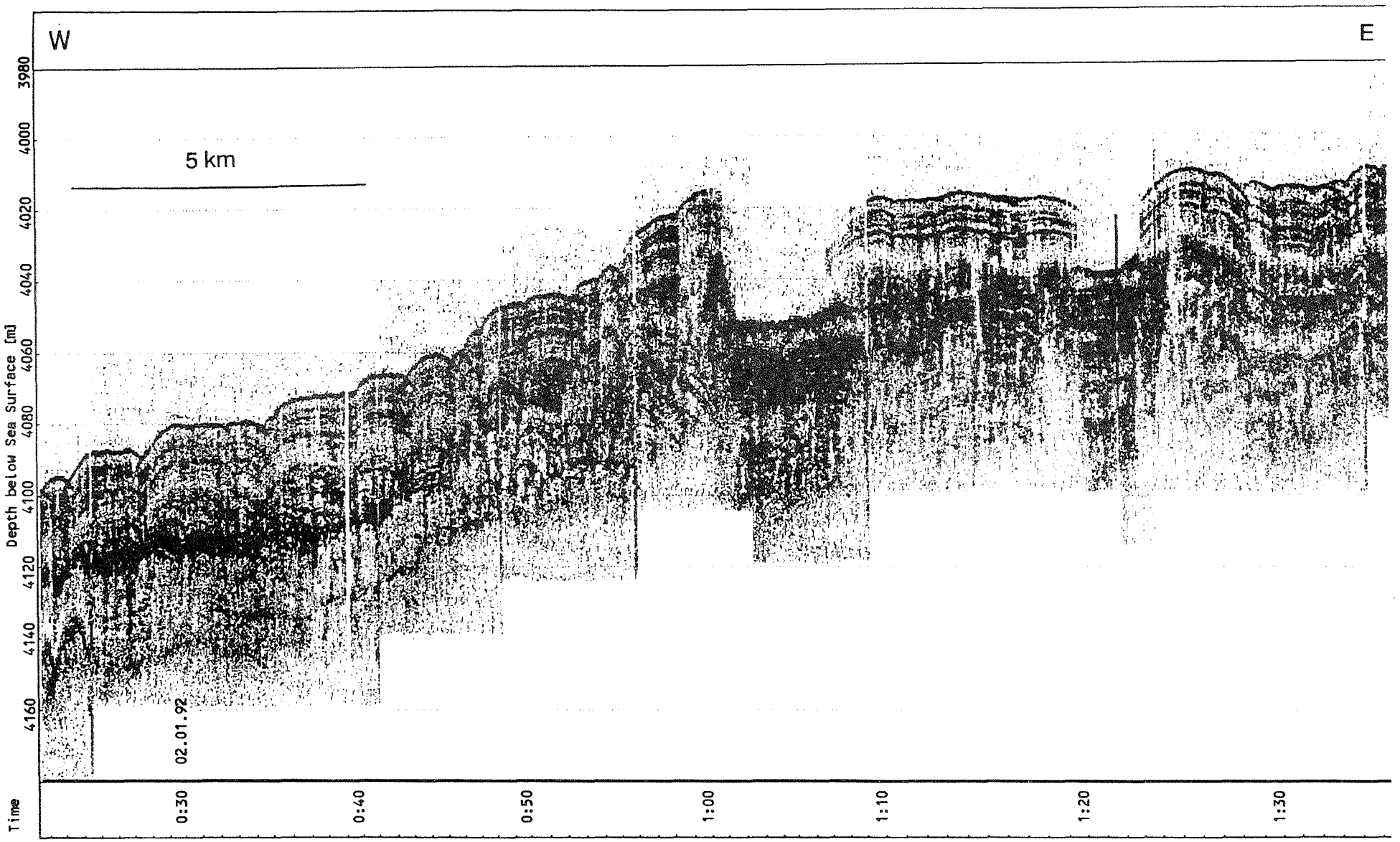


Abb. 7: Digitale PARASOUND Echogrammsektion aus dem Kongo Gebiet, aufgezeichnet zwischen 6°49,9'S/8°36,6'E und 6°46,2'S/8°48,3'E. AGC-Normierung mit einer Fensterlänge von 1,0 ms und einem Offset von 0,1 ms.

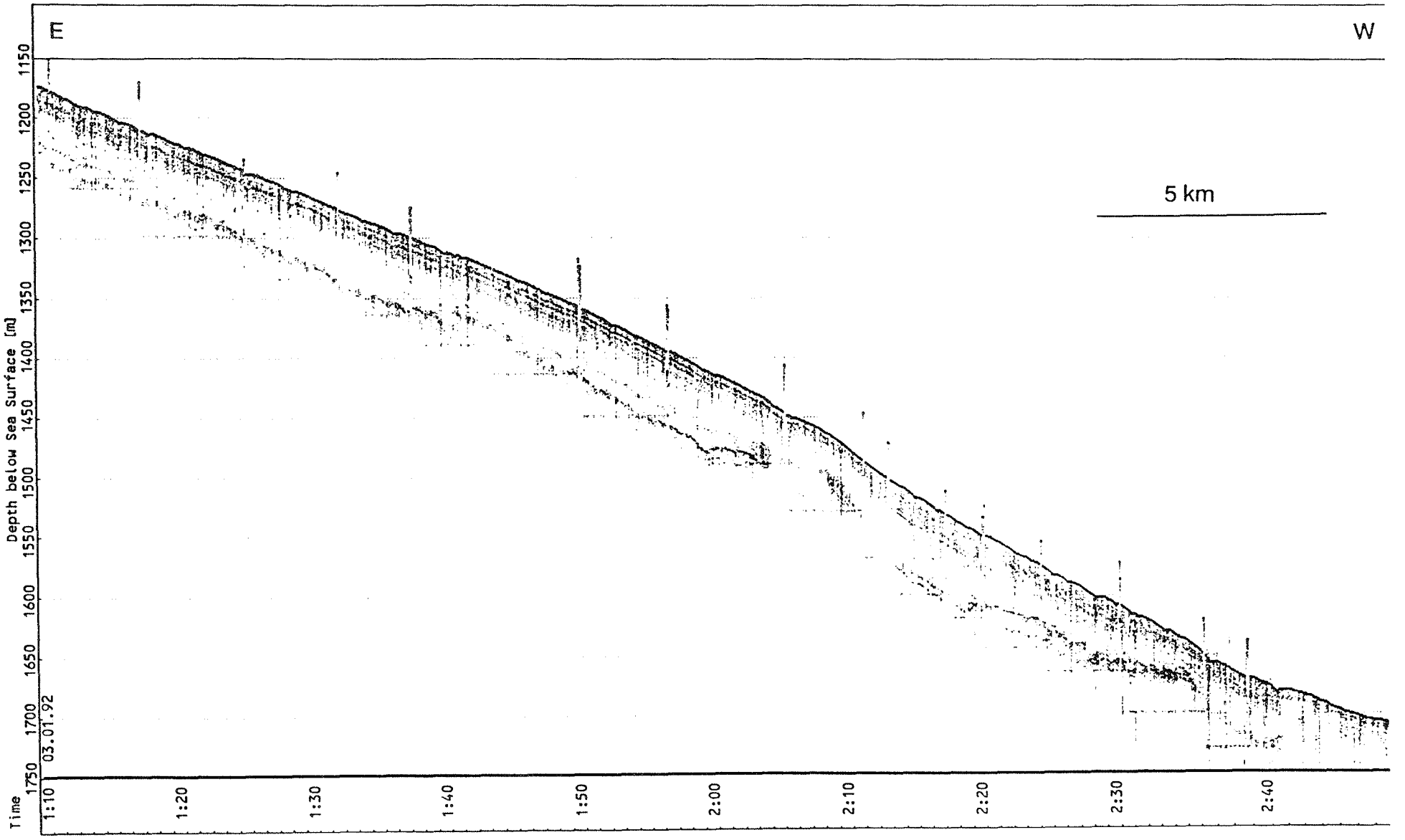


Abb. 8: Digitale PARASOUND Echogrammsektion vom Kontinentalhang des Kongo-Gebietes, aufgezeichnet zwischen 6°08,6'S/11°04,2'E und 6°16,4'S/10°50,2'E. AGC-Normierung mit einer Fensterlänge von 1,0 ms und einem Offset von 0,1 ms.

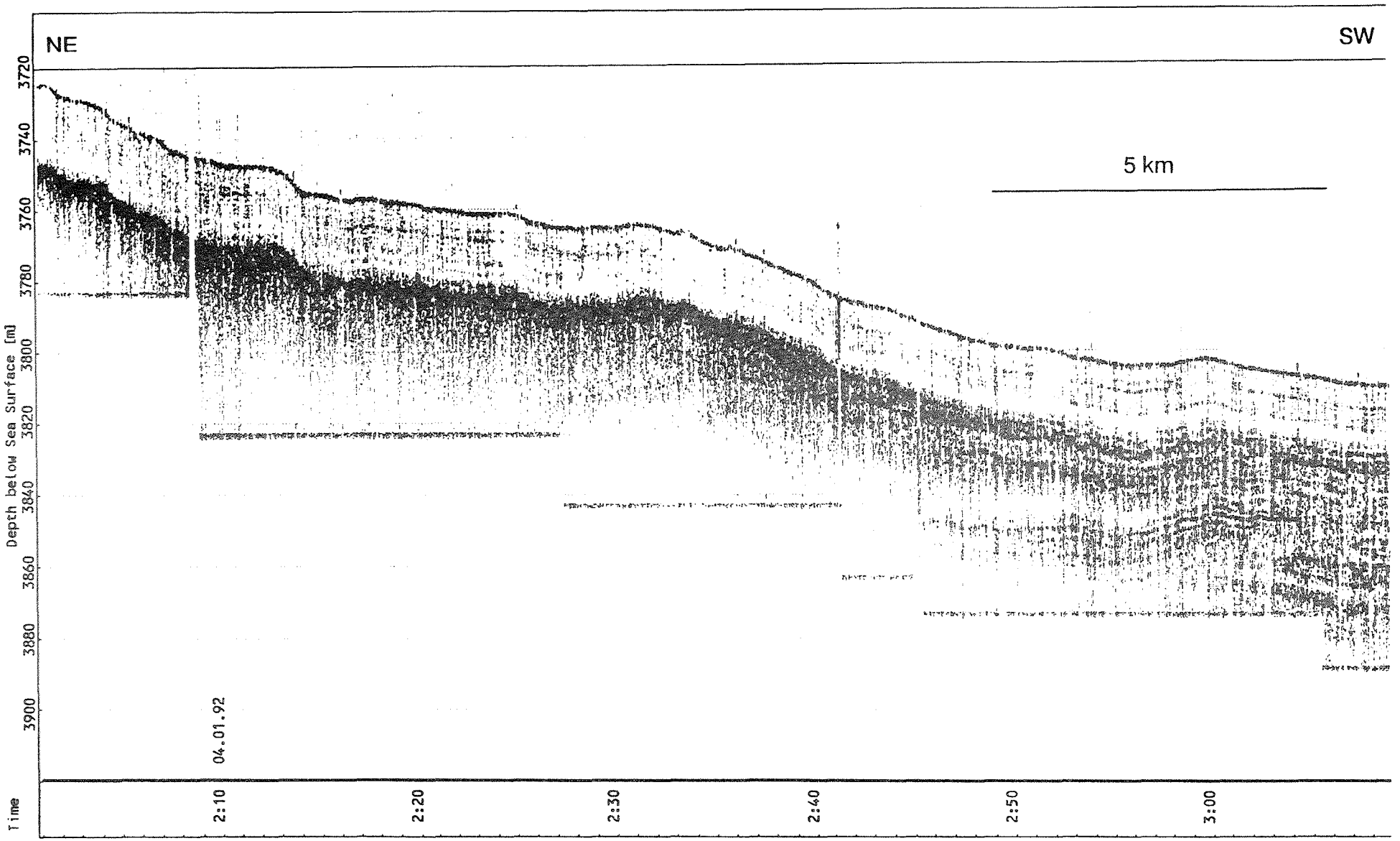


Abb. 9: Digitale PARASOUND Echogrammsektion aus dem Kongo-Gebiet, aufgezeichnet zwischen 7°02,0'S/10°00,3'E und 7°11,0'S/9°54,4'E. Normierte Amplituden.

verlaufenden Profilabschnitt den starken, diffusen Reflektor bildet und deren Unterkante nicht mehr nachweisbar ist.

Das in etwa 20 m Tiefe liegende diffus reflektierende Sedimentpaket setzt sich weiter nach Süden entlang der Profillinie zur Kunene-Mündung fort (Abb. 10). Allerdings erscheinen dort die aufliegenden Sedimentschichten nicht mehr völlig transparent, sondern weisen ein parallel geschichtetes Reflexionsmuster auf. Darüber hinaus sind hier drei sehr kleinräumige, etwa 300 bis 400 m breite und 20 m tiefe Erosionsrinnen zu erkennen.

Die Echogrammsektion in Abbildung 11 zeigt eine sich öffnende transparente Linse, die möglicherweise wieder auf in Streichrichtung angeschnittene Rutschmassen vom Kontinentalhang hindeutet. Von einem etwa 60 bis 70 m mächtigen, parallel geschichteten Sedimentpaket im nordwestlichen Abschnitt tauchen die unteren 50 bis 60 m langsam ab. Die Unterkante der Linse in etwa 40 m Tiefe ist teilweise nur noch schwach ausgebildet. Der Meeresbodenreflektor geht von dem parallel geschichteten nordwestlichen Teil langsam in ein diffus reflektierendes Sedimentpaket von etwa 10 bis 15 m Mächtigkeit oberhalb der transparenten Linse über.

Die Abbildung 12 zeigt eine Übersicht der im Auftriebsgebiet vor Namibia und im Kap-Becken aufgezeichneten Profile und die Lage der in den folgenden Abbildungen 13 bis 21 dargestellten Echogrammsektionen.

Der namibische Schelf sowohl im Bereich des Walfisch-Rückens als auch weiter südlich im Bereich der Kernprofile A, B und C ist durch schräg in Hangrichtung einfallende Sedimentschichten gekennzeichnet, auf denen diskordant der heutige Meeresbodenreflektor auflagert. Im Bereich des Walfisch-Rückens wurde in etwa 430 m Wassertiefe eine wieder verfüllte Erosionsstruktur beobachtet, die etwa 10 m unterhalb des Meeresbodens liegt (Abb. 13).

Der namibische Kontinentalhang weist ein klar parallel geschichtetes Sedimentationsmuster auf mit Signaleindringtiefen von etwa 40 (Abb. 14) bis 70 m (Abb. 15). Im Bereich von steileren Hangneigungen entlang des Kernprofils A auf dem Walfisch-Rücken (Abb. 14) deuten Wellen geringer Amplituden auf Instabilitäten, unter Umständen beginnende Rutschungen der Sedimente, hin.

Der untere Bereich des Kernprofils C zeigt in Wassertiefen größer als 3600 m ein Muster aus zahlreichen, sich überlappenden Diffraktionsbögen auf, die auf eine kleinräumig sehr unruhige, rauhe Meeresbodenoberfläche schließen lassen (Abb. 16). Möglicherweise handelt es sich dabei um den Schuttfächer von Turbiditströmen, die über den namibischen Kontinentalhang abgerutscht sind, und die hier in Fallrichtung angeschnitten wurden.

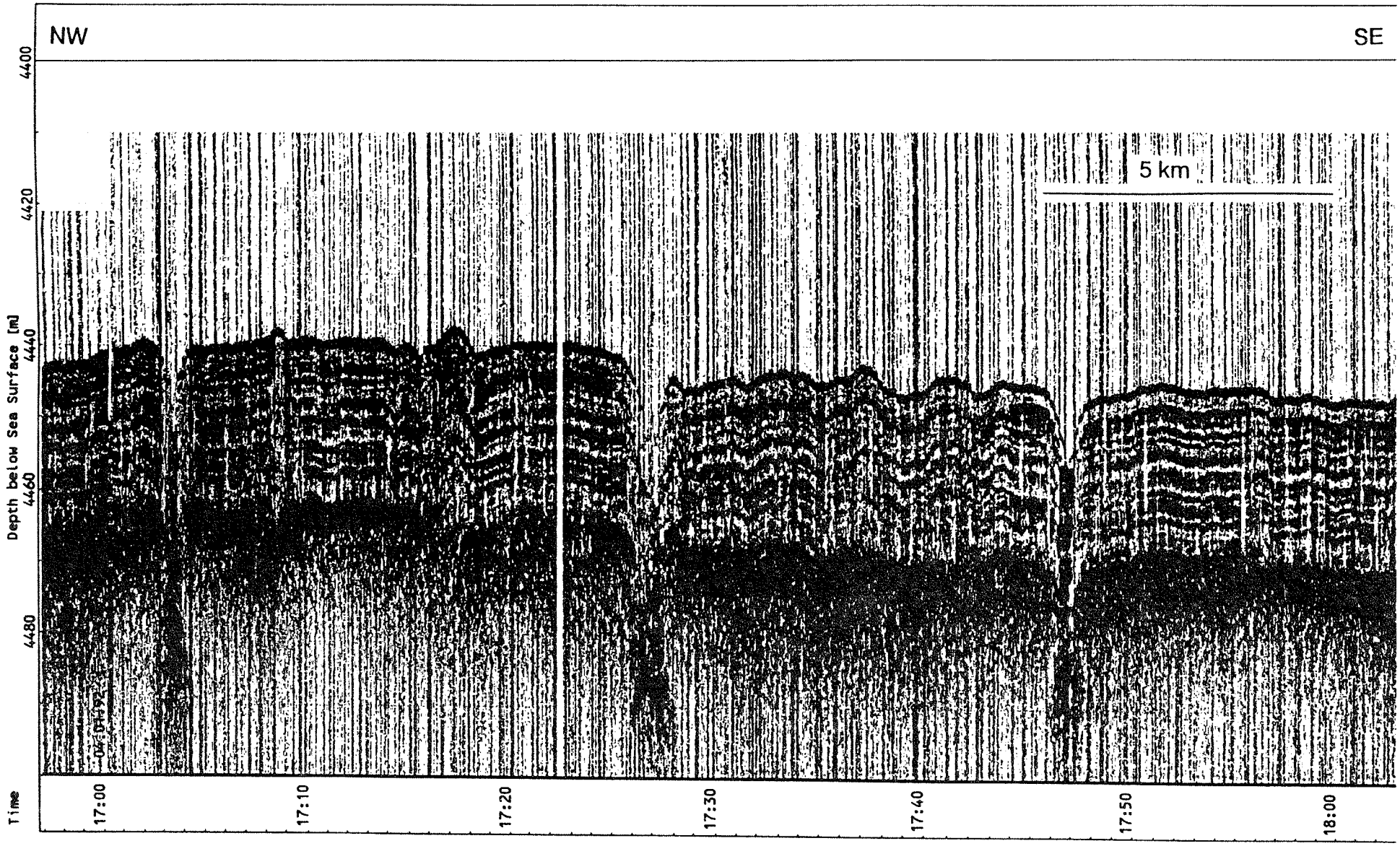


Abb. 10: Digitale PARASOUND Echogrammsektion parallel zum Kontinentalhang zwischen dem Kongo-Gebiet und der Kunene-Mündung, aufgezeichnet zwischen 9°14,6'S/9°09,4'E und 9°27,2'S/9°12,2'E. AGC-Normierung mit einer Fensterlänge von 1,0 ms und einem Offset von 0,1 ms.

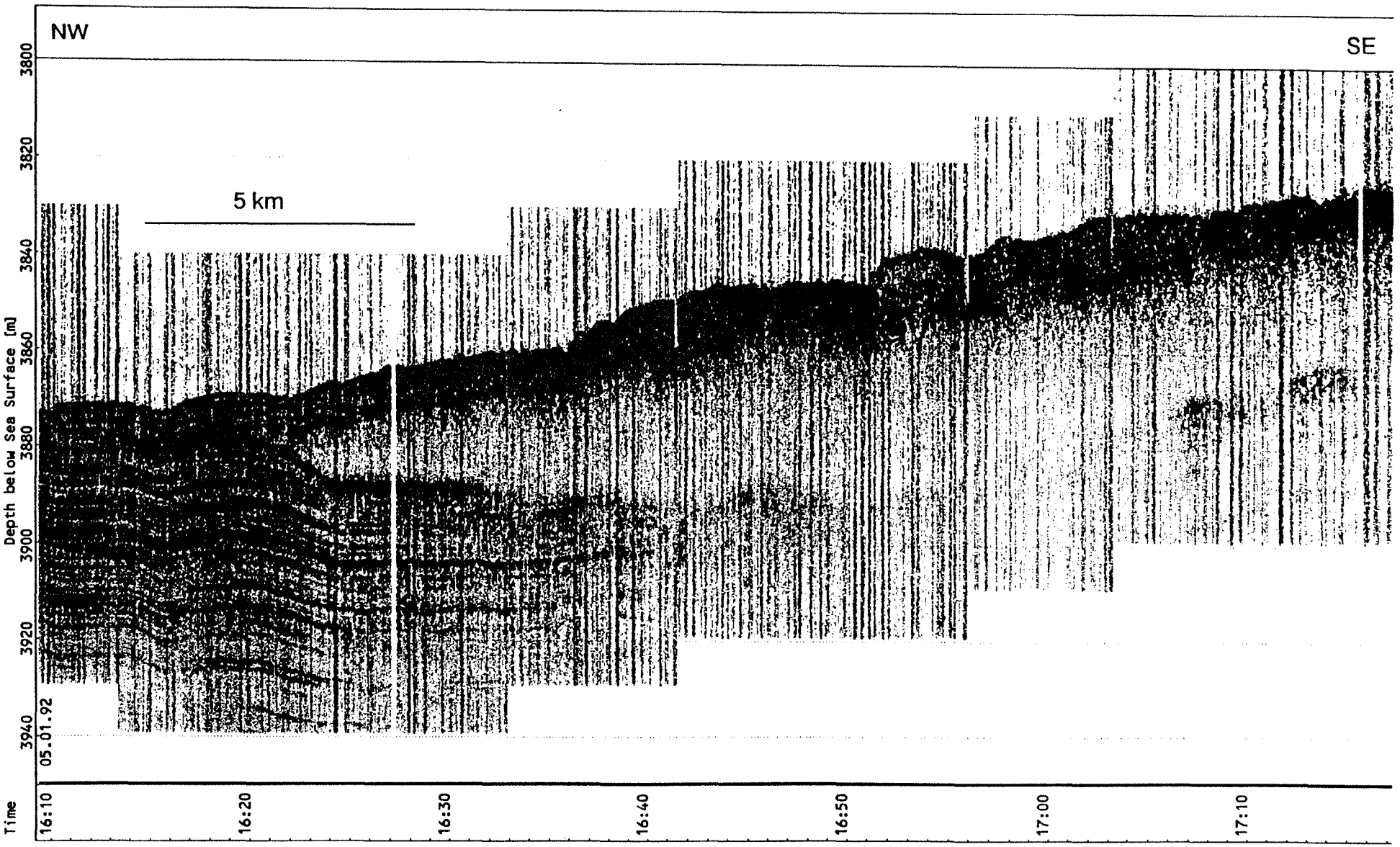


Abb. 11: Digitale PARASOUND Echogrammsektion parallel zum Kontinentalhang zwischen dem Kongo-Gebiet und der Kunene-Mündung, aufgezeichnet zwischen 13°38,3'S/10°09,3'E und 13°51,6'S/10°12,4'E. AGC-Normierung mit einer Fensterlänge von 1,0 ms und einem Offset von 0,1 ms.

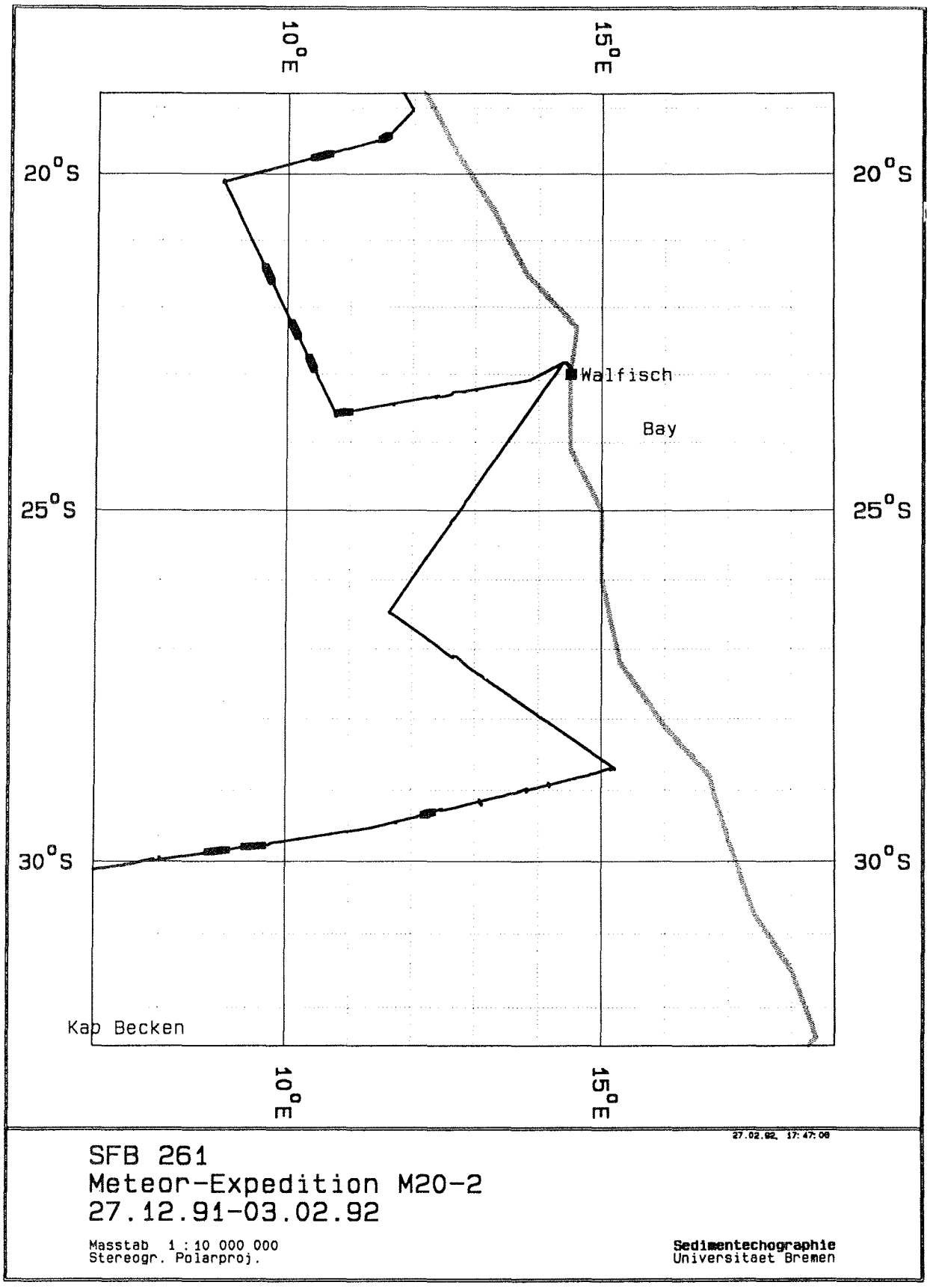


Abb. 12: Übersichtskarte der PARASOUND Profile im Auftriebsgebiet vor Namibia und im Kap-Becken. Die Lage der in den Abbildungen 13 bis 21 dargestellten Echogrammsektionen ist durch schwarze Balken gekennzeichnet.

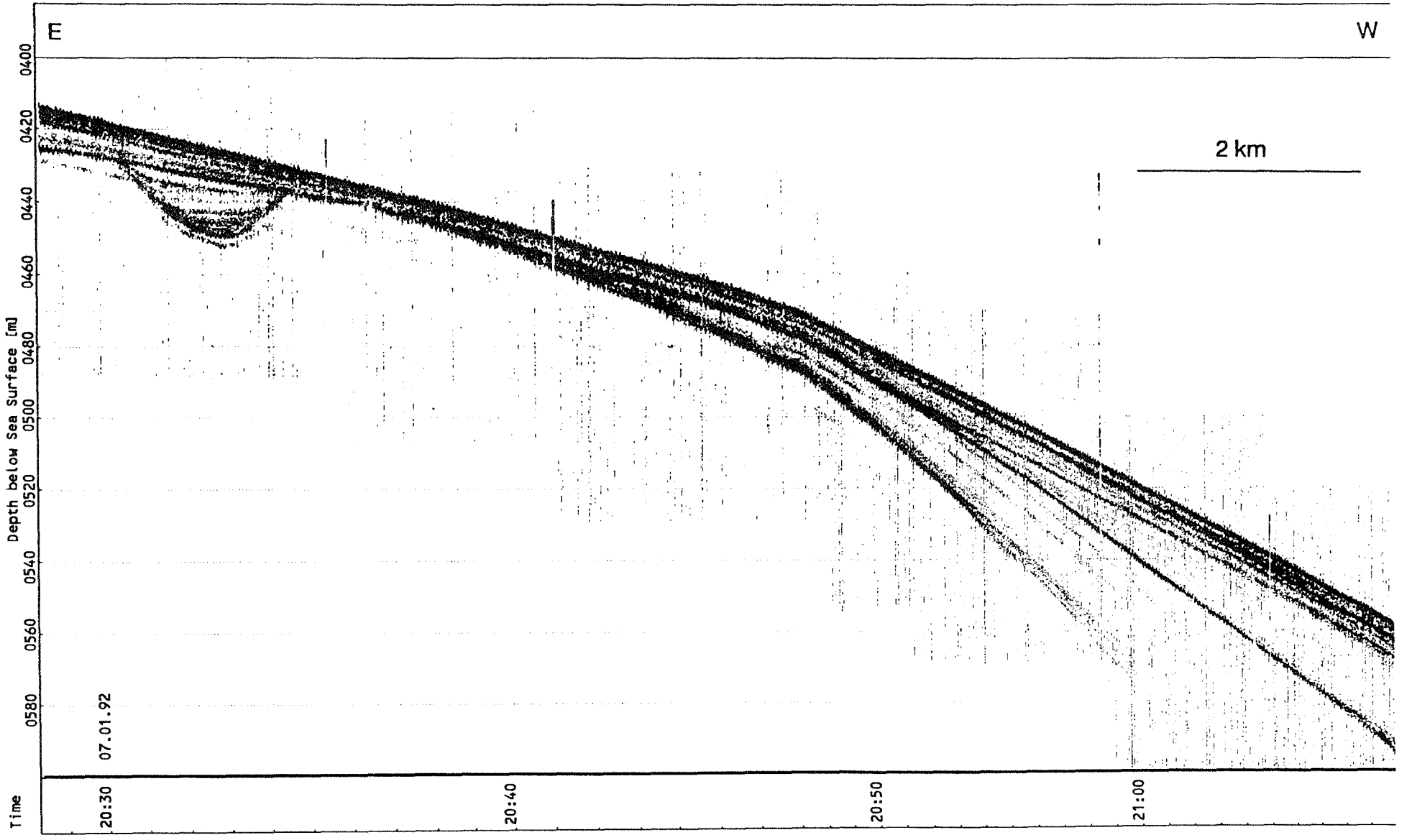


Abb. 13: Digitale PARASOUND Echogrammsektion vom namibischen Schelf, aufgezeichnet zwischen 19°25,0'S/11°35,9'E und 19°29,1'S/11°28,4'E. AGC-Normierung mit einer Fensterlänge von 1,0 ms und einem Offset von 0,1 ms.

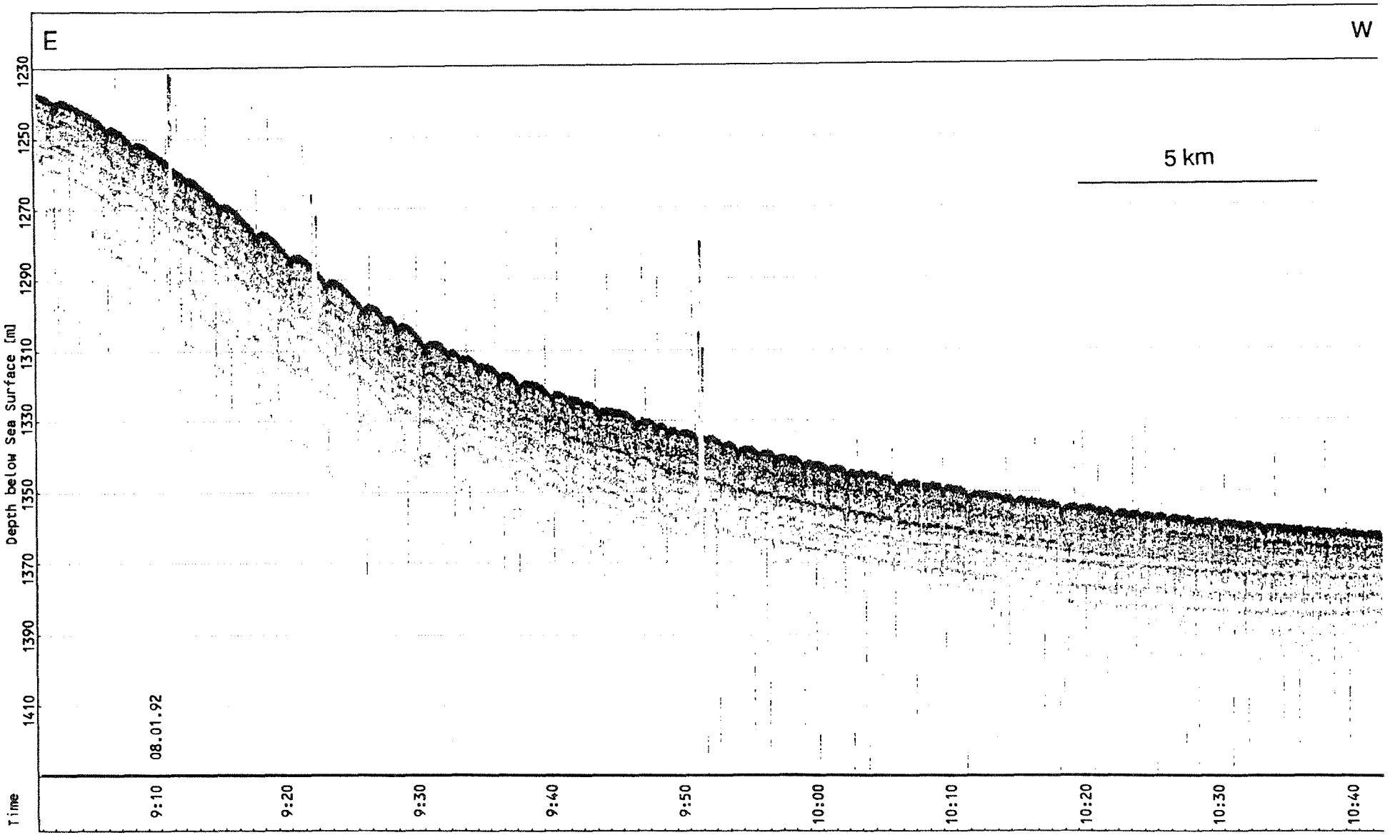


Abb. 14: Digitale PARASOUND Echogrammsektion vom namibischen Kontinentalhang, aufgezeichnet zwischen 19°41,7'S/10°39,3'E und 19°45,5'S/10°23,8'E. AGC-Normierung mit einer Fensterlänge von 1,0 ms und einem Offset von 0,1 ms.

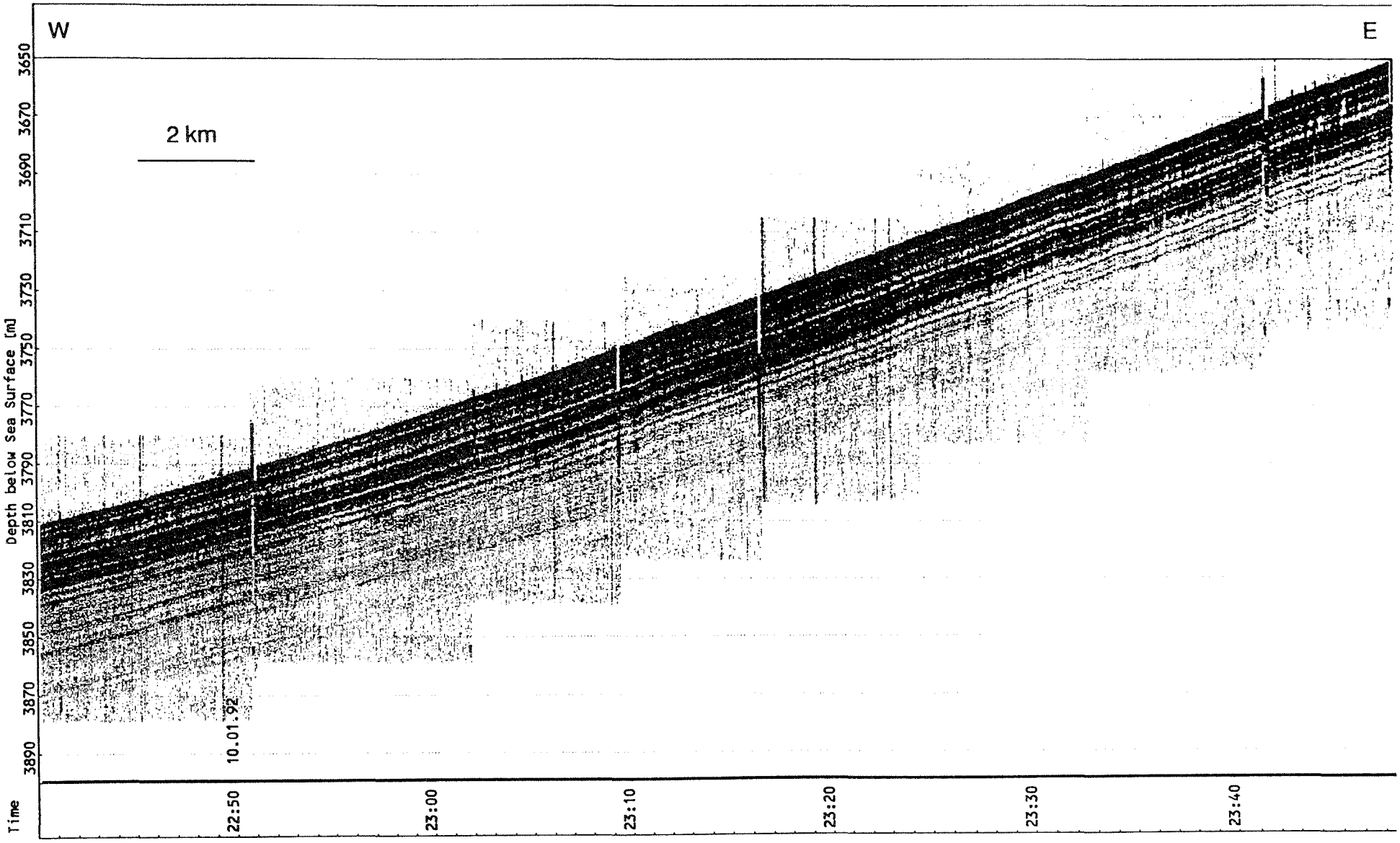


Abb. 15: Digitale PARASOUND Echogrammsektion vom namibischen Kontinentalhang, aufgezeichnet zwischen 23°34,7'S/10°47,6'E und 23°32,9'S/10°59,3'E. AGC-Normierung mit einer Fensterlänge von 1,0 ms und einem Offset von 0,1 ms.

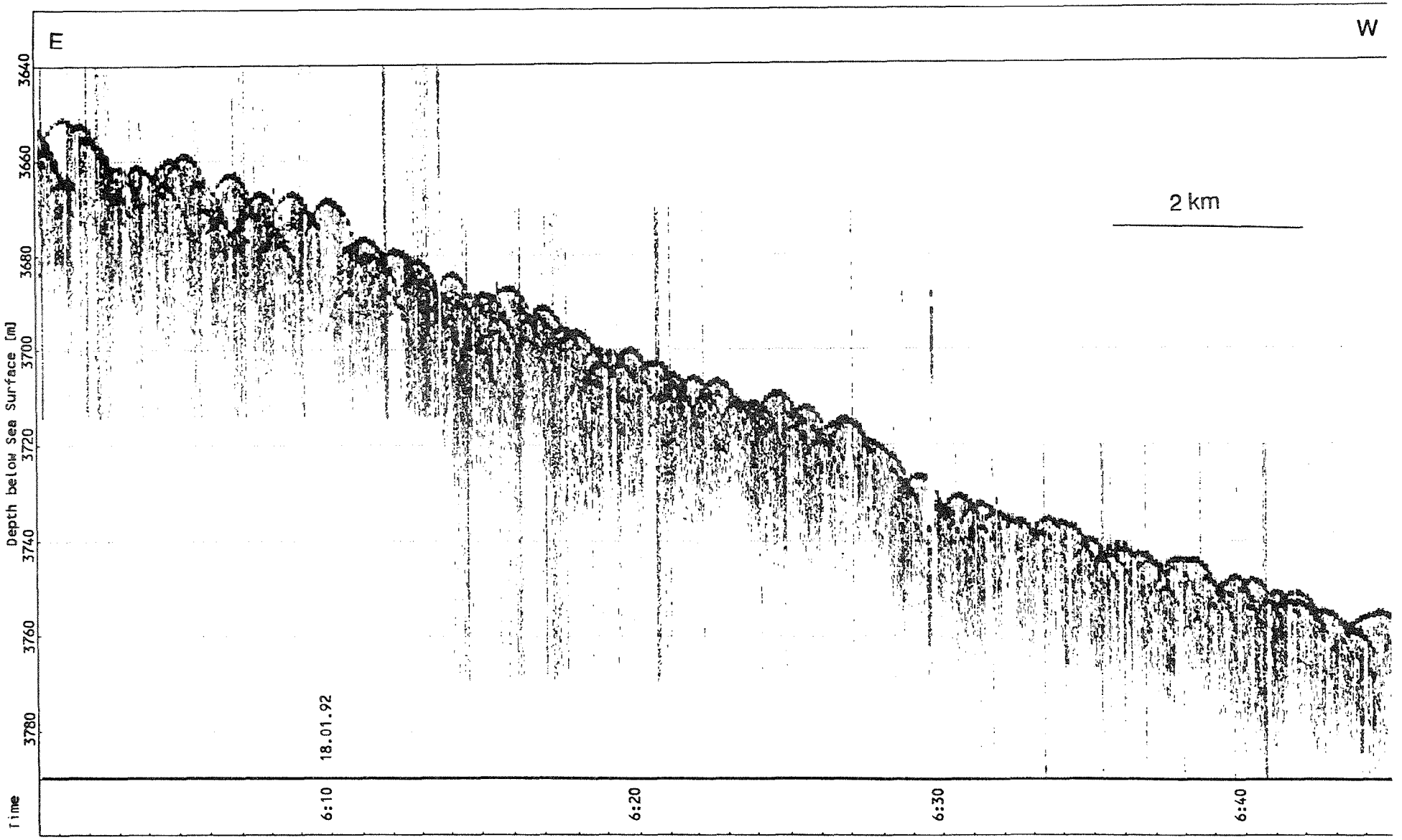


Abb. 16: Digitale PARASOUND Echogrammsektion vom Fuß des namibischen Kontinentalhanges, aufgezeichnet zwischen 29°18,4'S/12°20,5'E und 29°21,1'S/12°11,8'E. Normierte Amplituden.

Entlang der Verbindungslinie der Kernprofile A und B, die etwa auf der 4000 m Linie parallel zum namibischen Kontinentalhang verläuft, sind sehr unterschiedliche Strukturen aufgezeichnet worden. Der nördlichste Abschnitt (Abb. 17) weist kleinräumige Sedimentwellen auf, die bis in etwa 25 bis 30 m Tiefe reichen. Zusätzlich sind ein oder zwei weitere relativ starke, jeweils nochmals 20 bis 25 m tiefer liegende einzelne Reflexionshorizonte zu verfolgen.

Im mittleren und im südlichen Bereich dieses Verbindungsprofils gehen die kleinräumigen Sedimentwellen in ein klar parallel geschichtetes Sedimentationsmuster mit einer sehr hohen Signaleindringtiefe von rund 80 m über. In der in Abbildung 18 dargestellten Seismogrammsektion sind diese parallel verlaufenden Reflexionseinsätze durch zwei transparente Zonen in etwa 50 m Tiefe abrupt unterbrochen. Die zweite, südliche transparente Zone erstreckt sich insgesamt über eine Länge von rund 30 km. Eventuell handelt es sich auch hier um eine oder zwei in Streichrichtung angeschnittene Rutschmassen, die einen Teil der ursprünglichen Sedimentbedeckung abgetragen haben und so die abrupten Übergänge von paralleler Schichtung zu transparenten Zonen verursachen. Dabei bliebe allerdings zu klären, ob die Reflexionsfolgen im mittleren Pfeiler sowie im linken, nördlichen und im südlichen, in der Abbildung nicht mehr dargestellten Teil in der Tat identisch sind. Nach Ablagerung der Rutschmassen hat sich die typische pelagische Sedimentation ungestört fortgesetzt.

In ähnlicher Weise läßt sich die südlichste auf dem Verbindungsprofil registrierte Echogrammsektion (Abb. 19) erklären. In diesem Fall lagert eine transparente Schicht, wahrscheinlich wiederum eine in Streichrichtung angeschnittene Rutschmasse, dem parallel geschichteten Sedimentpaket auf, wobei auch hier im mittleren Bereich der Sektion ein Teil des älteren Sedimentpaketes auf etwa 10 m Mächtigkeit abrupt abgeschnitten ist, vermutlich erodiert wurde. Bei dieser Rutschmasse handelt es sich offensichtlich um ein sehr junges Ereignis, da hier noch keine pelagischen Sedimente auflagern.

Im Bereich des Kap-Beckens wurden sehr ungewöhnliche Sedimentstrukturen angetroffen, die sich nicht auf einfache Weise erklären lassen. Abschnitte mit deutlichen, kohärenten Reflexionshorizonten wechseln mit transparenten Zonen ab (Abb. 20). Die Signaleindringtiefe erreicht maximal 80 m. Eine teilweise Faltung der Sedimentpakete deutet auf mögliche tektonische Prozesse. Diese Faltenstrukturen sowie eine Meeresbodenoberfläche, die offenbar durch starke Erosion beeinflußt ist, führt zum Aufschluß von älteren Sedimentschichten in Synklinalen und an steilen Erosionsflächen.

Weiter westlich (Abb. 21) wurden diapirähnliche Strukturen aufgezeichnet, die einerseits die umgebenden horizontalen Reflexionshorizonte abrupt abschneiden, andererseits bis an die Meeresbodenoberfläche reichen können und nahezu transparent erscheinen. Auch das östlich gelegene Sedimentpaket mit einer Mächtigkeit von etwa 30 m erscheint völlig transparent, läßt darunter aber

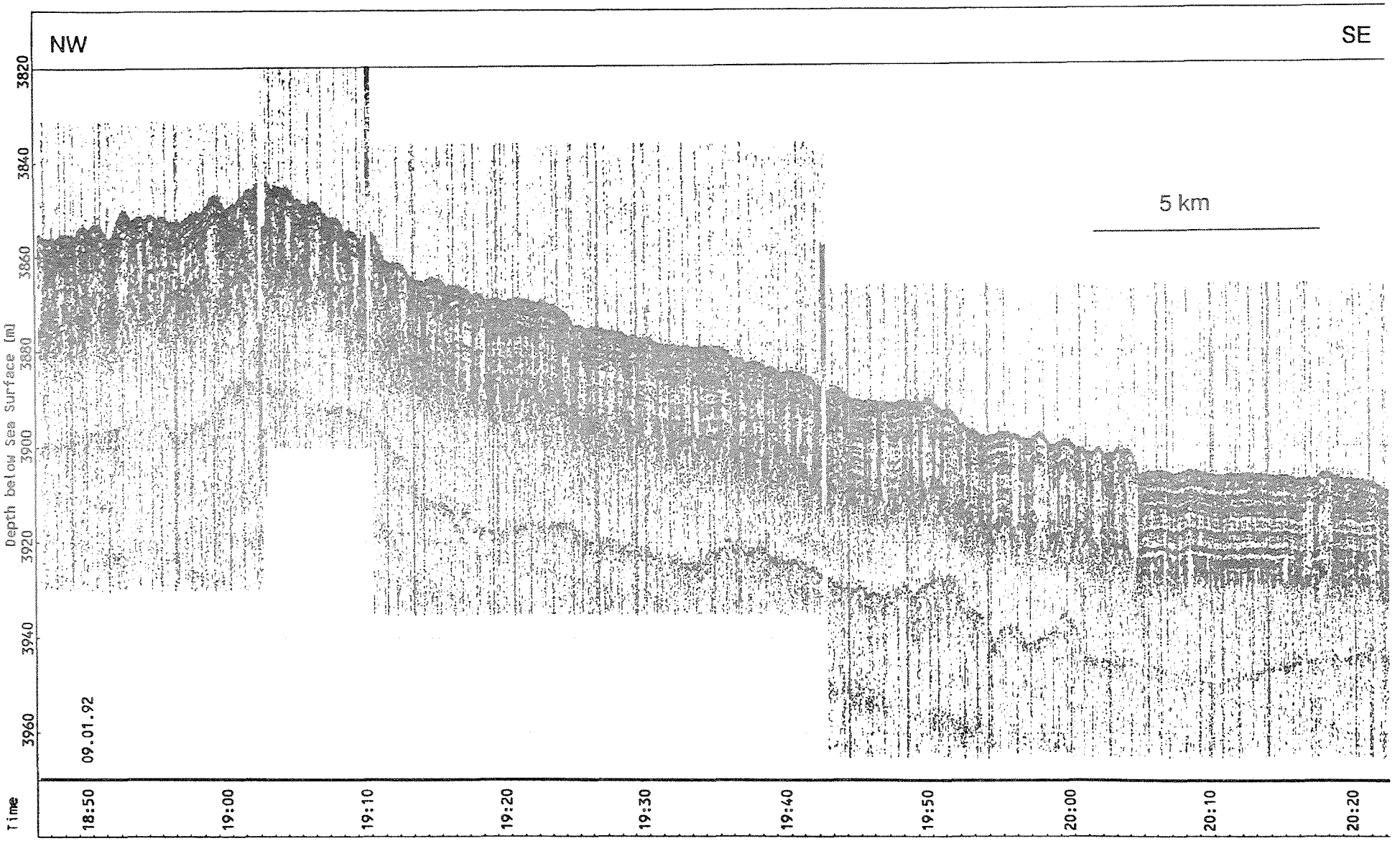


Abb. 17: Digitale PARASOUND Echogrammsektion parallel zum namibischen Kontinentalhang, aufgezeichnet zwischen 21°23,1'S/9°37,3'E und 21°36,8'S/9°44,3'E. AGC-Normierung mit einer Fensterlänge von 1,0 ms und einem Offset von 0,1 ms.

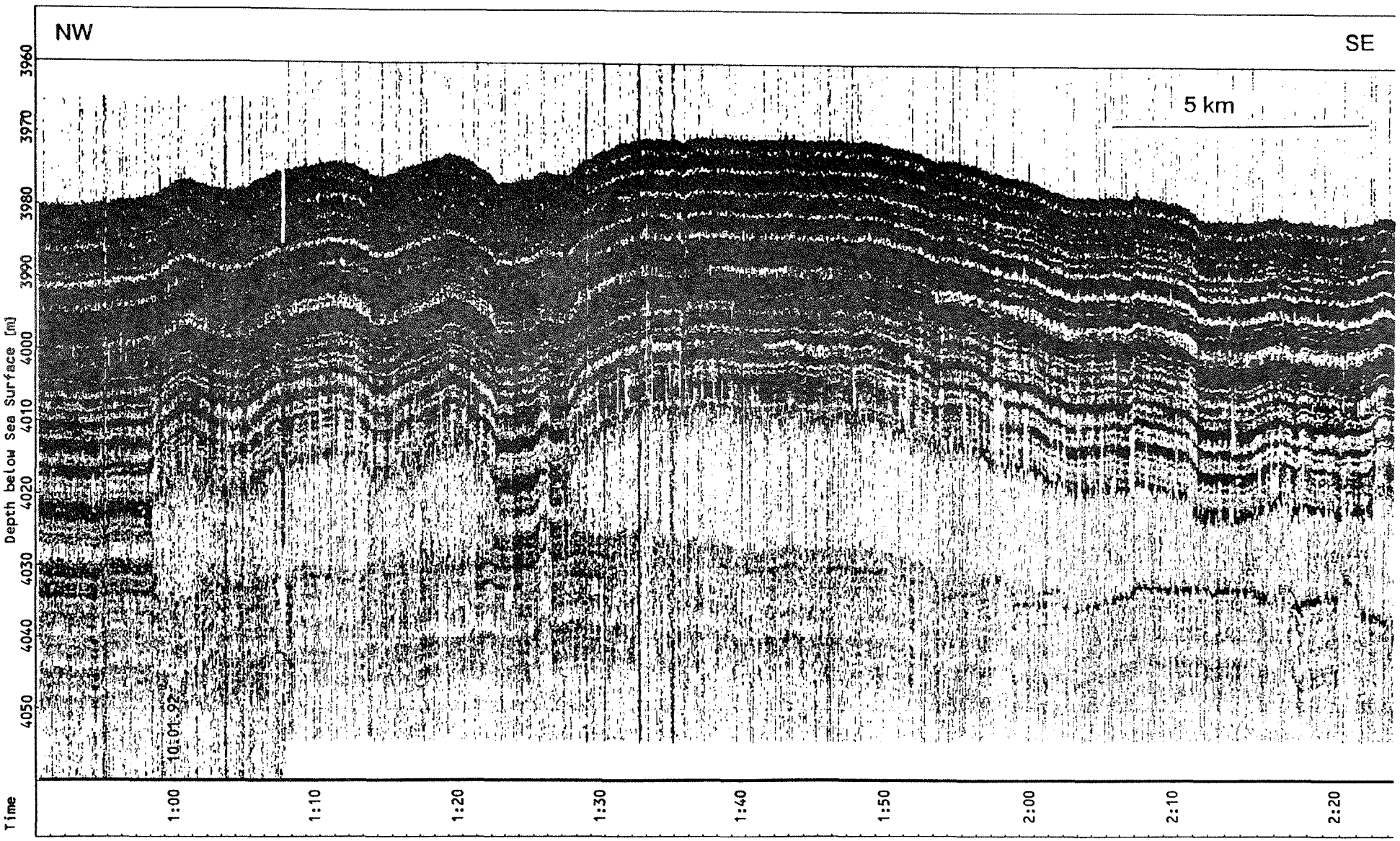


Abb. 18: Digitale PARASOUND Echogrammsektion parallel zum namibischen Kontinentalhang, aufgezeichnet zwischen 22°13,5'S/10°03,4'E und 22°25,9'S/10°09,7'E. AGC-Normierung mit einer Fensterlänge von 1,0 ms und einem Offset von 0,1 ms.

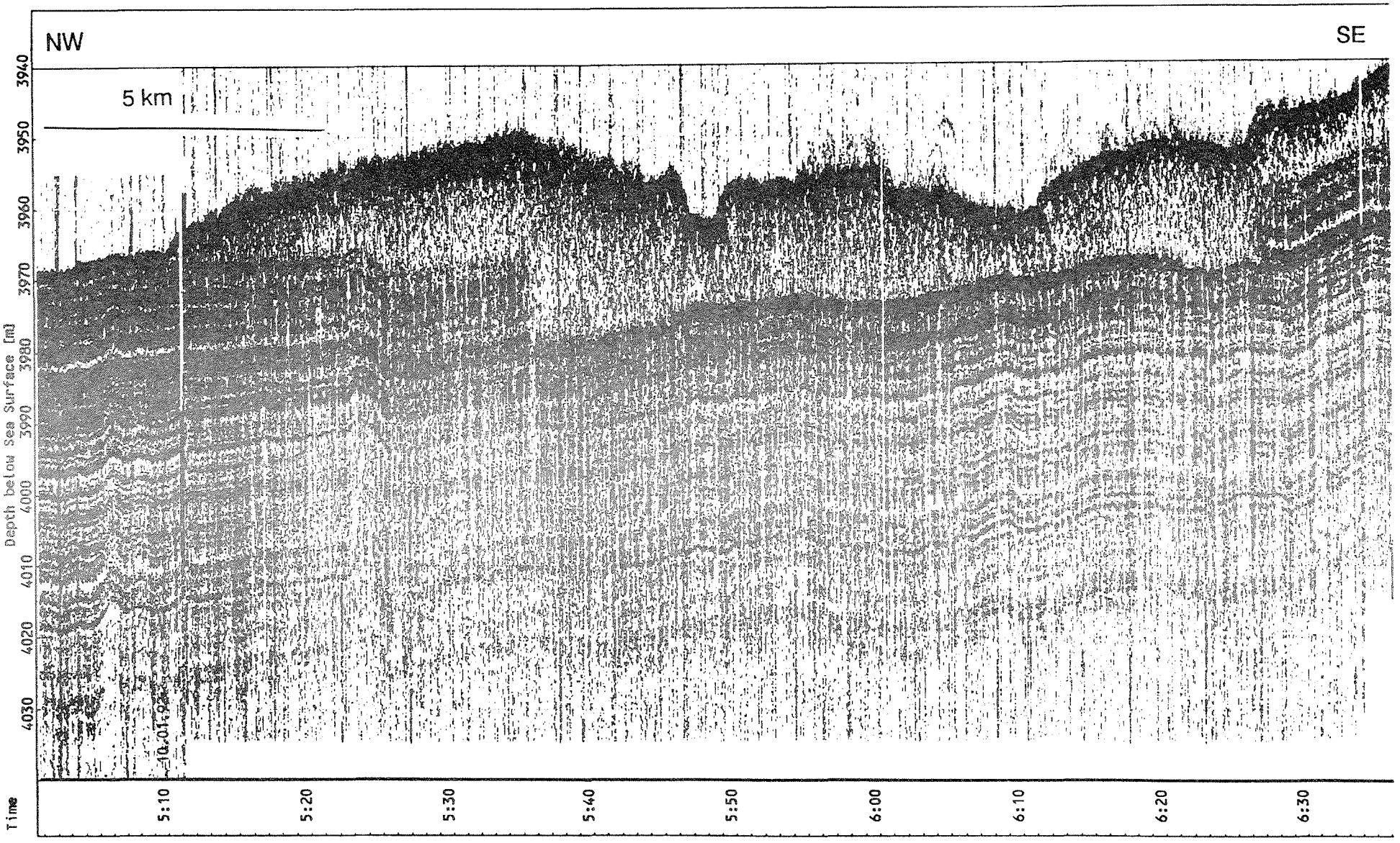


Abb. 19: Digitale PARASOUND Echogrammsektion parallel zum namibischen Kontinentalhang, aufgezeichnet zwischen 22°44,4'S/10°19,7'E und 22°55,7'S/10°25,2'E. AGC-Normierung mit einer Fensterlänge von 1,0 ms und einem Offset von 0,1 ms.

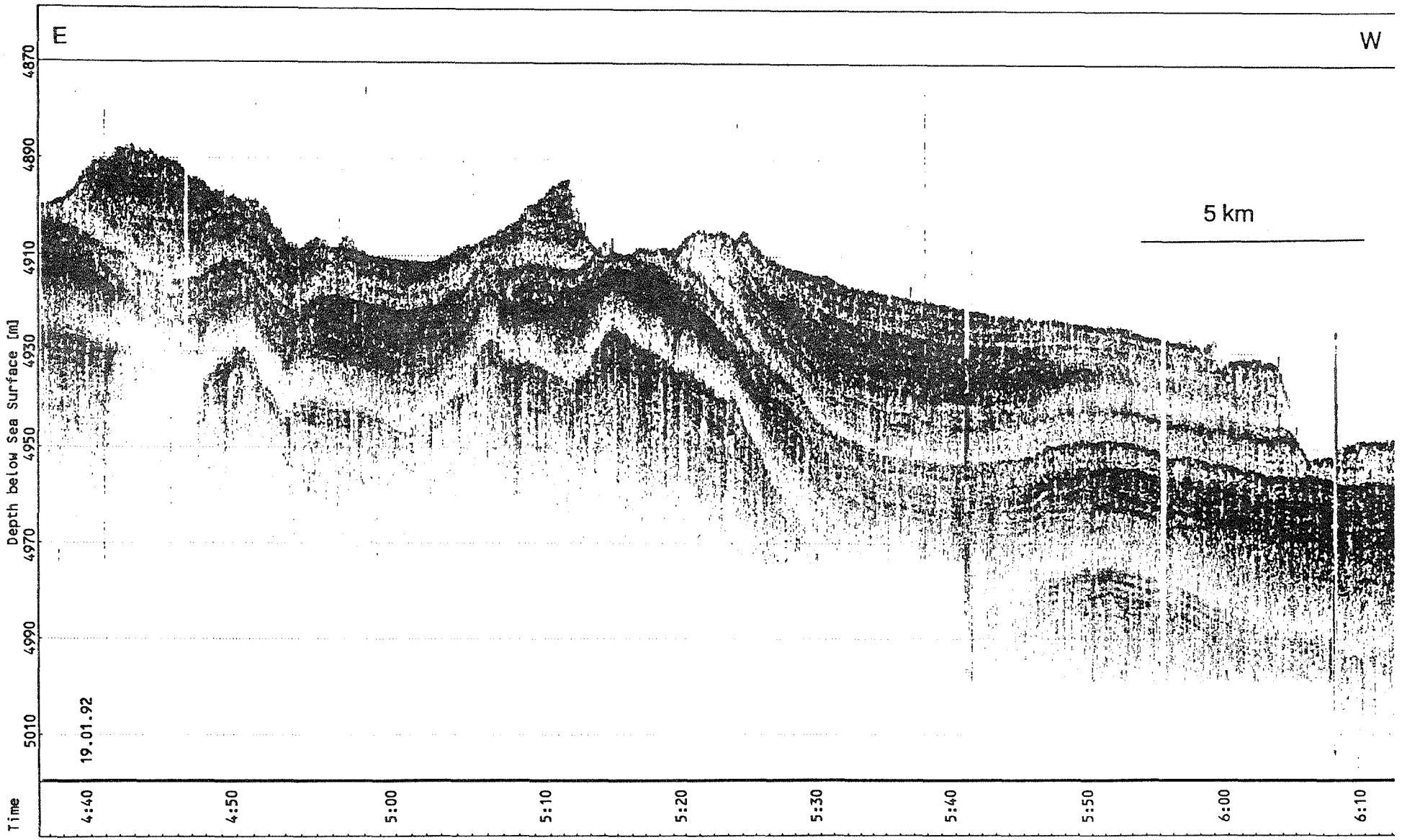


Abb. 20: Digitale PARASOUND Echogrammsektion aus dem Kap Becken, aufgezeichnet zwischen 29°46,7'S/9°38,8'E und 29°47,6'S/9°20,9'E. AGC-Normierung mit einer Fensterlänge von 1,0 ms und einem Offset von 0,1 ms.

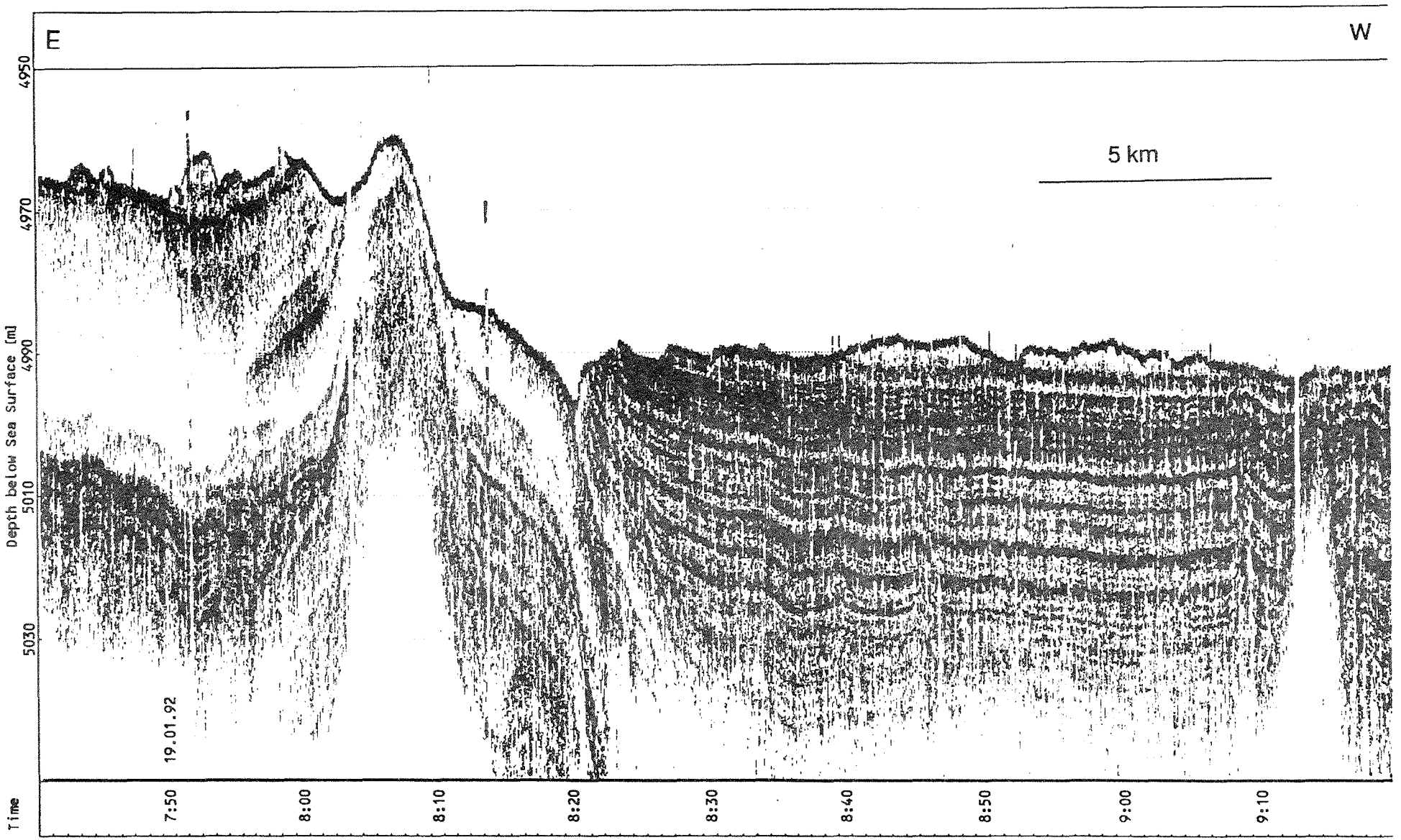


Abb. 21: Digitale PARASOUND Echogrammsektion aus dem Kap Becken, aufgezeichnet zwischen 29°50,1'S/9°04,4'E und 29°52,6'S/8°46,0'E. AGC-Normierung mit einer Fensterlänge von 1,0 ms und einem Offset von 0,1 ms.

weitere deutliche Reflexionshorizonte über eine Tiefe von etwa 20 m erkennen. Verschleppungen an den Seiten der Diapirstruktur sowie eine aufschiebungsähnliche Struktur führen auch hier zum Aufschluß älterer Sedimentschichten am Meeresboden.

4.1.2.4 Zusammenfassung

Die während des Fahrtabschnittes M 20/2 auf den Profilfahrten aufgezeichneten digitalen PARASOUND Profile zeigen eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Sedimentationsmuster und Sedimentstrukturen. Dies erklärt sich einerseits aus der Tatsache, daß sie sich über den gesamten Tiefenbereich vom Schelf (~ 100 m Wassertiefe) bis zur Tiefsee (~ 5000 m Wassertiefe) erstrecken. Ein großer Teil der Profilfahrten verlief relativ küstennah parallel zum Kontinentalhang und war dadurch für die Aufzeichnung von Rutschmassen und/oder Turbiditströmen prädestiniert. Bei Kernprofilen wurden zusätzlich die Sedimentstrukturen in Fallrichtung des Kontinentalhanges erfaßt. Unterschiedliche Eintrags- und Produktionsgebiete sollten eine weitere Ursache für die Variabilität der Sedimentationsmuster sein. So überwiegt im Bereich der drei Flußmündungen des Niger, Kongo und Kunene der terrigene, im Bereich des Hochproduktionsgebietes vor Namibia der biogene Eintrag. Generell weisen fast alle Aufzeichnungen im Vergleich zu den während früherer Fahrtabschnitte (M 12/1, M 16/1, M 16/2) registrierten Echogrammprofilen erheblich größere Signaleindringtiefen von durchschnittlich 60 bis 80 m auf.

Durch die Vervollständigung des PARADIGMA Systems um eine direkte Magnetbandspeicherung konnten gegenüber früheren Fahrtabschnitten deutlich niedrigere Registrierabstände realisiert und damit mehrere Signale jeder Pulsfolge aufgezeichnet werden. Dadurch wird einerseits eine klar verbesserte horizontale Auflösung in den Echogrammsektionen erreicht. Darüber hinaus ergibt sich für eine spätere Datenbearbeitung erstmals die Möglichkeit des Stapelns mehrerer benachbarter Spuren einer Pulsfolge, so daß das Signal-Rausch-Verhältnis wesentlich verbessert und damit die Nachweisbarkeit und Auflösung auch tief liegender Reflexionshorizonte optimiert werden kann.

4.2 Geräteeinsatz und Probennahme im Sediment

(D. Beese, B. Brügger, K. Dehning, V. Diekamp, I. Ehrhardt, W. Schmidt, R. Schneider, M. Scholz, H.D. Schulz, M. Segl)

Auf 29 Stationen vor den Mündungen von Niger, Kongo und Kunene, sowie auf 3 Profilen über den Kontinentalhang vor Namibia bei 20°, 23° und 29°S (Abb. 1) wurden Großkastengreifer, Multicorer und Schwerelot zur Probennahme im Sediment eingesetzt. Ein weiteres Profil wurde auf dem südli-

chen Walfisch-Rücken bei 30°S/3°E beprobt. Eine Übersicht über den Geräteeinsatz auf den Stationen gibt Tabelle 1.

4.2.1 Großkastengreifer

Geräte für die Gewinnung der oberflächennahen Sedimentschichten waren Großkastengreifer und Multicorer. Mit dem Großkastengreifer mit einer Fläche von 50 x 50 cm ließen sich die obersten 20 bis 50 cm Sediment beproben. Insgesamt 28 mal kam dieses Gerät zum Einsatz und erbrachte bei 27 Einsätzen verwendbare Sedimentproben. Die Tabellen 2 und 3 geben die Auflistung der entnommenen Oberflächen- und Kernproben und ihre Entnehmer.

Großkastengreifer-Beprobung:

Nach dem Absetzen des Greifers an Bord wurde das überstehende Wasser mit einem Schlauch abgesaugt und die Temperatur 6 cm tief im Sediment gemessen. Nach der Photographie der Oberfläche wurde die 50 x 50 cm große Fläche wie folgt beprobt:

- 1 Archivkern (ϕ 12 cm), gekühlt bei 5°C
- 1 Kern (ϕ 12 cm) für Geochemie
- 1 Kern (ϕ 12 cm) für Sedimentphysik
- 200 oder 400 cm^2 für Untersuchungen zur Verteilung der benthischen Foraminiferen, konserviert mit Bengalrosa/Ethanol - 200 cm^2 für Radiolarien-Untersuchungen, konserviert mit Bengalrosa/Ethanol
- 200 cm^2 tiefgefroren für organisch-geochemische Analysen
- 25 cm^2 für Diatomeen-Untersuchungen, konserviert mit Methanol
- 25 cm^2 für magnetische Bakterien
- 25 cm^2 für Radiolarien (Boltovskoy)
- 1 Spritzenprobe für Faunenzusammensetzung planktischer Foraminiferen (Pflaumann)
- 1 Spritzenprobe für Th/Be-Untersuchungen (Segl)
- 1 Spritzenprobe für Eisen (Canfield)
- 1 Spritzenprobe für für Ton-Mineral-Untersuchungen (Petschik)
- 1 Spritzenprobe für Blei-210-Untersuchungen (Zabel).

Anschließend wurde der Kasten ein wenig schräggestellt, ein Seitenteil abgeschraubt und die senkrechte Fläche etwa 1 cm tief abgetragen. Nach dem Photographieren der senkrechten Fläche wurden 4 Serien von Spritzenproben (10 ml) entnommen:

GeoB-Nr. Nr.	METEOR Reise M 20/2	Datum 1991/92	Gerät	Zeit Boden-kontakt (UTC)	Breite Nord N Süd S	Länge West W Ost E	Wasser-tiefe (m)	Kern-gewinn (cm)	Bemerkungen
NIGER-SEDIMENTFÄCHER									
1701-1	688/91	29.12.91	GKG+CTD	13:28	01°57,0 N	03°33,0 E	4163	24	Karbonatschl. (20 cm) auf terrig. Tonschlamm mit Pflanzenresten
1701-2			MC	15:51	01°57,0 N	03°33,0 E	4162	24	6 gr., 4 kl., Karbonatschlamm
1701-3			PROFILUR	17:49	01°57,3 N	03°33,2 E	4161		Aussetzen, Sauerstoff-Messung
		30.12.91		09:29	01°57,2 N	03°33,3 E	4164		im Sediment, Aufnahme
1701-4		29.12.91	SL18	19:26	01°57,0 N	03°33,1 E	4162	792	CC: Ton-/Siltschlamm, Glimmer
1701-5			SL18	21:55	01°57,1 N	03°33,1 E	4162	866	Geochemie
1701-6		30.12.91	MN+WS	00:10	01°57,0 N	03°32,7 E	4162		WS nicht ausgelöst, MN-Serie unvollständig
1701-7			MN+WS	01:18	01°56.9 N	03°32,6 E	4157		400, 200, 100, 40, 20 m
1701-8			MN+WS	01:59	01°56,8 N	03°32,6 E	4158		250, 100, 75, 50, 25 m
1701-9			MN+WS	03:00	01°56,9 N	03°32,4 E	4163		1000, 500, 300, 100, 50 m
KONGO-SEDIMENTFÄCHER									
1702-1	4/92	02.01.92	ELINOR	12:11	06°33,2 S	10°19,02'E	3107		vor Stationsbeginn ausgelegt
		03.01.92		13:53	06°33,5 S	10°19,1 E			Messung O_2-Verbr. im Boden- u. Porenwasser, Aufnahme
1702-2	4/92	03.01.92	ROS+CTD	07:46	06°33,4 S	10°19,3 E	3078		17x10 l, 20-3050 m, ^{13}C, ^{18}O, Nährstoffe
1702-3			PROFILUR	09:13	06°33,2 S	10°19,0 E	3138		Aussetzen, Sauerstoff-Messung
				18:54	06°31,6 S	10°19,0 E			im Sediment, Aufnahme
1702-4			SL18	10:24	06°33,9 S	10°19,1 E	3083	1207	Geochemie
1702-5			SL18	12:27	06°33,7 S	10°19,0 E	3083	1576	CC: Tonschlamm, olivgrün
1702-6			GKG+CTD	15:16	06°34,0 S	10°19,0 E	3088	50	Tonschl., olivgrün, Foraminif.
1702-7			MC	17:07	06°33,9 S	10°19,0 E	3094	38-42	6 gr., 4 kl., Tonschl., Foraminif.
1702-8			MN	20:05	06°31,6 S	10°19,2 E	3020		1000, 500, 300, 100, 50 m
1702-9			MN	21:24	06°32,0 S	10°19,3 E	3106		400, 200 (unvollst.), 100, 40, 20m
1702-10			MN	22:05	06°32,1 S	10°19,4 E	3099		250, 100, 75, 50, 25 m
KUNENE-MÜNDUNG									
1703-1	10/92	06.01.92	ELINOR	13:02	17°26,8 S	11°00,8 E	1747		vor Stationsbeginn ausgelegt
		07.01.92		00:42	17°26,8 S	11°00,9 E			Messung O_2-Verbr. im Boden- u. Porenwasser, Aufnahme
1703-2		06.01.92	PROFILUR	13:09	17°26,8 S	11°00,9 E	1753		Aussetzen, Sauerstoff-Messung
				21:00	17°26,2 S	10°59,9 E			nur im Bodenwasser, Aufnahme
		07.01.92	PROFILUR	00:06	17°26,8 S	11°01,0 E	1730		2. Aussetzen, Sauerstoff-Messg.
				04:11	17°26,5 S	11°00,7 E			im Sediment, 2. Aufnahme
1703-3		06.01.92	MC	13:54	17°27,2 S	11°01,0 E	1771	23-25	6 gr., 4 kl., Tonschl., Foraminif.
1703-4			GKG+CTD	15:21	17°27,2 S	11°01,0 E	1765		nicht ausgelöst
1703-5			GKG	16:28	17°27,1 S	11°01,0 E	1769	42	Tonschl., olivgrün, Foraminif.

Tab. 1: Stationsliste der Reise M 20/2.

GeoB-Nr.	METEOR Reise M 20/2	Datum 1991/92	Gerät	Zeit Boden-kontakt (UTC)	Breite Nord N Süd S	Länge West W Ost E	Wasser-tiefe (m)	Kern-gewinn (cm)	Bemerkungen
KUNENE-MÜNDUNG Fortsetzung									
1703-6			SL18	17:50	17°27,0 S	11°01,1 E	1751	330	Rohr verbogen, CC: Tonschlamm, H_2S
1703-7			SL6	19:50	17°27,0 S	11°01,0 E	1757	585	Geochemie, 0-10 cm Beutelprb.
1703-8			SL12	21:59	17°27,1 S	11°00,9 E	1781	440	Geochemie, CC: Tonschl., H_2S
1703-9			SL12	23:17	17°27,0 S	11°01,0 E	1774	538	CC: Tonschlamm, olivgrün, H_2S
1703-10		07.01.92	ROS+CTD	01:44	17°26,6 S	11°00,6 E	1776		16x10 l, 20-1650 m, ^{13}C, ^{18}O, Nährstoffe
1703-11			MN	03:06	17°26,7 S	11°00,6 E	1724		1000, 500, 300, 100, (50) m
1703-12			MN	04:37	17°26,5 S	11°00,5 E	1729		400, 200, 100, 40, 20 m
1703-13			MN	05:16	17°26,3 S	11°00,4 E	1719		250, 100, 75, 50, 25 m
PROFIL A, WALFISCH-RÜCKEN									
1704-1	11/92	07.01.92	GKG+CTD	17:43	19°24,4 S	11°36,7 E	399	43	Foraminif.sand, tonig, grüngrau
1704-2			MC	18:20	19°24,3 S	11°36,7 E	395	34-38	6 gr., 4 kl., Foraminiferensand
1704-3			SL12	19:18	19°24,3 S	11°36,6 E	400	597	Geochemie
1704-4			SL12	19:49	19°24,4 S	11°36,7 E	398	631	CC: Tonschlamm, olivgrün, Foraminiferen, H_2S
1705-1	12/92	07.01.92	SL12	22:08	19°30,3 S	11°23,9 E	642	1073	CC: Tonschlamm, olivgrün, Foraminiferen, H_2S
1705-2			GKG+CTD	23:10	19°30,0 S	11°22,9 E	647	45	Tonschl., olivgrün, Foraminif.
1706-1	13/92	08.01.92	GKG+CTD	01:27	19°33,7 S	11°10,5 E	980	40	Tonschl., olivgrün, Foraminif.
1706-2			SL12	02:35	19°33,7 S	11°10,5 E	980	1120	CC: Tonschlamm, olivgrün, Foraminiferen, H_2S
1707-1	14/92	08.01.92	SL12	06:57	19°41,4 S	10°39,4 E	1232	1126	CC: Tonschlamm, olivgrün, Foraminiferen, H_2S
1707-2			GKG+CTD	08:22	19°41,7 S	10°39,3 E	1234	36	Tonschl., olivgrün, Foraminif.
1708-1	15/92	08.01.92	ELINOR	20:14	20°05,8 S	08°58,0 E	2321		Aussetzen, Messg. O_2-Verbr. im
		09.01.92		06:46	20°06,0 S	08°57,6 E			Boden- u. Porenwasser, Aufnah.
1708-2		08.01.92	PROFILUR	20:16	20°05,8 S	08°58,0 E	2321		Aussetzen, Sauerstoff-Mess. im
		09.01.92		03:12	20°05,4 S	08°57,6 E			Bodenwasser u. Sedim., Aufnah.
		08.01.92		20:40					Ausfall Schiebebalken, deshalb kein Einsatz von GKG, MC und SL auf Station 1708
1708-3	15/92	08.01.92	ROS+CTD	21:58	20°05,8 S	08°58,1 E	2301		18x10 l, 20-2100 m, ^{13}C, ^{18}O, Nährstoffe
1708-4			MN	23:29	20°06,2 S	08°58,0 E	2302		1000, 500, 300, 100, 50 m
1708-5		09.01.92	MN	00:45	20°06,0 S	08°57,9 E	2273		400, 200, 100, 40, 20 m
1708-6			MN	01:42	20°06,4 S	08°57,9 E	2273		250, 100, 75, 50, 25 m
1708-7			JVWR4	06:57-10:01	20°05,8 S	08°58,0 E			Aufnahme, alle 40 Cups gefüllt, 2 Fallen, WT 650, WT 1700

Tab. 1, Fortsetzung: Stationsliste der Reise M 20/2.

GeoB-Nr. Nr.	METEOR Reise M 20/2	Datum 1991/92	Gerät	Zeit Boden-kontakt (UTC)	Breite Nord N Süd S	Länge West W Ost E	Wasser-tiefe (m)	Kern-gewinn (cm)	Bemerkungen
PROFIL B, NAMIBIA KONTINENTALHANG (Einsatz GKG, MC über Heckgalgen, CTD nur mit ROS)									
1709-1	16/92	10.01.92	SL12	14:50	23°35,1 S	10°46,0 E	3827	1055	CC: Karbonatschlamm, H_2S
1709-2			MC	17:44	23°35,3 S	10°45,7 E	3833	--	vorzeitig ausgelöst, Rohre leer
1709-3			GKG	20:10	23°35,3 S	10°45,5 E	3837	15	Karbonatschl., Oberfl. gestört
1710-1	17/92	11.01.92	GKG	04:36	23°25,8 S	11°41,4 E	2995	30	Karbonatschl., keine Oberfläche
1710-2			GKG	06:48	23°25,8 S	11°42,2 E	2987	33	Karbonatschl., weiß, Foraminif.
1710-3			SL12	09:17	23°25,9 S	11°41,9 E	2987	1045	CC: Karbonatschl., weißgrün
1711-1	18/92	11.01.92	PROFILUR	14:54	23°20,4 S	12°22,8 E	1953		Aussetzen, Sauerstoff-Mess. im
				22:22	23°19,9 S	12°22,1 E			Bodenwasser u. Sedim., Aufnah.
1711-2			ELINOR	15:08	23°20,4 S	12°22,9 E	1949		Aussetzen, Mess. O_2-Verbr. im
		12.01.92		02:40	23°20,3 S	12°22,0 E			Boden- u. Porenwasser, Aufnah.
1711-3		11.01.92	SL12	16:25	23°19,3 S	12°22,7 E	1963	1111	Geochemie
1711-4			SL12	17:45	23°18,9 S	12°22,6 E	1967	1066	CC: Tonschl., olive, H_2S, Foram.
1711-5			GKG	19:40	23°19,0 S	12°22,7 E	1964	29	Karbonatschl., grünweiß, Foram.
1711-6			MC	21:10	23°19,0 S	12°22,4 E	1975	22	3 gr., 4kl., Rest ausgespült
1711-7			ROS+CTD	23:24	23°20,0 S	12°21,9 E	1987		18x10 l, 20-1900 m, ^{13}C, ^{18}O, Nährstoffe
1711-8		12.01.92	MN	01:19	23°20,1 S	12°21,9 E	1987		1000, 500, 300, 100, 50 m
1711-9			MN	03:11	23°20,4 S	12°22,1 E	1977		400, 200, 100, 40, 20 m
1711-10			MN	03:50	23°20,6 S	12°22,4 E	1968		250, 100, 75, 50, 25 m
1712-1	19/92	12.01.92	MC	07:14	23°15,2 S	12°48,3 E	1004	34	6 gr., 4 kl., Tonschlamm, olive
1712-2			GKG	08:17	23°15,3 S	12°48,2 E	1007	37	Tonschlamm, olive, Foraminif.
1712-3			SL12	09:38	23°15,3 S	12°48,3 E	1003	1057	Geochemie
1712-4			SL12	10:40	23°15,4 S	12°48,5 E	998	1029	Tonschlamm, olive, H_2S, Foram.
1713-1	20/92	12.01.92	ELINOR	13:16	23°14,4 S	13°00,8 E	604		Aussetzen, Mess. O_2-Verbr. im
				19:47	23°13,8 S	13°00,9 E			Boden- u. Porenwasser, Aufnah.
1713-2			PROFILUR	13:20	23°14,4 S	13°00,9 E	604		Aussetzen, Sauerstoff-Mess. im
				19:32	23°13,8 S	13°00,9 E			Bodenwasser u. Sedim., Aufnah.
1713-3			SL12	14:00	23°13,2 S	13°00,8 E	600	361	Geochemie
1713-4			SL6	14:40	23°13,2 S	13°00,7 E	600	324	CC: Tonschl., sandig, olive, Schill
1713-5			MC	15:44	23°13,0 S	13°00,7 E	600	18-32	6 gr.,4 kl., Tonschl., sandig, olive
1713-6			GKG	16:27	23°13,2 S	13°00,9 E	597	43	Tonschl., sandig, Phosphorite
1713-7			MN+WS	17:20	23°13,3 S	13°01,0 E	592		400, 200, 100, 40, 20 m
1713-8			MN+CTD	18:17	23°13,4 S	13°01,3 E	587		400, 160, 100, 40, 25 m
1713-9			MN	18:57	23°13,4 S	13°01,4 E	583		Anzeige f. Seillänge falsch, wiederholen
1713-10			MN	19:55	23°13,8 S	13°00,9 E	600		250, 100, 75, 50, 25 m
1714-1	21/92	13.01.92	GKG	00:02	23°08,2 S	13°32,5 E	200	26	Feinsand, tonig, olive; Phosphorite, Mollusken, Knochenreste und Zähne
		13.01.92							Anlaufen Walfisch Bucht, Übernahme von Ersatzteilen für Reparatur des Schiebebalkens

Tab. 1, Fortsetzung: Stationsliste der Reise M 20/2.

GeoB-Nr. Nr.	METEOR Reise M 20/2	Datum 1991/92	Gerät	Zeit Boden-kontakt (UTC)	Breite Nord N Süd S	Länge West W Ost E	Wasser-tiefe (m)	Kern-gewinn (cm)	Bemerkungen
KONTINENTALHANG NAMIBIA									
1715-1	22/92	14.01.92	GKG	15:29	26°28,6 S	11°38,2 E	4097	28	Karbonatschl., weiß, Foraminif.
1715-2			SL12	18:20	26°28,1 S	11°38,1 E	4096	1242	CC: Karbonatschlamm., 0-92 cm im Gewicht
1715-3			MC+CTD	21:29	26°28,2 S	11°38,3 E	4095	16-18	6 gr.,4 kl., Karbonatschl., Foram.
1716-1	23/92	15.01.92	MC	14:39	27°57,1 S	14°00,2 E	1485	19-21	5 gr.,3 kl., Karbonatschl., Foram.
1716-2			GKG+CTD	15:52	27°57,3 S	14°00,3 E	1481	31	Karbonatschl., weißgrün, Foram.
1716-3			SL12	17:17	27°57,6 S	14°00,2 E	1479	1131	CC: Karbonatschl., olive, Foram.
1717-1	24/92	15.01.92	SL12	21:28	28°12,6 S	14°25,4 E	603	259	Rohr verbogen, Feinsand, Phosphorite
1717-2			GKG+CTD	22:44	28°12,5 S	14°25,4 E	603	25	Feinsand, tonig, braun, Phosphorite
PROFIL C, KONTINENTALHANG NAMIBIA bis TIEFSEE									
1718-1	25/92	16.01.92	GKG	04:45	28°42,5 S	15°12,6 E	167	31	Feinsand, tonig, oliv, Schill
1719-1	26/92	16.01.92	ELINOR	11:49	28°57,1 S	14°10,5 E	1015		Aussetzen, Mess. O_2-Verbr. im
				19:38	28°56,7 S	14°10,3 E			Boden- u. Porenwasser, Aufnah.
1719-2			PROFILUR	11:55	28°57,1 S	14°10,5 E	1021		Aussetzen, Sauerstoff-Mess. im
				18:08	28°56,7 S	14°10,7 E			Bodenwasser u. Sedim., Aufnah.
1719-3			JVNU1	12:56	28°54,1 S	14°09,5 E	1075		Ausgelegt, 1 Falle in 500 m WT.
1719-4			MC	13:48	28°55,6 S	14°10,4 E	1023	19-21	6 gr.,4 kl., Karbonatschl., Foram.
1719-5			GKG+CTD	14:45	28°55,5 S	14°10,4 E	1024	31	Karbonat/Tonschl., oliv, Foram.
1719-6			SL12	15:57	28°55,5 S	14°10,3 E	1030	1086	Geochemie
1719-7			SL12	16:58	28°55,6 S	14°10,7 E	1010	1067	CC: Tonschl., oliv, wenig Foram.
1719-8			ROS+CTD	18:49	28°56,6 S	14°10,8 E	1006		14x10 l, 20-950 m, ^{13}C, ^{18}O, Nährstoffe; keine Multinetze wegen starkem Wind u. Seegang
1720-1	27/92	16.01.92	SL12	23:06	28°59,7 S	13°50,4 E	2006	935	Geochemie, Karbonatschl., H_2S
1720-2		17.01.92	SL12	00:38	28°59,7 S	13°50,1 E	1997	885	CC: Karbonatschlamm, weißgrün, Foraminiferen
1720-3			MC	02:28	28°59,9 S	13°50,2 E	2004	16-17	6 gr.,4 kl., Karbonatschl., Foram.
1720-4			GKG+CTD	04:05	29°00,0 S	13°49,7 E	2011	19	Karbonatschl., weißgrün, Foram.
1721-1	28/92	17.01.92	ELINOR	09:43	29°11,6 S	13°05,4 E	3091		Aussetzen, Mess. O_2-Verbr. im
				20:22	29°09,4 S	13°04,9 E			Boden- u. Porenwasser, Aufnah.
1721-2			PROFILUR	09:49	29°11,6 S	13°05,4 E	2960		Aussetzen, Sauerstoff-Mess. im
				19:39	29°10,2 S	13°04,9 E			Bodenwasser u. Sedim., Aufnah.
1721-3			JVNU2	11:43	29°12,0 S	13°07,0 E	3055		Ausgelegt, 2 Fallen 720 m, 2500 m WT
1721-4			GKG+CTD	13:26	29°10,5 S	13°05,3 E	3079	31	Karbonatschl., tonig, beige, Foraminiferen
1721-5			MC	15:14	29°10,4 S	13°05,4 E	3045	21-23	6 gr.,4 kl., Karbonatschl., Foram.
1721-6			SL12	17:23	29°10,3 S	13°05,1 E	3051	973	Geochemie, Karbonatschl.
1721-7			SL12	19:18	29°10,1 S	13°04,9 E	3044	998	CC: Karbonatschl., grünweiß, Foraminiferen

Tab. 1, Fortsetzung: Stationsliste der Reise M 20/2.

GeoB-Nr. Nr.	METEOR Reise M 20/2	Datum 1991/92	Gerät	Zeit Boden-kontakt (UTC)	Breite Nord N Süd S	Länge West W Ost E	Wasser-tiefe (m)	Kern-gewinn (cm)	Bemerkungen
PROFIL C, KONTINENTALHANG NAMIBIA bis TIEFSEE, Fortsetzung									
1721-8			ROS+CTD	22:20	29°08,8 S	13°05,0 E	3027		18x10 l, 20-2900 m, ^{13}C, ^{18}O, Nährstoffe
1721-9			MN	23:38	29°08,3 S	13°05,0 E	3013		250, 100, 75, 50, 25 m
1721-10		18.01.92	MN	00:37	29°08,1 S	13°04,7 E	3015		1000, 500, 300, 100, 50 m
1721-11			MN	01:36	29°08,0 S	13°04,6 E	3016		400, 200, 100, 40, 20 m
1722-1	29/92	18.01.92	SL12	10:35	29°27,0 S	11°45,0 E	3973	1032	CC: Karbo.Schl., beige, Foram.
1722-2			MC	13:19	29°27,0 S	11°45,0 E	3974	19-21	5 gr., 3 kl., Karbonatschl., beige
1722-3			GKG+CTD	15:55	29°26,9 S	11°45,0 E	3971	32	Karbo.Schl., tonig, beige, Foram.
1723-1	30/92	19.01.92	SL12	11:36	29°53,4 S	08°39,9 E	4984	620	CC: braun. Tiefseeton, 0-120 cm durch Probennahme gestört
1724-1	31/92	19.01.92	PROFILUR	17:02	29°59,0 S	08°02,8 E	5086		Aussetzen, Sauerstoff-Mess. im
		20.01.92		03:56	29°56,2 S	08°00,7 E			Bodenwasser u. Sedim., Aufnah.
1724-2		19.01.92	SL12	18:48	29°58,2 S	08°02,3 E	5084	745	CC: brauner Tiefseeton
1724-3			MC	22:23	29°58,3 S	08°02,5 E	5102	37	4 gr., 4 kl., brauner Tiefseeton
1724-4		20.01.92	GKG+CTD	01:45	29°58,3 S	08°02,5 E	5102	37	Brauner Tiefseeton, Mn-Knollen
PROFIL D, SÜDLICHER WALFISCH-RÜCKEN									
1725-1	32/92	21.01.92	GKG+CTD	05:32	30°10,4 S	03°05,0 E	972		Oberfl. teilweise ausgelaufen, Foraminiferensand
1726-1	33/92	21.01.92	GKG	07:43	30°16,2 S	03°15,7 E	1007	12	teilw. ausgelaufen, Foram.-sand
1726-2			GKG	08:47	30°16,2 S	03°15,7 E	1006	26	Foraminiferensand, weißgelb
1726-3			MC	10:01	30°16,1 S	03°15,9 E	1007	9-10	2 kl., andere Rohre leer, Foraminiferensand
1726-4			SL6	11:34	30°16,1 S	03°15,8 E	1008	--	Rohr ausgespült
1726-5			SL6	12:42	30°16,2 S	03°15,7 E	1006	--	Rohr leer, bei Bodenkontakt umgekippt
1727-1	34/92	21.03.92	SL6	17:13	30°00,2 S	02°45,3 E	1303	--	Rohr leer
1728-1	35/92	21.01.92	SL6	20:59	29°50,2 S	02°25,4 E	2883	441	CC: Karbonatschl., weiß, Foram.
1728-2			MC	23:37	29°50,2 S	02°25,4 E	2884	5-6	1 kl., 3 gr., Karbonatschl., weiß
1728-3		22.01.92	GKG+CTD	01:34	29°50,3 S	02°24,4 E	2887	11	Karbonatschl., weiß, Foraminif.
1729-1	36/92	22.01.92	GKG+CTD	19:44	28°53,5 S	01°00,1 E	4401	28	Karbonatschl., beige, Foraminif.
1729-2			MC	22:41	28°53,5 S	01°00,1 E	4401	10	5 gr., 4 kl., Karbonatschl., beige
1729-3		23.01.92	SL12	01:51	28°53,6 S	01°00,1 E	4401	745	CC: Karbonatschl., fest, Foram.
1729-4			MN	03:25	28°53,4 S	01°00,1 E	4399		500, 300, 200, 100, 50 m
1729-5			MN	04:07	28°53,5 S	00°59,9 E	4396		250, 100, 75, 50, 25 m
1729-6			ROS+CTD	05:18	28°53,0 S	00°59,4 E	4395		18x10 l, 20-2800 m, ^{13}C, ^{18}O, Nährstoffe

Tab. 1, Fortsetzung: Stationsliste der Reise M 20/2.

Sta.-Nr. GeoB	Wasser-tiefe (m)	Kern-länge (cm)	Archiv-Geoph.-Rohr	Geoch.-Rohr	Smear-slides, alle 3 cm	A,B,C,-Serie	Mikrob. Gumpr. alle 3-10 cm	Mikrob. Gerlach	Bakter. Peterm.	Fe Canf.	Ton Petsch. nur 5 cm	Frakt. > 1mm	Kern-fotos
1701-1	4163	24	x	x	9	9	6	6	4	x	x	4	2
1702-6	3088	50	x	x	6	17	7	6	11	x	x	4	2
1703-5	1769	42	x	x	5	14	7	6	8	x	x	4	2
1704-1	399	43	x	x	5	15	–	5	8	x	x	4	2
1705-2	647	45	x	–	5	14	–	–	8	x	x	4	2
1706-1	980	40	x	x	4	12	–	–	5	x	x	4	2
1707-2	1234	36	x	x	4	10	–	–	5	x	x	4	2
1709-3	3837	15	x	–	–	5	–	–	–	–	–	–	–
1710-2	2987	33	x	x	5	10	–	–	5	x	x	4	2
1711-5	1964	29	x	x	5	10	5	5	5	x	x	4	2
1712-2	1007	37	x	x	6	12	–	–	6	x	x	4	2
1713-6	597	43	x	x	6	12	–	–	8	x	x	4	2
1714-1	200	26	x	x	–	7	–	–	4	x	x	4	3
1715-1	4097	28	x	x	5	9	–	–	5	x	x	4	2
1716-2	1481	31	x	x	6	11	–	–	6	x	x	4	2
1717-2	603	25	x	x	4	9	–	–	4	x	x	4	2
1718-1	167	31	x	x	6	11	–	–	6	x	x	4	2
1719-5	1024	31	x	x	6	11	6	5	6	x	x	4	–
1720-4	2011	19	x	x	6	6	–	–	3	x	x	3	–
1721-4	3079	31	x	x	10	10	5	5	5	x	x	4	2
1722-3	3971	32	x	x	6	11	–	–	6	x	x	4	2
1724-4	5102	37	x	x	7	13	9	6	6	x	x	4	2
1725-1	972	20	nur Beprobung der Oberfläche										1
1726-1	1007	12	nur Beprobung der Oberfläche										1
1726-2	1006	26	x	x	5	9	–	–	5	x	x	4	2
1728-3	2887	11	x	x	3	4	–	–	1	x	x	2	2
1729-1	4401	28	x	x	5	10	–	–	5	x	x	4	2

Tab. 2: GKG-Probenliste: Anzahl Kernproben.

- für Fauna- und Isotopen-Untersuchungen im 3 cm-Abstand,
- parallel dazu Smear-slides für sedimentphysikalische Parameter und geochemische Untersuchungen in 3 cm-Abstand
- für Dinoflagellaten in 3 cm-Abstand
- für magnetische Bakterien im 5 cm-Abstand.

An ausgewählten Stationen (Kap. 4.9.) wurden weitere Spritzenproben (30-50 ml) in 3 bis 10 cm-Abständen für mikrobiologische Untersuchungen gezogen. Das verbleibende Material wurde in 4 Schichten (0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm und 20 cm bis max. Eindringtiefe) durch ein 1 mm-Sieb geschlämmt. Der Rückstand wurde bei 60°C getrocknet.

Sta.-Nr. GeoB	Wasser-tiefe (m)	Forams Wefer (cm^2)	C_{org} Müller (cm^2)	Radiol. Abelm. (cm^2)	Radiol. Boltov. (cm^2)	Diatom. Treppke (cm^2)	Bakter. Peterm. (cm^2)	Forams Pflaum. Spritze, (ml)	Th/Be Segl	Fe Canf.	Ton Petsch.	Pb210 Zabel
1701-1	4163	400	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1702-6	3088	400	200	200	25	25	25	10	x	--	x	x
1703-5	1769	400	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1704-1	399	400	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1705-2	647	400	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1706-1	980	400	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1707-2	1234	400	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1709-3	3837	400	200	--	--	25	--	--	x	--	--	x
1710-2	2987	400	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1711-5	1964	400	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1712-2	1007	400	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1713-6	597	400	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1714-1	200	400	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1715-1	4097	400	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1716-2	1481	400	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1717-2	603	400	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1718-1	167	200	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1719-5	1024	400	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1720-4	2011	200	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1721-4	3079	400	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1722-3	3971	400	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1724-4	5102	400	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1725-1	972	400	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1726-1	1007	400	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1726-2	1006	400	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1728-3	2887	400	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x
1729-1	4401	400	200	200	25	25	25	10	x	x	x	x

Tab. 3: GKG-Probenliste: Oberflächenproben.

4.2.2 Multicorer

Zur Gewinnung von völlig ungestörten Oberflächen und überstehendem Bodenwasser wurde ein Multicorer, versehen mit 6 Rohren mit 10 cm und 4 Rohren mit 6 cm Durchmesser, eingesetzt. Der Multicorer kam vor allem wegen der geochemischen Untersuchungen parallel zu dem Großkastengreifer an 18 Stationen zum Einsatz. Bei diesen Einsätzen waren bei 10 Stationen alle und bei weiteren 7 eine ausreichende Anzahl von Rohren gefüllt, um den Probenbedarf abzudecken. Die Verteilung der mit Sediment gefüllten Multicorer-Rohre ist in Tabelle 4 dargestellt. Drei große Rohre wurden für Untersuchungen an Foraminiferen und zur organischen Geochemie (Teilprojekt A1, A4, B1, B2, SfB 261) in 1 cm mächtige Sedimentproben geteilt und verpackt. An jeweils einem Rohr wurde eine Bodenwasserprobe für Isotopenuntersuchungen abgesaugt. Die Faunaproben wurden

mit Ethanol und Bengalrosa vergiftet und gefärbt. Das geochemische Probenmaterial und die Archivkerne wurden eingefroren. Die Beprobung der anderen zur geochemischen und mikrobiologischen Bearbeitung vorgesehenen Rohre ist in den entsprechenden Kapiteln dieses Berichts beschrieben.

Sta.-Nr. GeoB	Wasser-tiefe (m)	Kern-länge (cm)	10 cm Rohre 1	2	3	4	5	6	6 cm Rohre 1	2	3	4
1701-2	4162	24	F	F	C,BW	G	O,A	O,A	MA	A	A	A
1702-7	3094	38-42	F	F	C,BW	G	A	A	MA	MA	O	O
1703-3	1771	23-25	F	F	C,BW	G	A	O	MA	MA	A	O
1704-2	395	34-38	F	F	C,BW	A	A	O	MA	MA	O	A
1711-6	1975	22	F,BW	C	G	–	–	–	MA	O	O,C	A
1712-1	1004	34	F	F	C,BW	G	A	A	MA	O	O	A
1713-5	600	18-32	F	F	C,BW	G	A	A	O	O	A	–
1715-3	4095	16-18	F	F	C,BW	G	A	A	MA	A	–	–
1716-1	1485	19-21	F	F	C,BW	G	A	–	MA	O	A	–
1719-4	1023	19-21	F	F	C,BW	G	A	A	MA	O	O	A
1720-3	2004	16-17	F	F	C,BW	G	A	A	MA	MA	O	A
1721-5	3045	21-23	F	F	C,BW	G	A	MB	MA	O	O	A
1722-2	3974	19-21	F	F	C,BW	G	A	–	MA	O	O	–
1724-3	5102	37	F	F	C,BW	G	–	–	MA	O	O	A
1726-3	1007	9-10	–	–	–	–	–	–	G	O	–	–
1728-2	2884	5-6	F	C,BW	G	–	–	–	A	–	–	–
1729-2	4401	10	F	F	C,BW	G	A	–	MA	A	A	A

Abkürzungen:
F: benth. & plankt. Foraminiferen, 1 cm Scheiben
G: Geochemie, Porenwasser
O: Sauerstoff-Messungen, Makrobenthos (Glud, Gundersen)
MA: magnetische Bakterien, (Petermann)
C: org. Geochemie, 1 cm Scheiben
A: Archiv, ganze Kerne eingefroren
BW: Bodenwasserprobe (Segl)
MB: Mikrobiologie (Gumprecht).

Tab. 4: Multicorer-Probenliste.

4.2.3 Schwerelote

Zur Erlangung von längeren Sedimentkernen wurde das Schwerelot mit Rohrlängen zwischen 6 und 18 m und einem Gewichtssatz von 1,5 Tonnen an 28 Stationen eingesetzt. Es wurden Rohre mit Linern mit einem Innendurchmesser von 12 cm verwendet. Zur Gewinnung von Porenwasserproben und zur geochemischen Untersuchung der Festphasen wurde an 10 ausgewählten Stationen unter dem Auftriebsgebiet vor Namibia und vor den Flußmündungen ein jeweils zweiter Schwerelotkern entnommen. Bei Verbiegen des Kernrohres oder bei Übereindringung wurden ebenfalls mehrere Schwerelote gefahren. Vergleichbar mit den Ergebnissen der METEOR-Reise M 12/1 (WEFER et

al. 1990) blieb der Schwereloteinsatz in den Foraminiferensanden auf dem südlichen Walfisch-Rücken (Profil D) oberhalb von 2000 m Wassertiefe erfolglos. Hier konnten keine Kerne gewonnen werden. Insgesamt wurden auf dieser Reise bei Kerngewinnen zwischen 3 und 15 m 301 Kernmeter mit dem Schwerelot entnommen.

Schwerelot-Kernbearbeitung

Vor dem Einsetzen in die Schwerelot-Rohre wurden die Liner zur späteren Orientierung der einzelnen Kernsegmente mit einem Längsstrich versehen. Nach dem erfolgreichen Einsatz wurden die Liner in 1 m-Stücke zerschnitten, an den Enden mit Kappen versehen und gemäß Abbildung 22 beschriftet. Die für die Porenwassergewinnung und andere geochemische Untersuchungen vorgesehenen Schwerelotkerne wurden sofort zur weiteren Bearbeitung im Kühllabor gelagert (s. Kap. 4.9). Im folgenden wird nur die Beprobung der für die meeresgeologischen und paläozeanographischen Untersuchungen bestimmten Kerne beschrieben. An diesen fanden nach Angleichung an die Umgebungstemperatur die sedimentphysikalischen Messungen statt. Anschließend wurden die Liner mit einer Vibrationssäge in Längsrichtung aufgesägt.

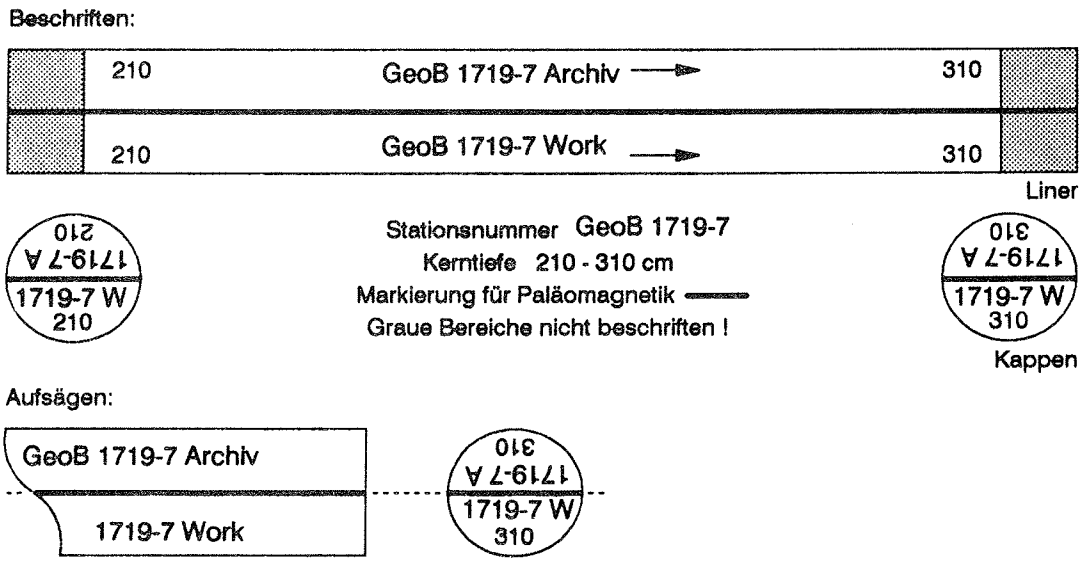


Abb. 22: Beschriftungsschema für Linerboxen.

An der Archiv-Hälfte fand die Kernbeschreibung statt. Als Farbtafel diente die "Munsell soil color-chart". In etwa 30 cm-Abständen , dabei lithologische Wechsel berücksichtigend, wurden Smear-Slide-Präparate angefertigt und anschließend die Kernhälften mit einem "Kodak-Colourgold"-Film

photographiert. Als Farbvergleich wurde eine Kodak-Farbtafel verwendet. Danach wurde das Sediment mit Haushaltsfolie abgedeckt und in einer Linerbox verpackt. Zur Verminderung einer Austrocknung des Sedimentes wurde ein nasser Schwamm beigegeben.

An der Work-Hälfte wurden zuerst Leitfähigkeits- und Temperaturmessungen durchgeführt, danach die Magnetikproben (10 cm Abstand) und 2 Serien von 10 ml-Spritzenproben (Abstand 5 cm) für faunistische und geochemische Untersuchungen entnommen. Zur ersten stratigraphischen Einstufung diente die Entnahme von etwa 5 ml großen Spritzenproben in Abständen von etwa 20 cm. Die obersten 50 cm wurden zur besseren zeitlichen Einstufung der letzten 20 - 50 000 Jahre in Abständen von 5 cm beprobt. Wechsel in der lithologischen Zusammensetzung wurden bei dieser Probennahme mit berücksichtigt. Die Probennahmelöcher wurden anschließend mit Füllmaterial geschlossen und die Kernhälften wie die Archiv-Hälften in einer Box gelagert.

Sta.-Nr. GeoB	Wassertiefe (m)	Kernlänge (cm)*	Geochemie Müller	Isotopen Fauna Wefer	Magnetik Bleil	Smearslides	Stratigraphie	Kernfotos
1701-4	4162	774	154	154	77	15	46	8
1702-5	3083	1562	312	312	156	17	85	12
1703-7GC	1757	585	116	116	--	--	--	--
1703-9	1774	538	107	107	53	7	34	7
1704-4	398	623	124	124	39	10	38	6
1705-1	642	1070	214	214	107	17	61	8
1706-2	980	1113	222	222	111	15	63	8
1707-1	1232	1115	223	223	111	16	64	8
1709-1	3827	1045	209	209	104	19	58	10
1710-3	2987	1072	214	214	107	20	60	8
1711-4	1967	1066	213	213	106	18	60	6
1712-4	998	1029	206	206	102	16	59	8
1713-4	600	324	64	64	32	6	24	6
1715-2	4096	1225	245	245	122	25	69	8
1716-3	1479	1102	220	220	110	18	61	8
1717-1	603	249	50	50	24	4	20	2
1719-7	1010	1050	210	210	149	19	60	8
1720-2	1997	870	174	174	87	15	51	6
1721-7	3044	988	197	197	98	20	56	8
1722-1	3973	1032	206	206	103	14	59	8
1723-1	4984	614	123	123	61	9	36	4
1724-2	5084	738	147	147	73	15	43	6
1728-1	2883	441	88	88	44	9	29	4
1729-3	4401	745	149	149	74	17	45	6

* Kernlänge ohne Core catcher, bis zu der beprobt wurde.

Tab. 5: Probenliste Schwerelote.

Auf der Reise M 20/2 konnten schon an Bord die für die Arbeitsgruppe zur Verfügung stehenden 210 Kernmeter geöffnet und nach dem oben beschriebenen Verfahren bearbeitet werden. Dabei wurden insgesamt etwa 9500 Spritzenproben und 480 Smear-Slide-Proben, sowie 2050 Magnetikproben entnommen (Tab. 5).

4.3 Stratigraphie und Smear-Slide-Analyse

(B. Donner, M. Giese)

Für die vorläufige Biostratigraphie an Bord wurden aus den geöffneten Schwerelotkernen Spritzenproben im Abstand von 5 cm (oberste 50 cm) und 20 cm (ab 50 cm Tiefe bis Kernende) entnommen. Je nach Beschaffenheit des Sedimentes werden 2-8 ml des Probenmaterials über ein 63 µm Sieb mit Süßwasser geschlämmt, bei 60°C getrocknet und anschließend in 5 ml Glasröhrchen abgefüllt. Der auf diese Weise gewonnene Rückstand dient der Bestimmung des Sandanteils der bearbeiteten Sedimente (Sandfraktionskurve).

Die biostratigraphische Einstufung des Probenmaterials erfolgt in erster Linie mittels planktischer Foraminiferen der *Globorotalia-menardii*-Gruppe. Es handelt sich hierbei um eng miteinander verwandte tropische Arten bzw. Unterarten. Das Hauptverbreitungsgebiet der Unterart *Globorotalia menardii menardii* beispielsweise liegt im Atlantik von 20°N bis 10°S.
Während des Quartär treten Vertreter der *G. menardii*-Gruppe zyklisch während der Warmzeiten auf, bleiben jedoch während der Kaltzeiten aus. ERICSON & WOLLIN (1968) haben aus diesen Zyklen die Stadien Z bis Q abgeleitet, wobei Stadium Z als jüngste Warmzeit dem Holozän entspricht. Die Stadiengrenzen ermöglichen die Alterbestimmung der Sedimente, wobei folgende Zeitmarken verwendet wurden: Z/Y für 12 000 Jahre, Y/X für 80 000 Jahre, X/W für 130 000 Jahre, W/V für 160 000 Jahre und V/U für 370 000 Jahre vor heute. In älteren Sedimenten (Tertiär) sind diese Vertreter der *G. menardii*-Gruppe nicht zu finden. Als deutlicher Nachweis des Quartär wird weiterhin das Auftreten von *Globorotalia truncatulinoides* gewertet.

Das Arbeitsgebiet dieser Reise liegt nur teilweise in den Breiten, in denen *Globorotalia menardii* bevorzugt lebt. Demzufolgen lassen sich Sedimente aus den Flußmündungsbereichen des Niger und Kongo sowie von Profil A (5°N bis 20°S) relativ schnell und leicht stratigraphisch erfassen. Sedimente aus südlicheren Breiten (Profil B, C und D) hingegen bereiten Schwierigkeiten, da *G. menardii* hier gar nicht oder lediglich in sehr geringer Individuenanzahl anzutreffen ist. Zur Unterstützung wird in diesen Sedimenten das Auftreten wärme- bzw. kälteliebender planktischer Foraminiferen (*Globigerinoides ruber* pink, *Neogloboquadrina pachyderma* links) registriert.

Die grobe Abschätzung des Erhaltungszustandes der Foraminiferen innerhalb der Proben sollte Rückschlüsse auf die Karbonatlösung bzw. -erhaltung ermöglichen. Dies läßt sich an Karbonatschlämmen gut verwirklichen. Die Karbonaterhaltung ist in Sedimenten aus Wassertiefen oberhalb von 3500 m zufriedenstellend.
In tonigen Sedimenten werden jedoch bereits beim langwierigen Schlämmen vorhandene Foraminiferenschalen zerschlagen, so daß die Abschätzung der Erhaltungszustandes keine Rückschlüsse auf Lösungserscheinungen mehr zuläßt. Deshalb wurde im folgenden bei derartigen Sedimenten auf die Darstellung der Karbonaterhaltungskurve verzichtet. Die Bestimmung der Sandfraktion am Gesamtsediment gibt zusätzliche Hinweise auf die Karbonatlösung. Darüber hinaus variieren die Sandfraktionsanteile in Abhängigkeit von der Fertilität des Oberflächenwassers. Radiolarien und Diatomeen als Zeiger großen Nährstoffreichtums erhöhen bei einigen beprobten Sedimenten den Sandfraktionsanteil um ein beträchtliches.

483 Smear-Slide Präparate wurden aus 23 Schwerelotkernen und 23 Kastengreifern angefertigt. Zusätzliche Präparate liegen von den Sedimentfallenproben der Verankerung JV WR4 (2 Fallen in 650 m und 1700 m WT) vor. Die Smear-Slide Analyse dient an Bord vor allem der Unterstützung der makroskopischen Sedimentbeschreibung, der Sediment-Klassifikation (s.u.) gemäß Handbuch des "Ocean Drilling Programs" (ODP) und der ersten semi-quantitativen Abschätzung der Korngrößenverteilung (Ton/Silt/Sand) bzw. des Karbonatgehaltes. Die Anzahl der hergestellten Präparate und die stationsmäßige Zuordnung können den Tabellen 4 und 5 entnommen werden.

Bei den Schwerelotkernen wurden alle lithologischen Wechsel in den Sedimentsequenzen und interessante Abschnitte beprobt. Bei den Kastengreifern wurde parallel zu den Spritzenproben im Abstand von 3 cm, bei sehr homogenen Sedimenten alle 6 cm beprobt. Als Einbettungsmittel wurde Kanada-Balsam (n = 1,54) benutzt. Die Sinkstoff-Fallenproben wurden als Suspension auf Objektträger aufgebracht. Alle Smear-Slides wurden an Bord mikroskopisch bearbeitet.

Entsprechend dem ODP "Ship Board Scientist's Handbook" (1985) liegt der Sedimentbenennung folgendes Klassifikationsschema zugrunde:

I.	Calcareous Biogenic Sediments (CBS)	Biog. $CaCO_3$ > 30%
Ia.	Pelagic CBS	Biog. $CaCO_3$ 60-100%
	Foraminiferen-Anteil	Name
	< 10%	Nannofossil Ooze (NO)
	10-25%	Foraminiferal-Nannofossil Ooze (FNO)
	25-50%	Nannofossil-Foraminiferal Ooze (NFO)
	> 50%	Foraminiferal Ooze (FO)

Pelagic CBS mit mehr als 10% identifizierbarer silikatischer Fossilien erhält einen Zusatz.

- Radiolarian (r) - Diatomaceous (d) - Siliceous (s)

Ib.	Transitional CBS	Biog. $CaCO_3$ < 30% Silt + Ton > 30% marly Silt + Ton > 10-30% (m)
II.	Siliceous Biogenic Sediments (SBS)	Biog. $CaCO_3$ < 30%
IIa.	Pelagic CBS	Biog. Silikat. > 30% Ton + Silt < 30%

Name:

- Diatom Ooze (DO) - Radiolarian Ooze (RO) - Siliceous Ooze (SO)

Pelagic CBS mit biogenem $CaCO_3$ > 10% erhalten folgende Zusätze:

- Calcareous (c) - Nannofossil (n) - Foraminiferal (f)

IIb.	Transitional CBS	Biog. Kies. Subst. 10-70% Ton + Silt > 30%
III.	Pelagic Clay (PC)	Authigene Komp. > 10% Biog. Kies. Subst. < 30%

Zusätze bei Anteilen > 10%:

- Fe(Mn)-Oxihydroxides (fe) - Pyrite (py)

Erste Ergebnisse

Alle 23 beprobten Kerne weisen quartäre Sedimente auf und reichen nicht bis ins Tertiär zurück.

Die ersten mikroskopischen Ergebnisse der Oberflächenproben (Tab. 3) zeigen hauptsächlich Sedimente, die als Foraminiferal Ooze (FO) oder als Foraminifera-bearing-Nannofossil-Ooze (fNFO) eingestuft werden. Der Anteil an Foraminiferen nimmt mit zunehmender Wassertiefe zugunsten der Nannofossilien, Diatomeen und Radiolarien ab.

FLUßMÜNDUNGS-SEDIMENTFÄCHER

SL 1701-4 Niger;	WT 4162 m;	7,92 m Länge;	Tonschlamm, siltig	(Abb. 23, 24)
SL 1702-5 Kongo;	WT 3883 m;	15,76 m Länge;	Tonschlamm	(Abb. 25, 26)
SL 1703-9 Kunene;	WT 1774 m;	5,38 m Länge;	Tonschlamm	(Abb. 27, 28)

SL 1701-4 vor der Niger-Mündung reicht zurück bis in die letzte Warmzeit X und ist somit älter als 80 000 Jahre. Zwischen 3,30 m und 6,00 m stören Turbidite den gleichmäßigen Verlauf der *G. menardii*-Kurve. In enger Folge wechseln hier Karbonat-haltige Lagen mit Schichten ab, die kei-

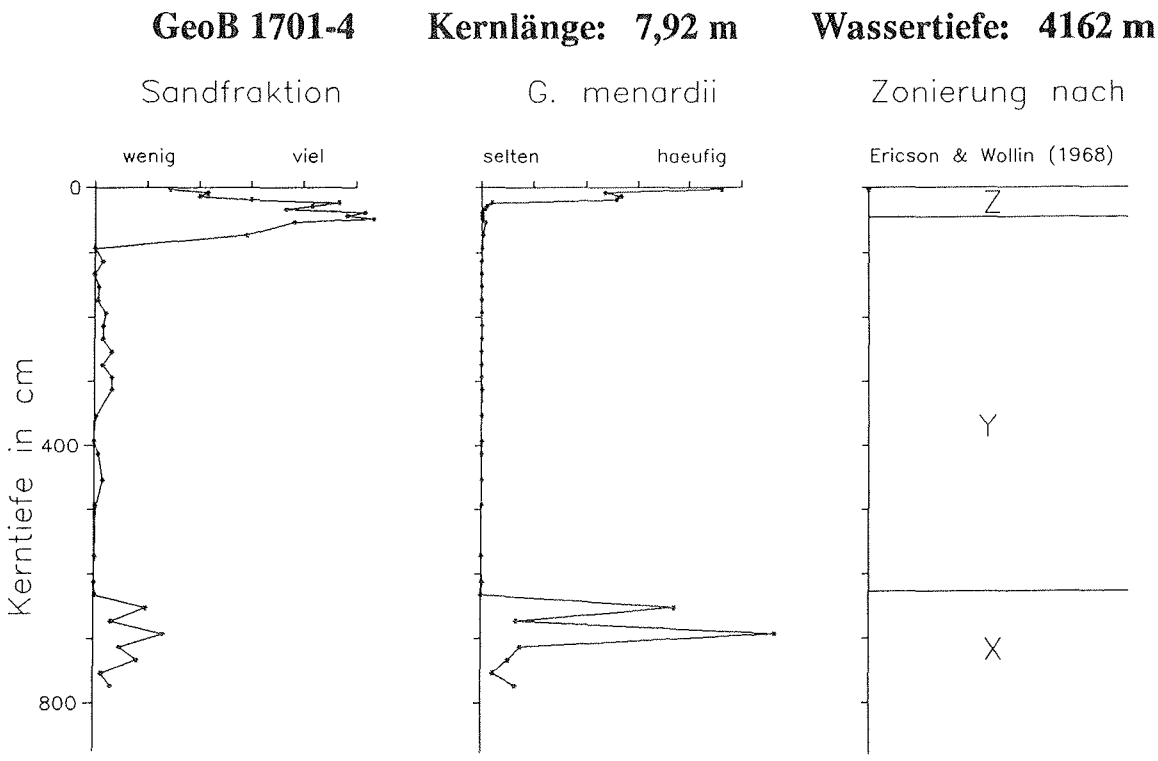


Abb. 23: Erste Ergebnisse zur Stratigraphie und zu den Anteilen der Sandfraktion des SL-Kerns GeoB 1701-4.

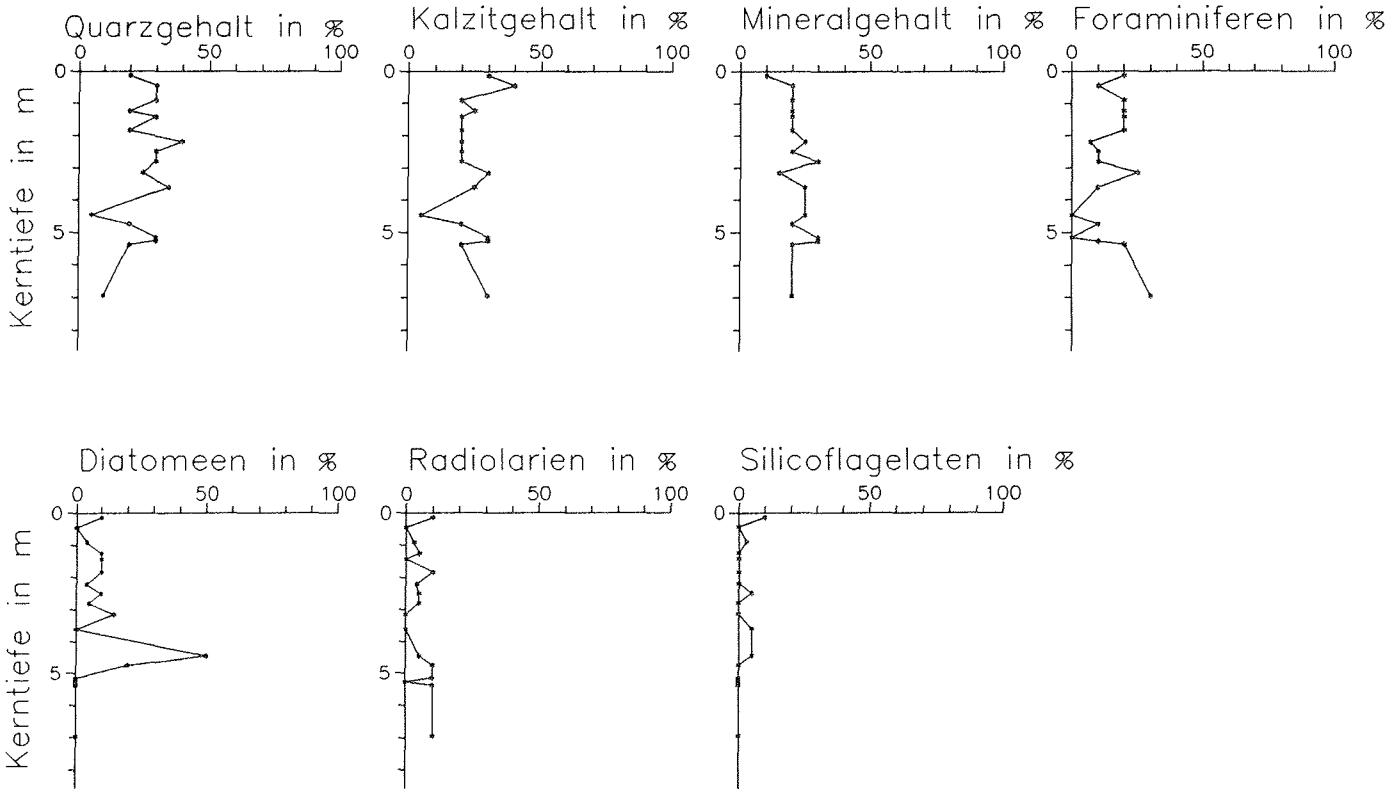


Abb. 24: Ergebnisse der Smear-Slide Analyse am Kern GeoB 1701-4.

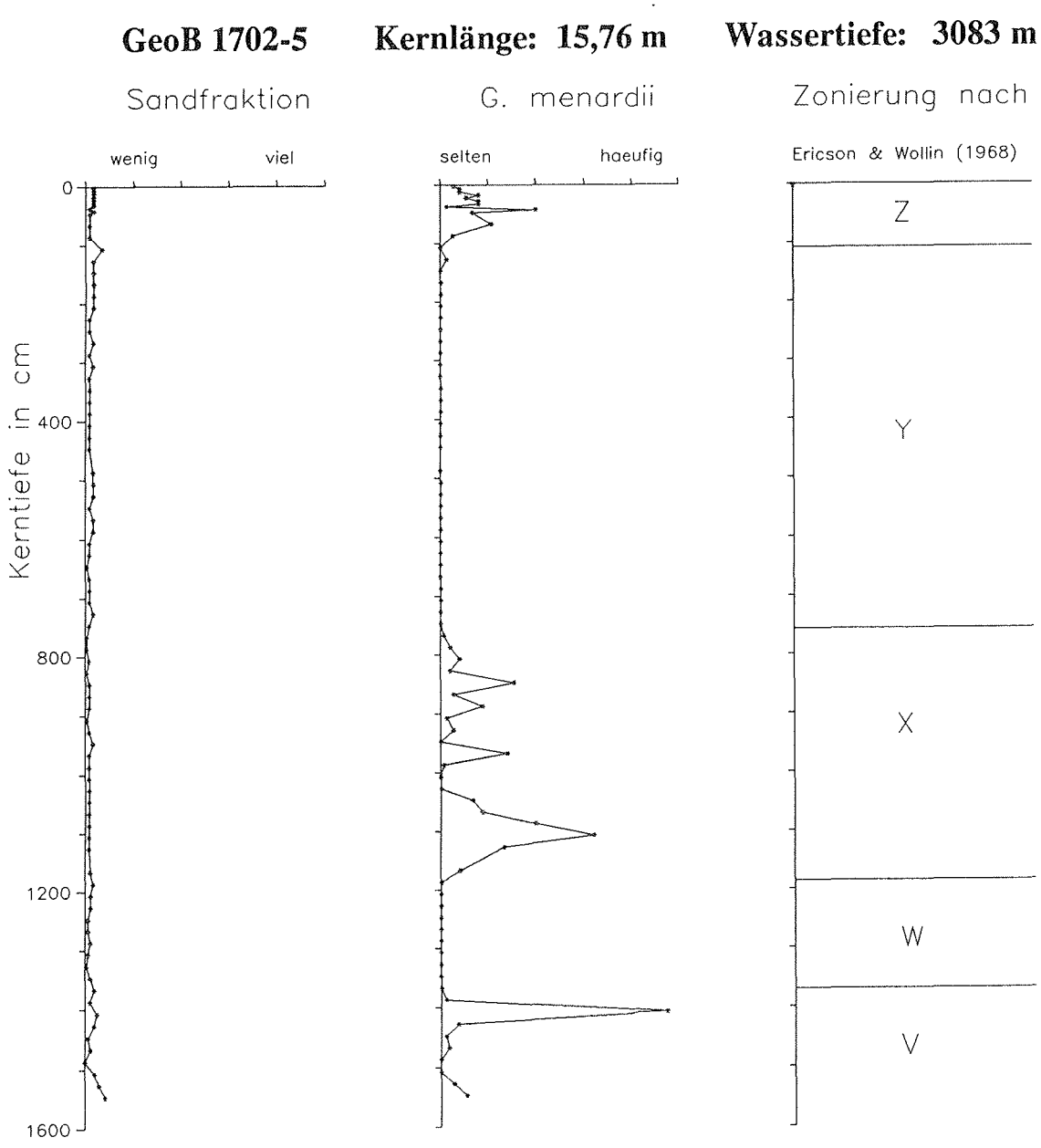


Abb. 25: Erste Ergebnisse zur Stratigraphie und zu den Anteilen der Sandfraktion des SL-Kerns GeoB 1702-5.

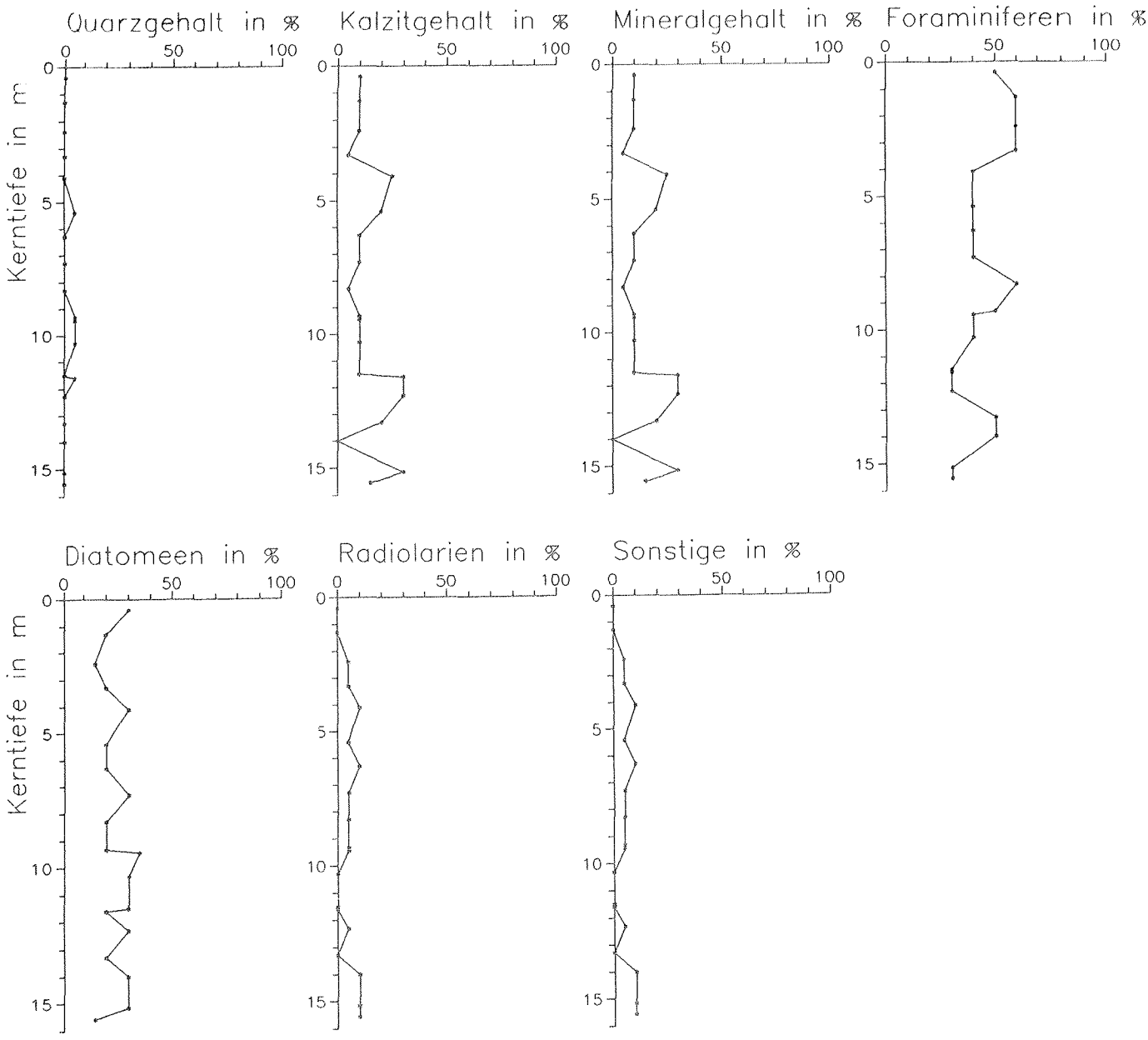


Abb. 26: Ergebnisse der Smear-Slide Analyse am Kern GeoB 1702-5.

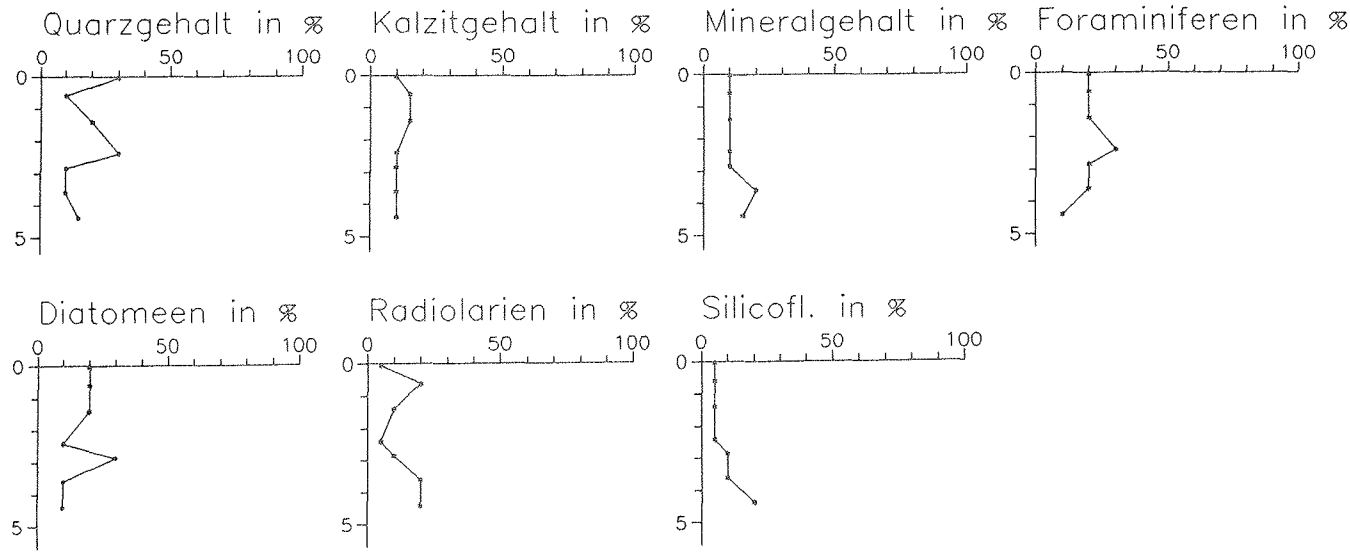


Abb. 27: Ergebnisse der Smear-Slide Analyse am Kern GeoB 1703-9.

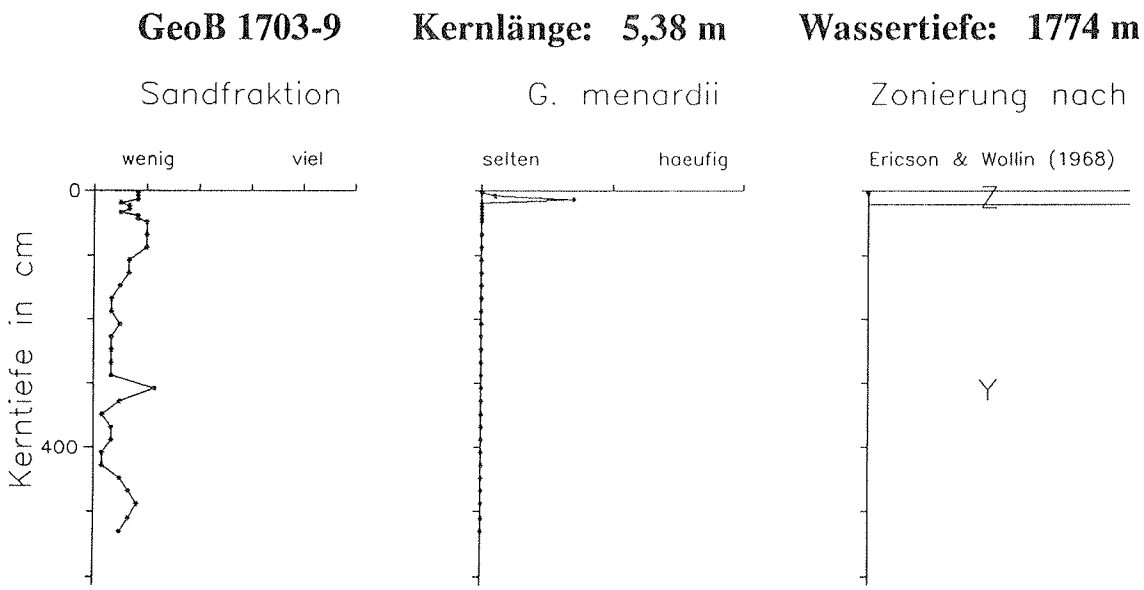


Abb. 28: Erste Ergebnisse zur Stratigraphie und zu den Anteilen der Sandfraktion des SL-Kerns GeoB 1703-9.

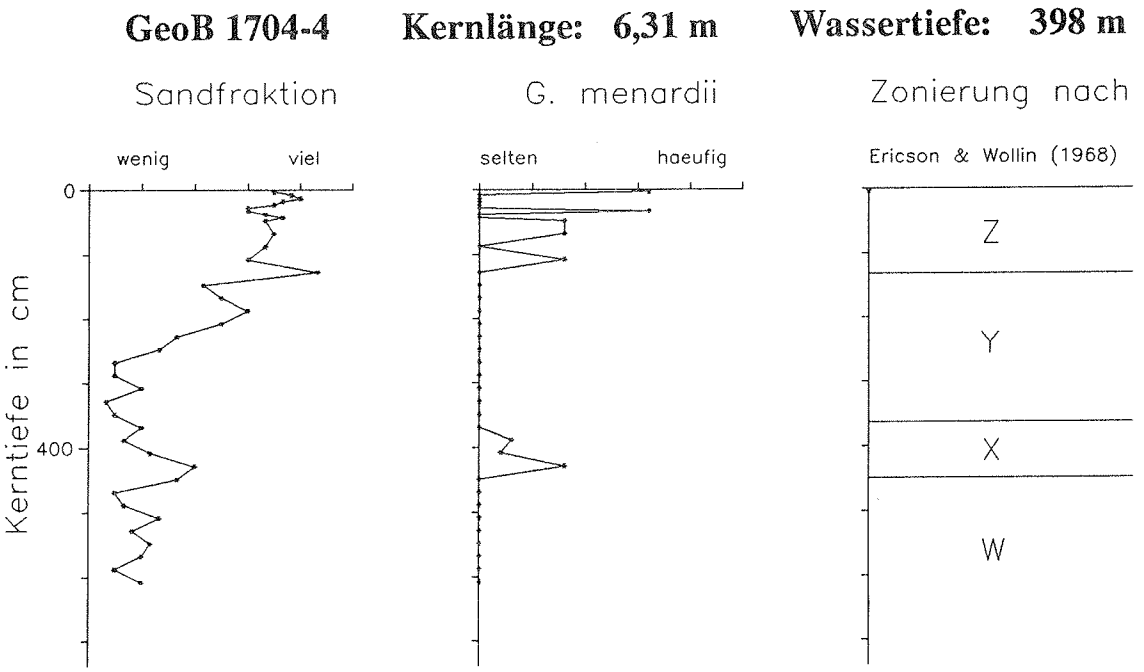


Abb. 29: Erste Ergebnisse zur Stratigraphie und zu den Anteilen der Sandfraktion des SL-Kerns GeoB 1704-4.

nerlei Mikroorganismen enthalten. Diese "leeren" Probenpunkte sind aus der Graphik herausgenommen worden. Im oberen Kernmeter bestimmen neben Foraminiferen in erster Linie terrigene Bestandteile (z. Bsp. Quarz, Pflanzenfaserreste) die Sandfraktion. Die Sedimentationsrate beträgt ca. 7 cm/1000 Jahre. Die mikroskopische Auswertung des biogen gebildeten Karbonats weist auf einen von Turbiditen beeinflußten Abschnitt zwischen 3,30 m und 6 m. In diesem Bereich schwanken die Karbonatgehalte zwischen 10 und 50% und werden durch entsprechend höhere Anteile authigener Bildungen wie Pyrit und terrigener Komponenten wie Quarz ersetzt. SL 1701-4 liegt nicht mehr im Bereich des äquatorialen Auftriebs und zeigt eine geringe Diversität in den biogenen Anteilen (hauptsächlich Foraminiferen). Der deutliche Einfluß des Nigers schlägt sich in dem recht hohen Anteil an terrigenen Komponenten, die bis zu 90% ausmachen können, nieder. Auffällig sind die hohen Pyritgehalte, die zum Teil 20-30% des Gesamtsedimentes ausmachen.

Der längste gezogene Kern dieser Reise, **SL 1702-5**, stammt aus dem Kongo-Sedimentfächer. Er erreicht die vorletzte Warmzeit V und ist damit älter als 160 000 Jahre. Die Sandfraktion setzt sich zusammen aus planktischen und benthischen Foraminiferen, Diatomeen, Radiolarien, wenigen Pteropoden und vielen Kotpillen. Der Anteil terrigener Partikel ist gering. Als Sedimentationsrate konnten 9 cm/1000 Jahre ermittelt werden. Der Kern zeigt bei der mikroskopischen Betrachtung in der biogen gebildeten Sedimentkomponente den deutlichen Einfluß des Auftriebsgebietes. Die Anteile an Foraminiferen, Diatomeen, Radiolarien etc. gehen bis auf 80% hinauf und zeigen eine große Diversität. Der terrigene Sedimentanteil beträgt im Mittel 20% und besteht hauptsächlich aus Quarz, selten treten Pyrite als authigene Komponente auf.

SL 1703-9 aus dem Kunene-Auftriebsgebiet ist zu kurz, um den Beginn der letzten Kaltzeit Y erfassen zu können. Er ist dementsprechend jünger als 80 000 Jahre und die Sedimentationsrate liegt höher als 5 cm/1000 Jahre. Hauptsächlich planktische und benthische Foraminiferen aber auch kleine Minerale wie Glaukonit bestimmen die Sandfraktion. Dieser Kern zeigt mit hohen biogenen Anteilen (60-70%) den deutlichen Einfluß des Auftriebsgebietes. Die Zusammensetzung dieser Komponenten ist nicht sehr vielfältig, in der Hauptsache handelt es sich um Foraminiferen, begleitend findet man Diatomeen und Radiolarien. Die terrigenen und authigenen Sedimentkomponenten nehmen einen Anteil von 30-40% ein und setzen sich hauptsächlich aus Quarz, Glaukonit und Pyrit zusammen.

PROFIL A, WALFISCH-RÜCKEN

SL 1704-4;	WT 398 m;	6,31 m Länge;	Kalkschlamm	(Abb. 29, 30)
SL 1705-1;	WT 642 m;	10,73 m Länge;	Kalkschlamm	(Abb. 31, 32)
SL 1706-2;	WT 980 m;	11,20 m Länge;	Kalkschlamm	(Abb. 33, 34)
SL 1707-1;	WT 1232 m;	11,26 m Länge;	Kalkschlamm	(Abb. 35, 36)

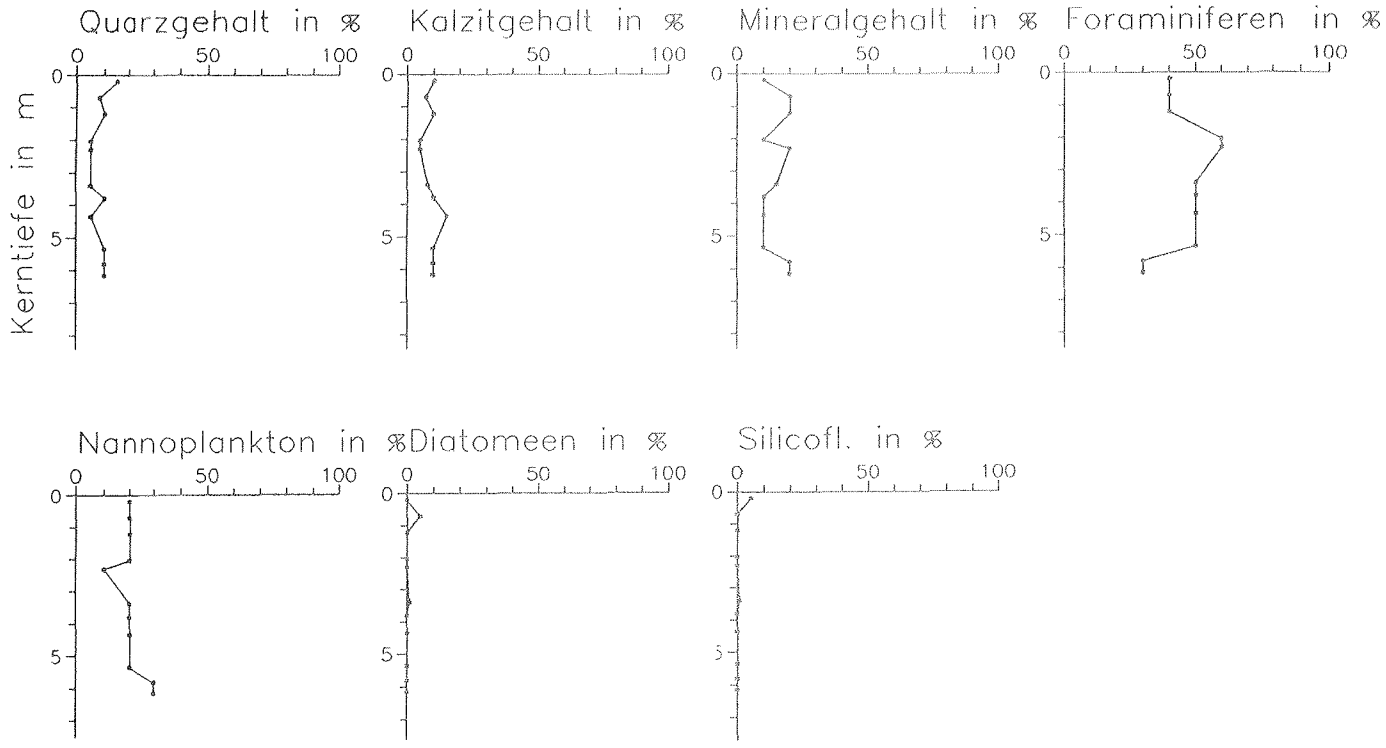


Abb. 30: Ergebnisse der Smear-Slide Analyse am Kern GeoB 1704-4.

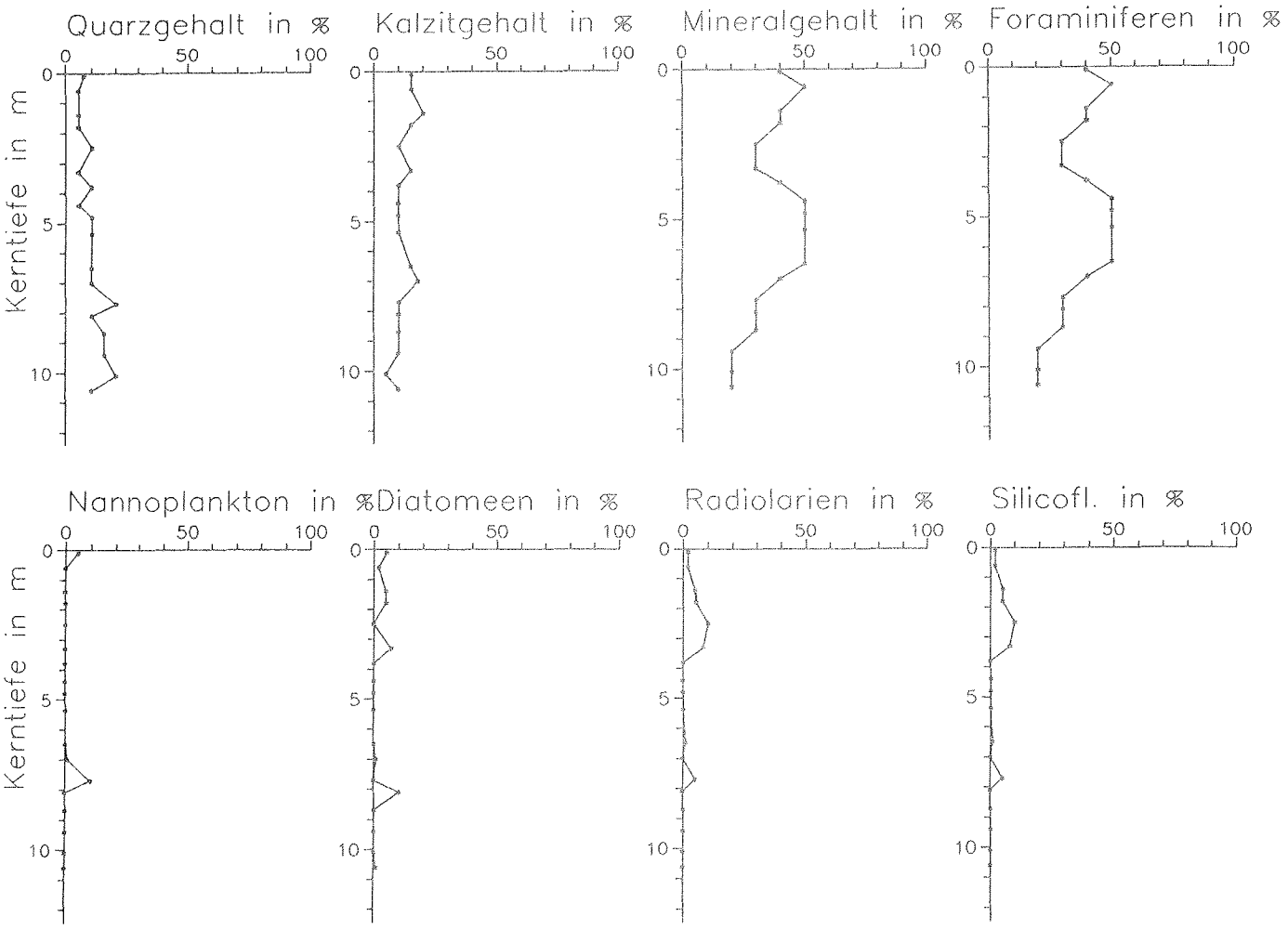


Abb. 31: Ergebnisse der Smear-Slide Analyse am Kern GeoB 1705-1.

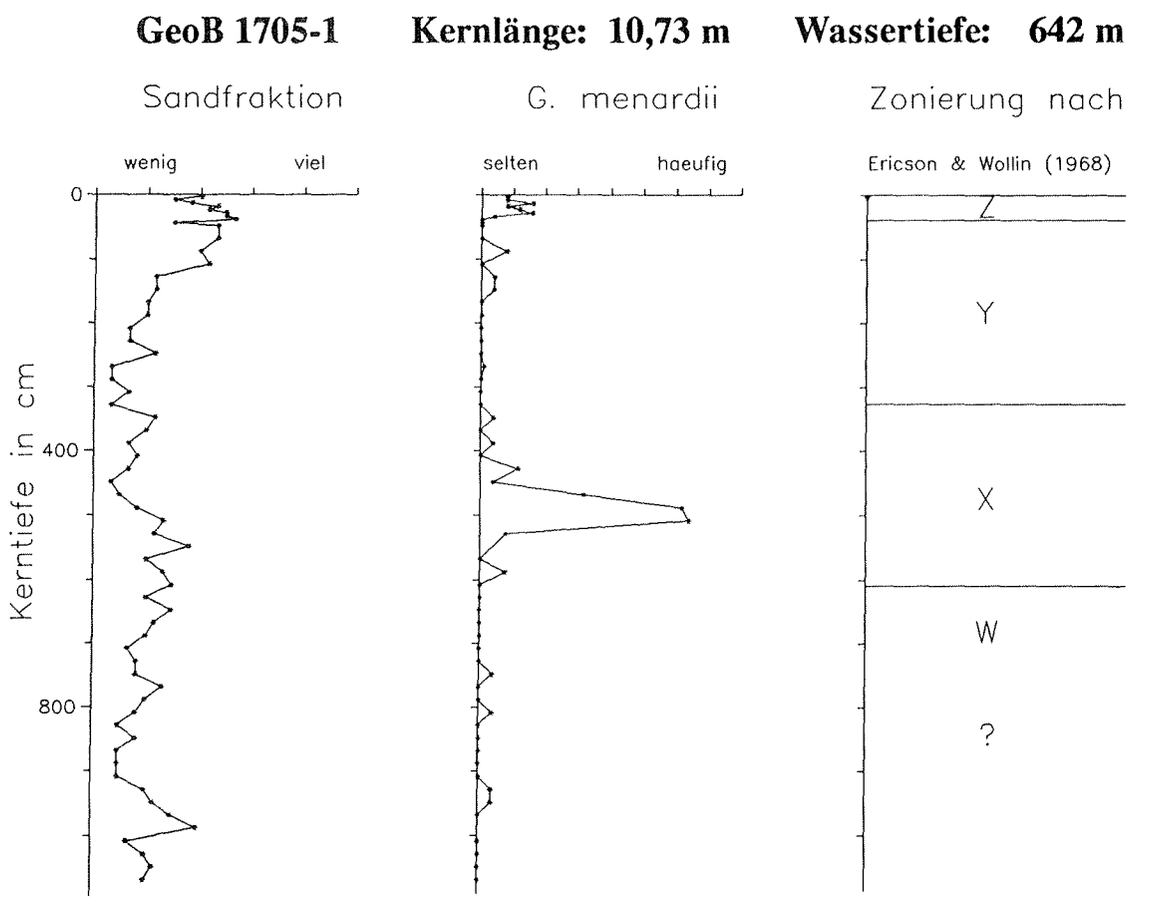


Abb. 32: Erste Ergebnisse zur Stratigraphie und zu den Anteilen der Sandfraktion des SL-Kerns GeoB 1705-1.

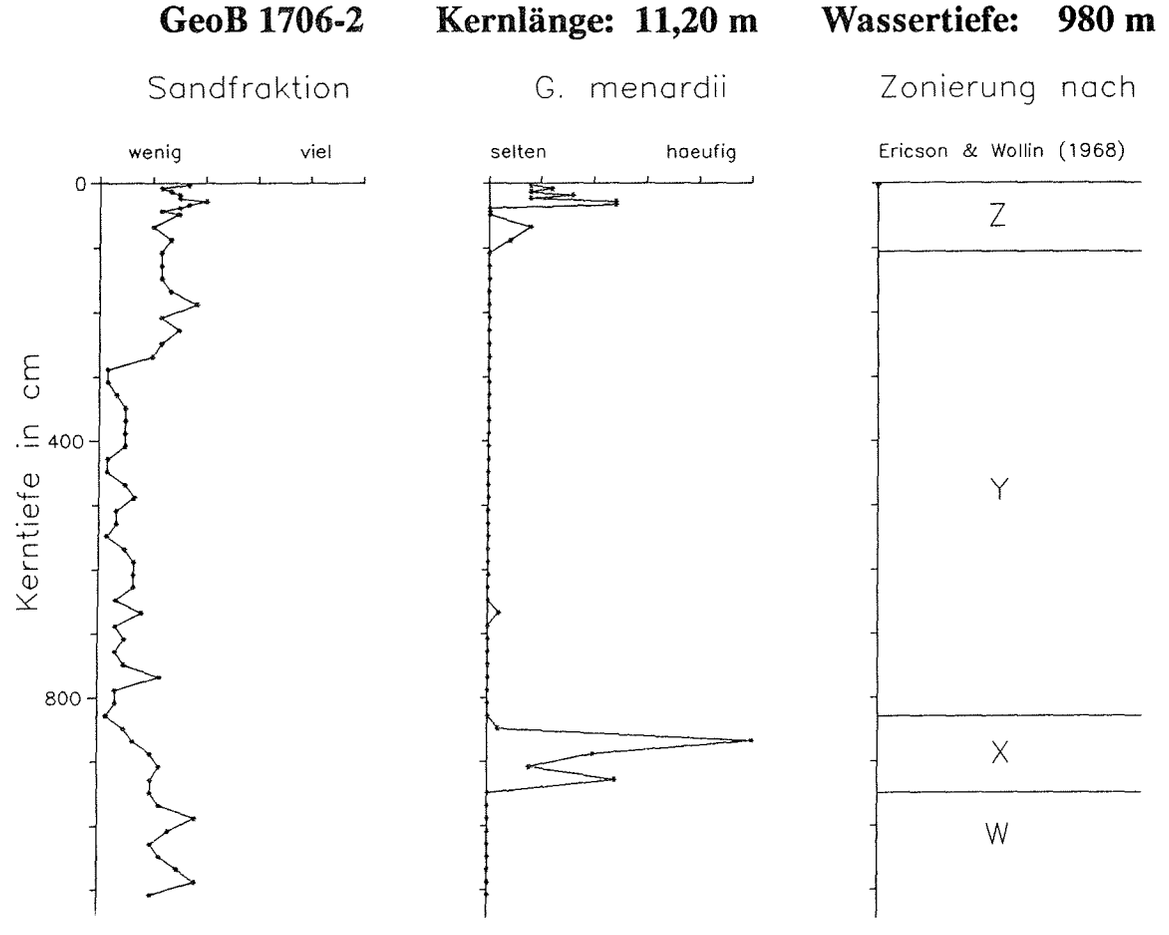


Abb. 33: Erste Ergebnisse zur Stratigraphie und zu den Anteilen der Sandfraktion des SL-Kerns GeoB 1706-2.

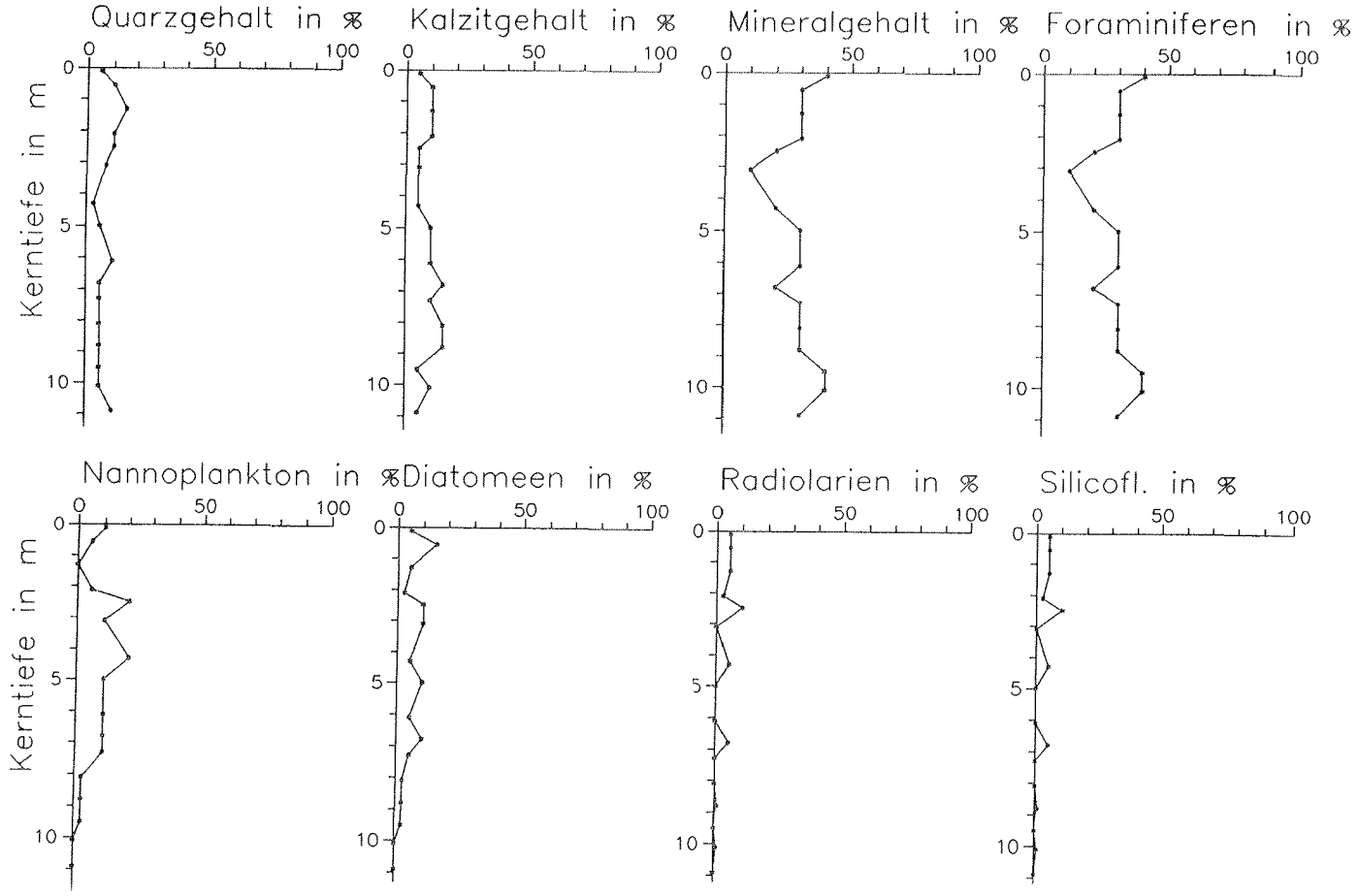


Abb. 34: Ergebnisse der Smear-Slide Analyse am Kern GeoB 1706-2.

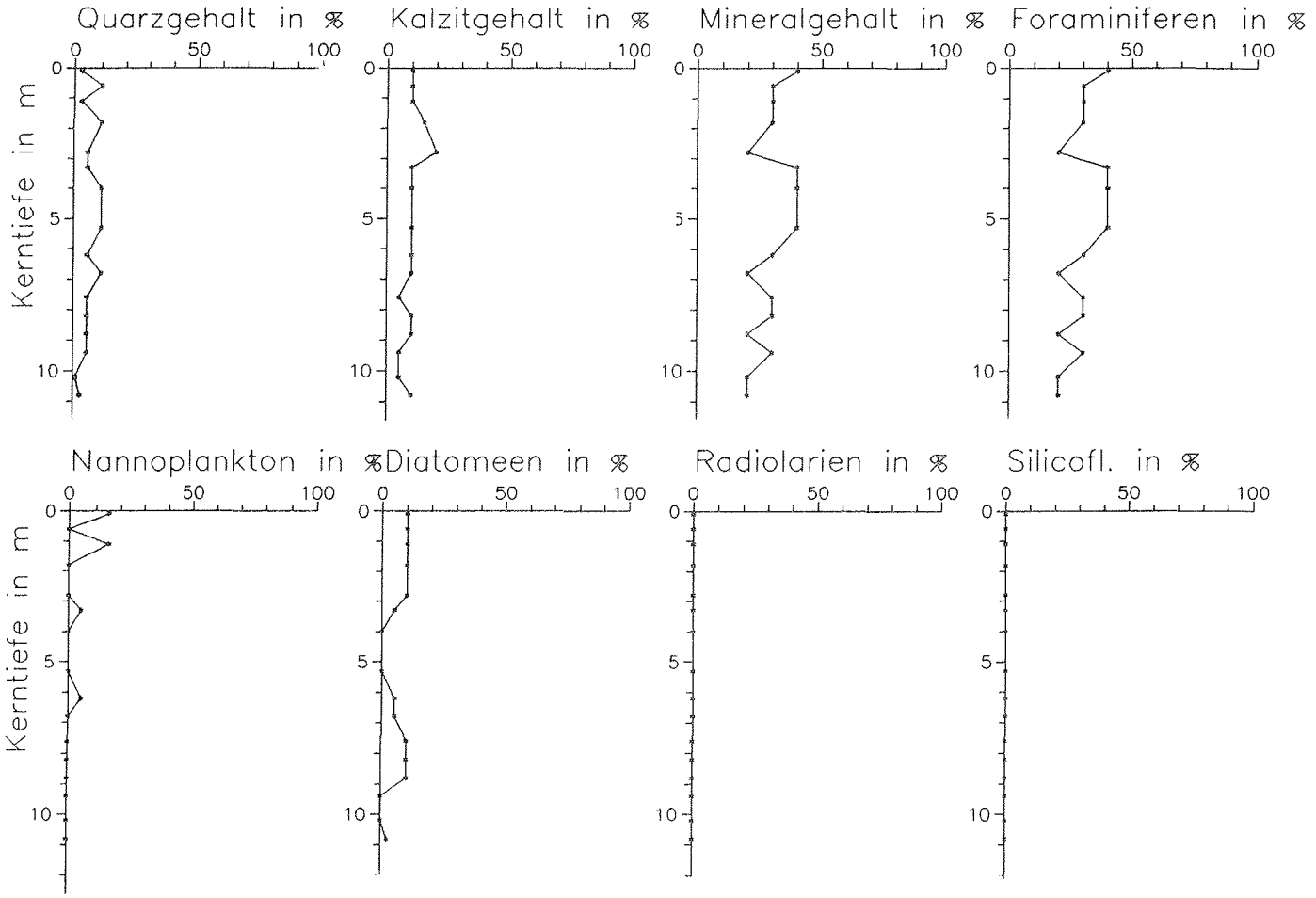


Abb. 35: Ergebnisse der Smear-Slide Analyse am Kern GeoB 1707-1.

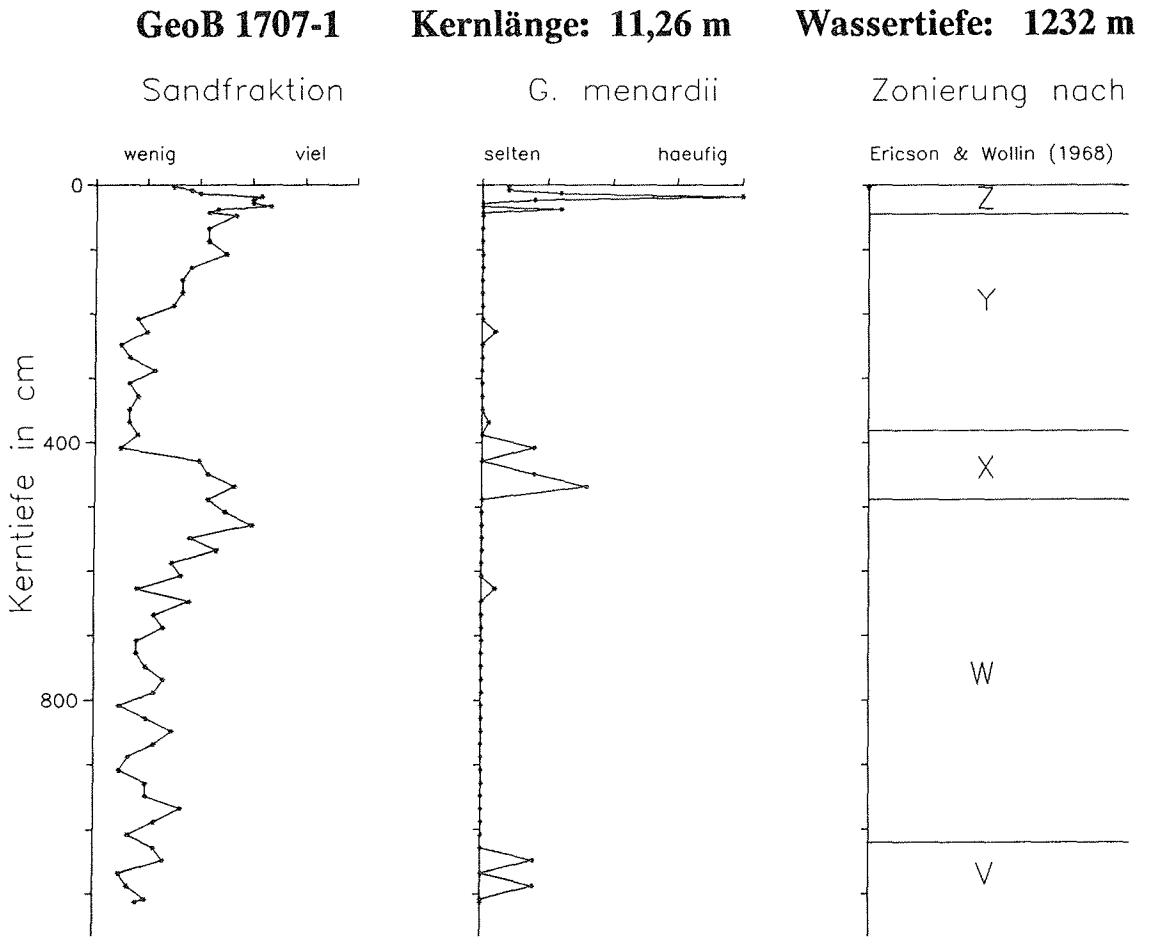


Abb. 36: Erste Ergebnisse zur Stratigraphie und zu den Anteilen der Sandfraktion des SL-Kerns GeoB 1707-1.

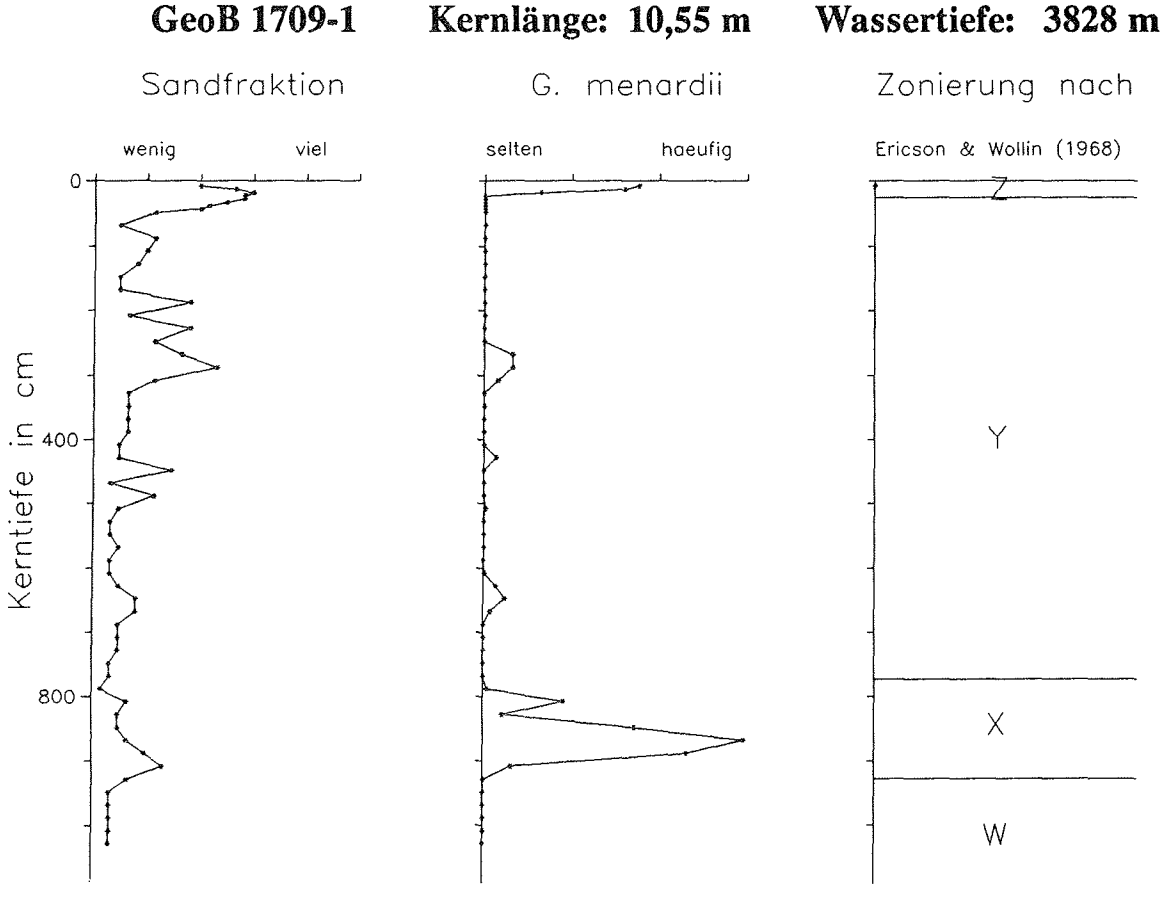


Abb. 37: Erste Ergebnisse zur Stratigraphie und zu den Anteilen der Sandfraktion des SL-Kerns GeoB 1709-1.

Alle vier Kerne vom Walfisch-Rücken bestehen aus Kalkschlamm enthalten jedoch genügend planktische Foraminiferen, um eine stratigraphische Einstufung zu ermöglichen. Sie sind älter als 130 000 Jahre (Ende der vorletzten Kaltzeit; Stadium W). SL 1705-1 und SL 1707-1 reichen weiter zurück (Stadium V). Es ist jedoch, da die Differenzen im Auftreten von *Globorotalia menardii* zu gering sind, nicht möglich, das Ende der Warmzeit V und den Beginn von W genau zu bestimmen. Neben planktischen Foraminiferen setzt sich die Sandfraktion in erster Linie aus benthischen Foraminiferen zusammen. Die Sedimentationsrate beträgt bei **SL 1704-4, SL 1705-1** und **SL 1707-1** 4 bis 4,5 cm/1000 Jahre, bei **SL 1706-2** 7 cm/1000 Jahre. Die Smear-Slide Analyse zeigt bei allen vier SL durchgehend einen Anteil von > 50% an biogen gebildetem Karbonat, das in der Hauptsache aus Foraminiferen und Nannofossilien besteht. SL 1707-1 aus einer WT von 1232 m zeigt einen höheren Anteil an kieseligen biogen gebildeten Komponenten, Radiolarien und Diatomeen nehmen 5-15% vom Gesamt-Sediment ein. Die drei anderen SL stammen aus geringeren Wassertiefen, der Anteil an kieseligen biogen gebildeten Komponenten ist < 5%. Die terrigenen Sedimentanteile setzen sich aus Quarz, Glaukonit und anderen Tonmineralen zusammen. Die oliv-grüne Sedimentfarbe wird durch die Tonminerale und den hohen organischen Gehalt, der bei der Smear-Slide Analyse nicht erfaßt werden kann, gegeben. Die Kerne werden nach der Smear-Slide Analyse als Kalkschlämme und nicht wie in der Kernbeschreibung als Tonschlämme eingestuft.

PROFIL B, NAMIBIA KONTINENTALHANG

SL 1709-1;	WT 3828 m;	10,55 m Länge;	Karbonatschlamm	(Abb. 37, 38)
SL 1710-3;	WT 2991 m;	10,45 m Länge;	Karbonatschlamm	(Abb. 39, 40)
SL 1711-4;	WT 1967 m;	10,66 m Länge;	Tonschlamm	(Abb. 41, 42)
SL 1712-4;	WT 998 m;	10,29 m Länge;	Tonschlamm	(Abb. 43, 44)
SL 1713-4;	WT 602 m;	3,24 m Länge;	Tonschlamm, sandig	(Abb. 45, 46)

Diese Stationen und alle folgenden liegen außerhalb des Hauptverbreitungsgebietes von *Globorotalia menardii*. Die Individuenanzahl sinkt stark ab und geht teilweise sogar bis auf 0 zurück. Zur Unterstützung der Einstufung wird deshalb das Auftreten von *Globigerinoides ruber pink / Globigerinoides sacculifer* (Wärmeperiode) und *Neogloboquadrina pachyderma* links (Kälteperiode) mit herangezogen.

Dennoch ist es schwierig, eine eindeutige Altersbestimmung an diesen Kernen vorzunehmen. Nach den vorliegenden Ergebnissen reichen bis auf SL 1713-4 alle Kerne dieses Profils zurück bis in eine warme Warmzeit und die davor liegende Kaltzeit. Eine warme Warmzeit war Stadium X (nach ERICSON & WOLLIN 1968; Isotopenstadium 5e). Nach dem Auftreten von *Globorotalia menardii* zu urteilen, ist es wahrscheinlich, daß Stadium X und die davor liegende Kaltzeit W erreicht worden sind und damit die Kerne älter als 130 000 Jahre aber jünger als 160 000 Jahre sind. Unter dieser Voraussetzung liegen die Sedimentationsraten für **SL 1709-1** bei 9 cm/1000 Jahre, für **SL 1710-3** bei

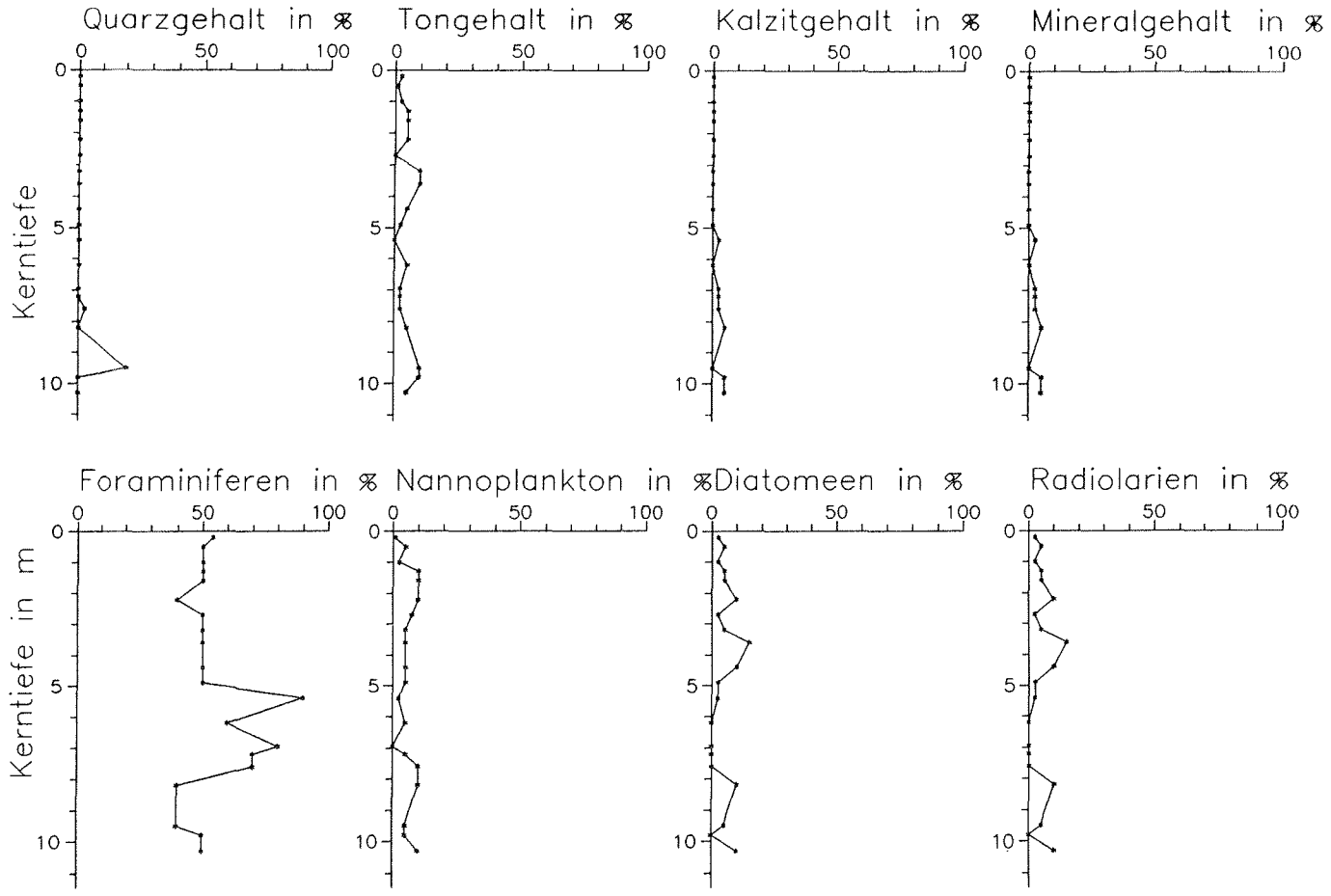


Abb. 38: Ergebnisse der Smear-Slide Analyse am Kern GeoB 1709-1.

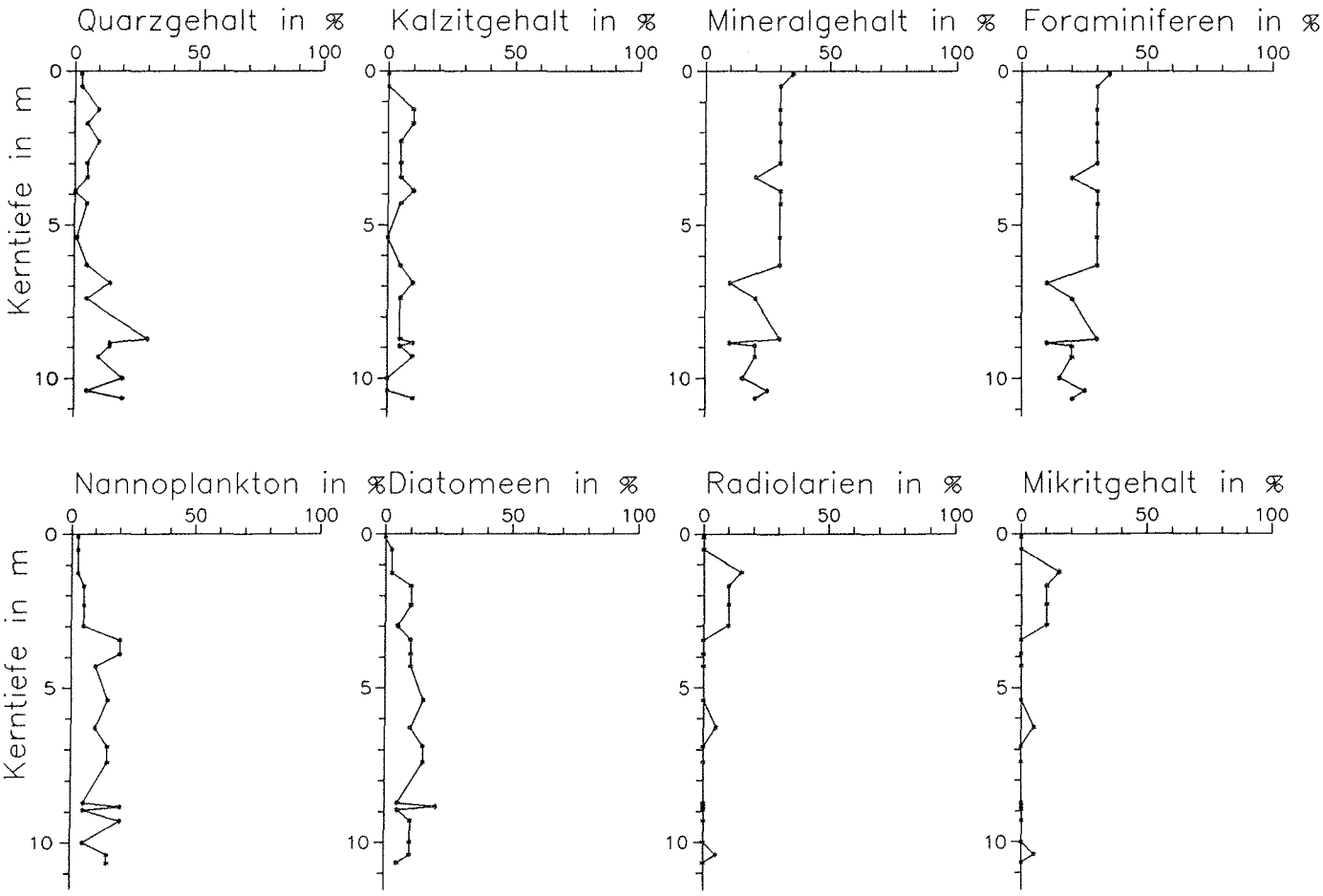


Abb. 39: Ergebnisse der Smear-Slide Analyse am Kern GeoB 1710-3.

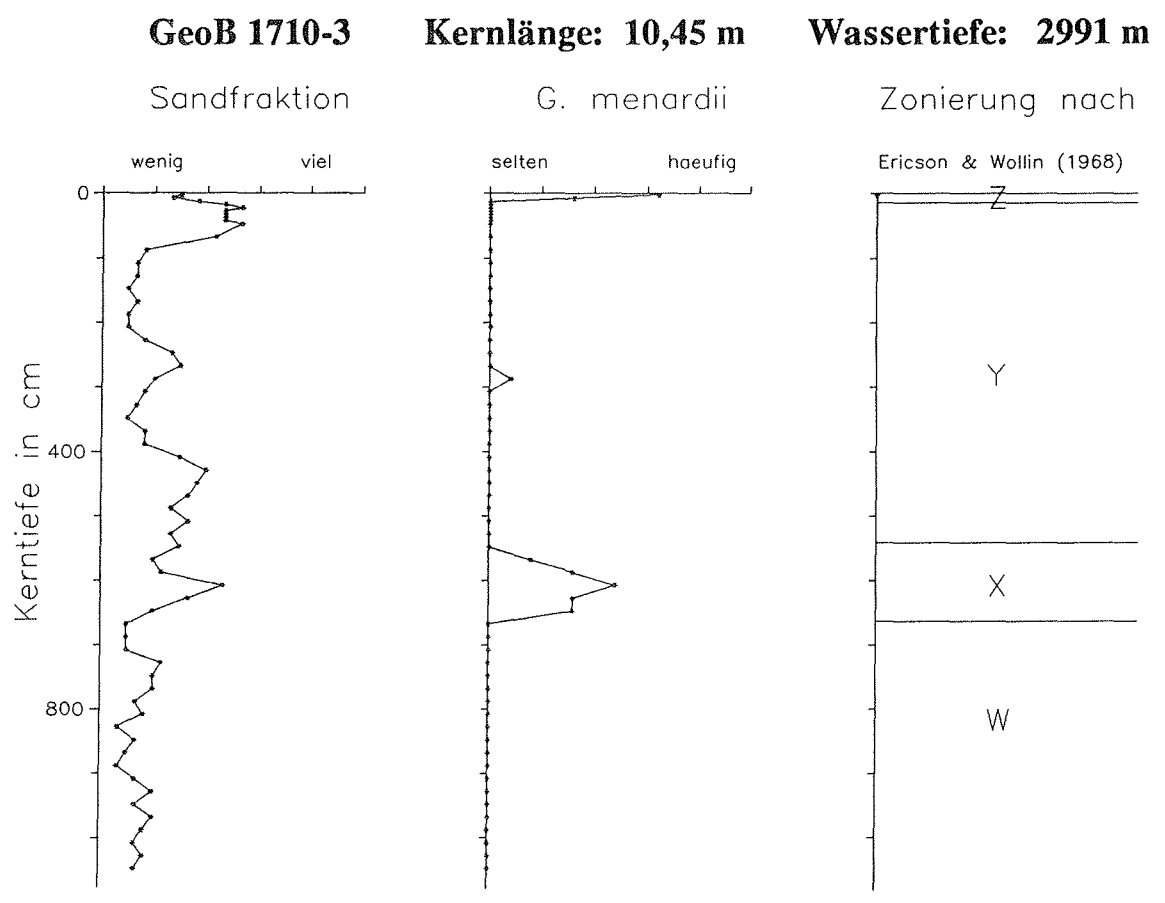


Abb. 40: Erste Ergebnisse zur Stratigraphie und zu den Anteilen der Sandfraktion des SL-Kerns GeoB 1710-3.

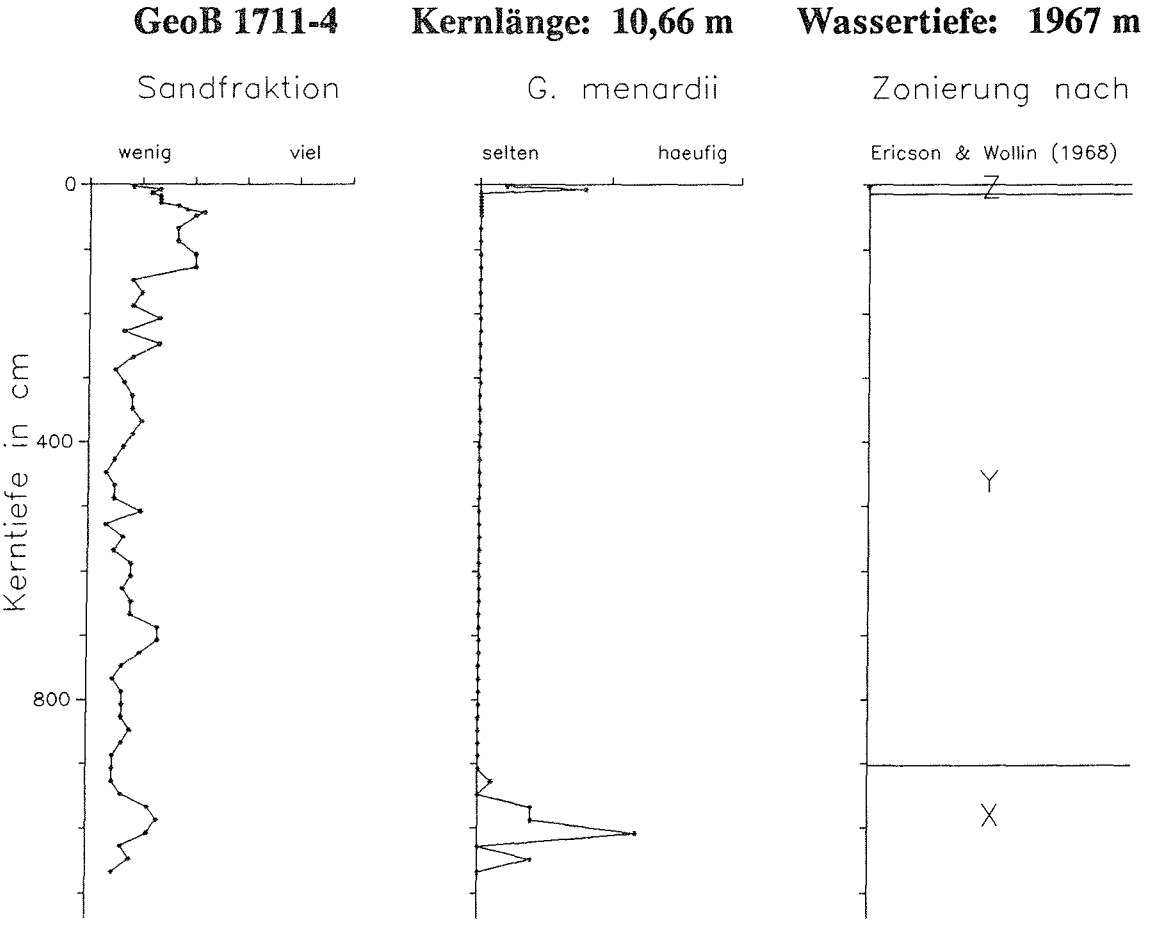


Abb. 41: Erste Ergebnisse zur Stratigraphie und zu den Anteilen der Sandfraktion des SL-Kerns GeoB 1711-4.

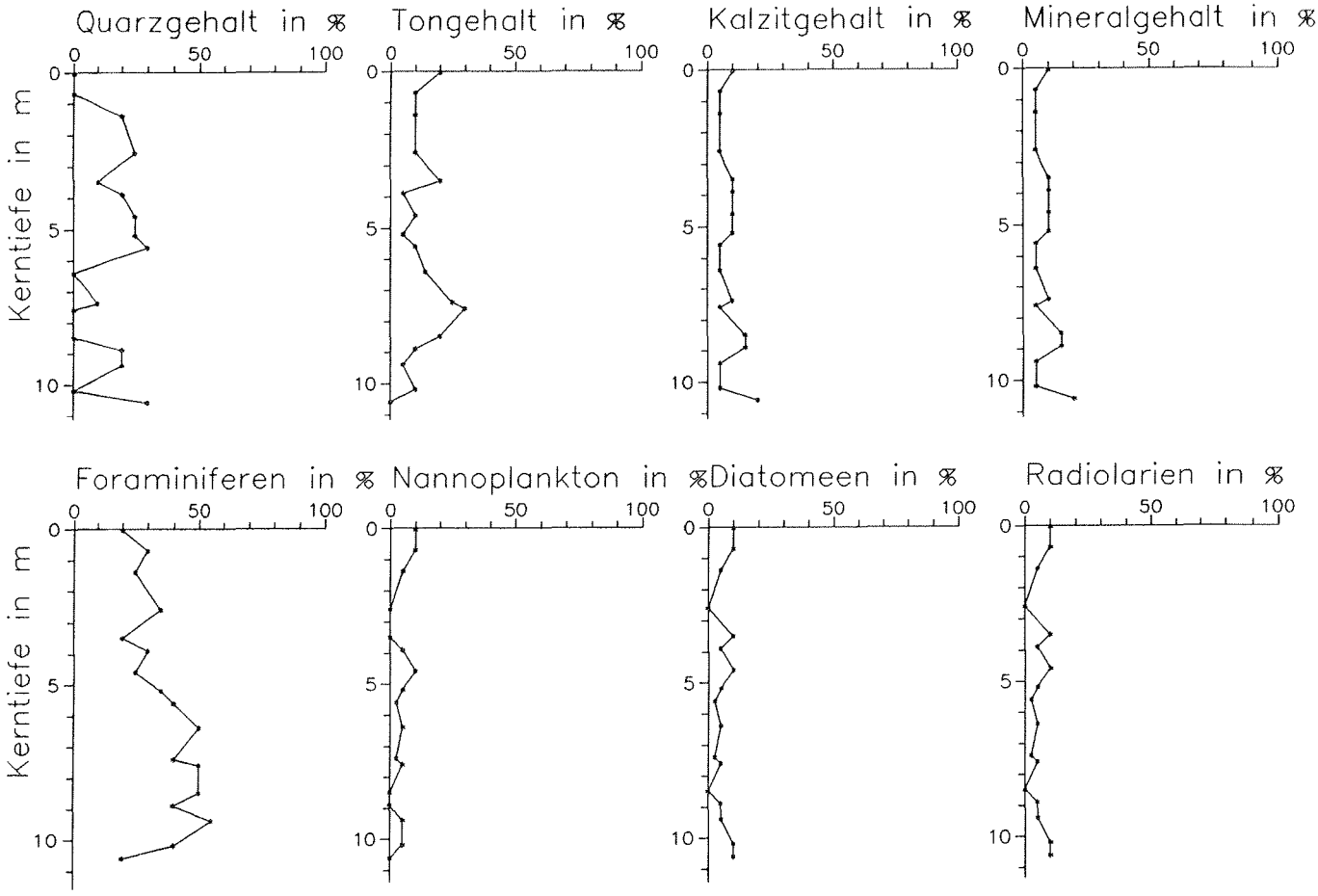


Abb. 42: Ergebnisse der Smear-Slide Analyse am Kern **GeoB 1711-4.**

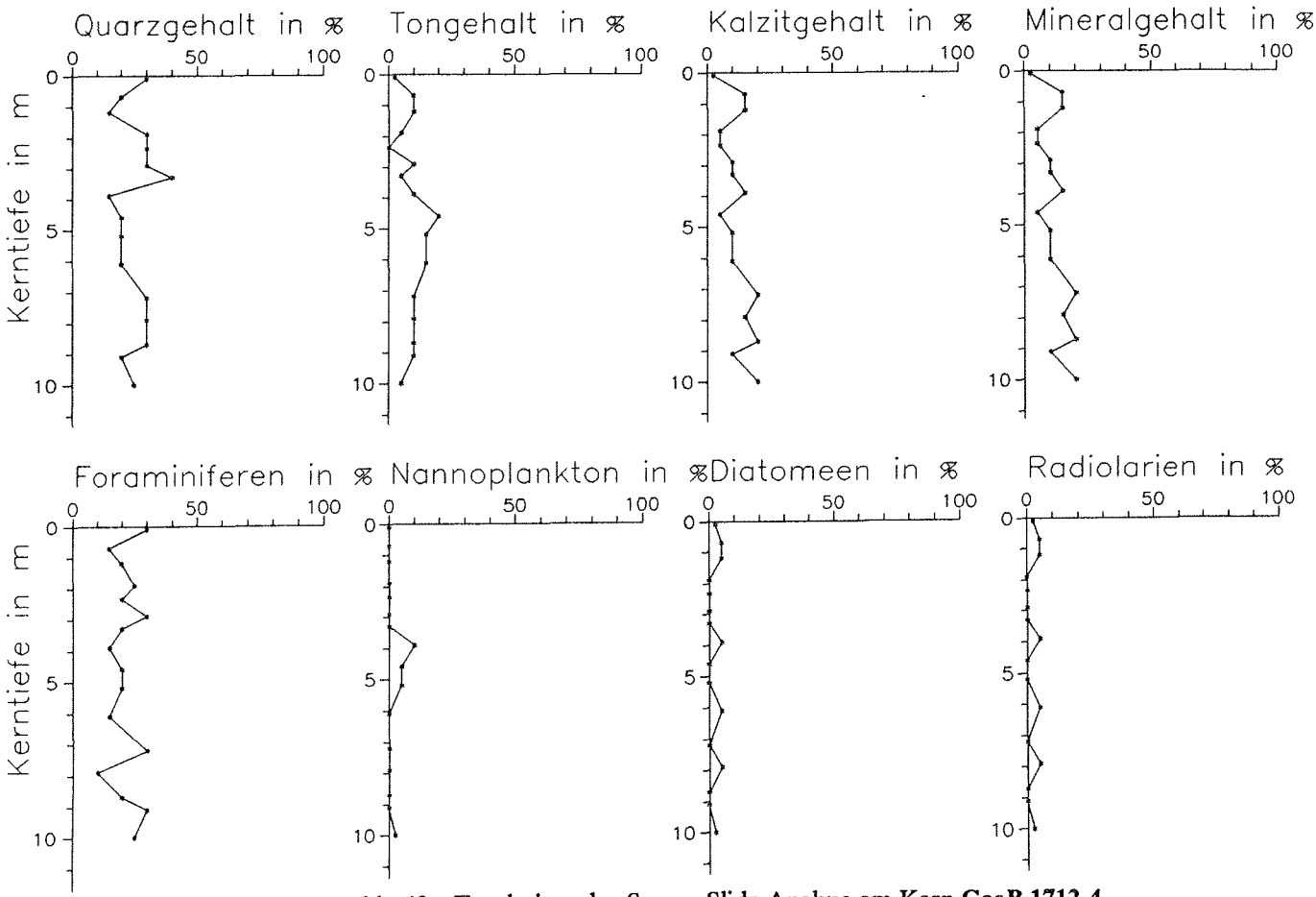


Abb. 43: Ergebnisse der Smear-Slide Analyse am Kern **GeoB 1712-4.**

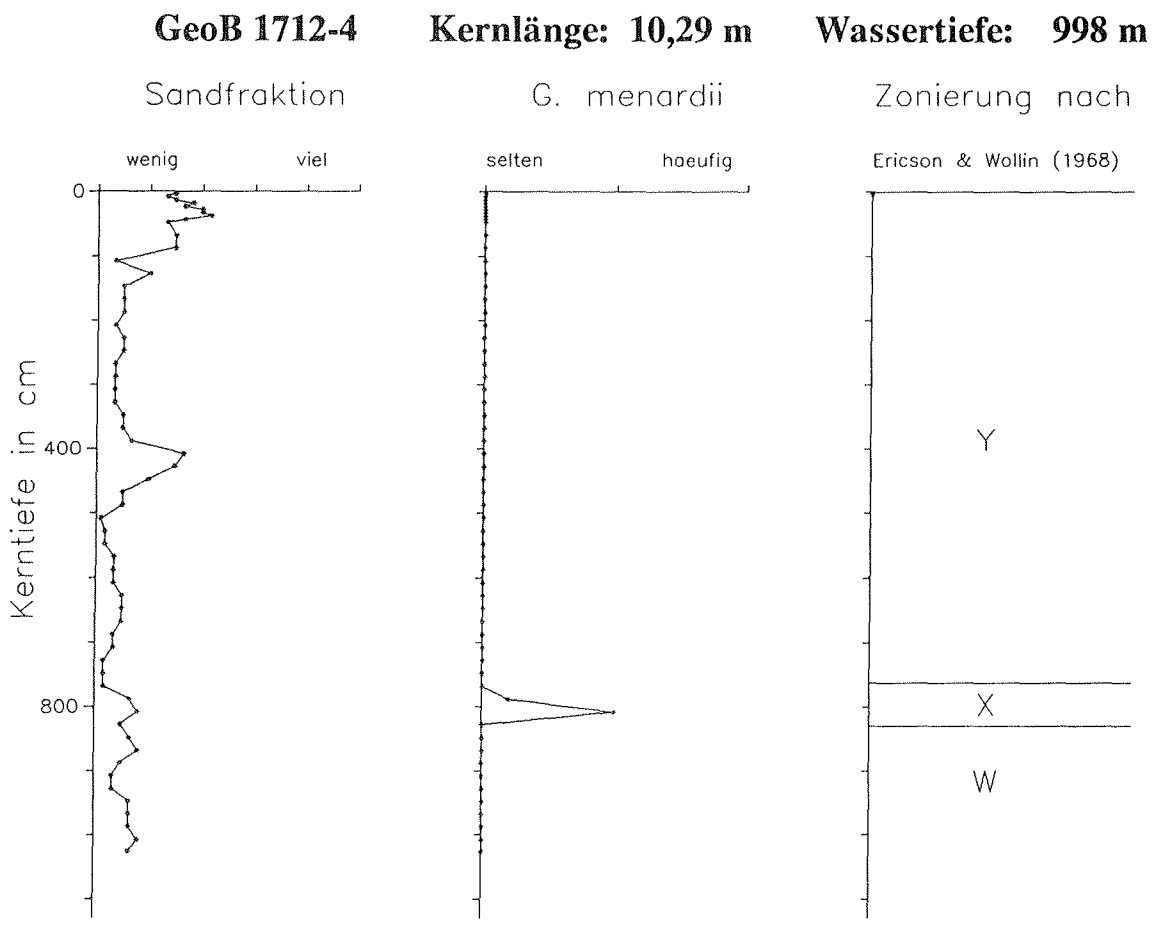


Abb. 44: Erste Ergebnisse zur Stratigraphie und zu den Anteilen der Sandfraktion des SL-Kerns GeoB 1712-4.

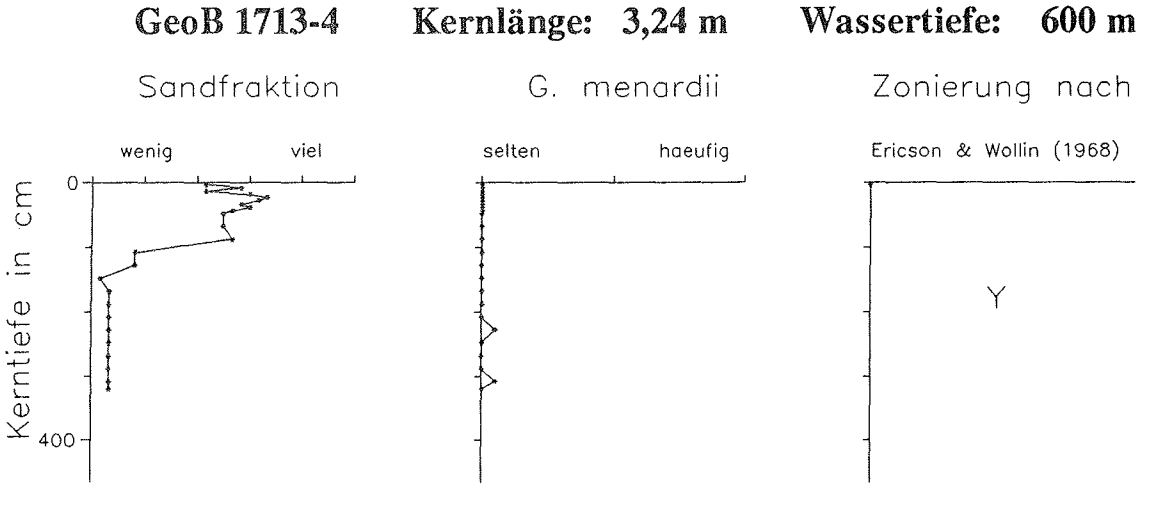


Abb. 45: Erste Ergebnisse zur Stratigraphie und zu den Anteilen der Sandfraktion des SL-Kerns GeoB 1713-4.

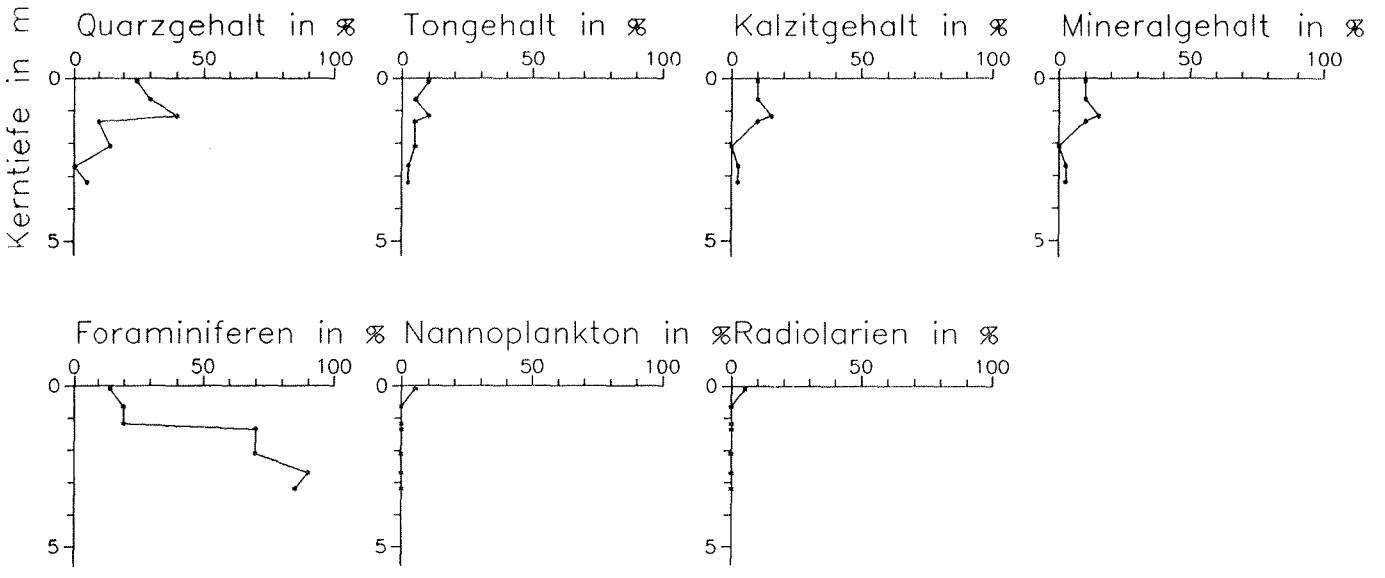


Abb. 46: Ergebnisse der Smear-Slide Analyse am Kern **GeoB 1713-4.**

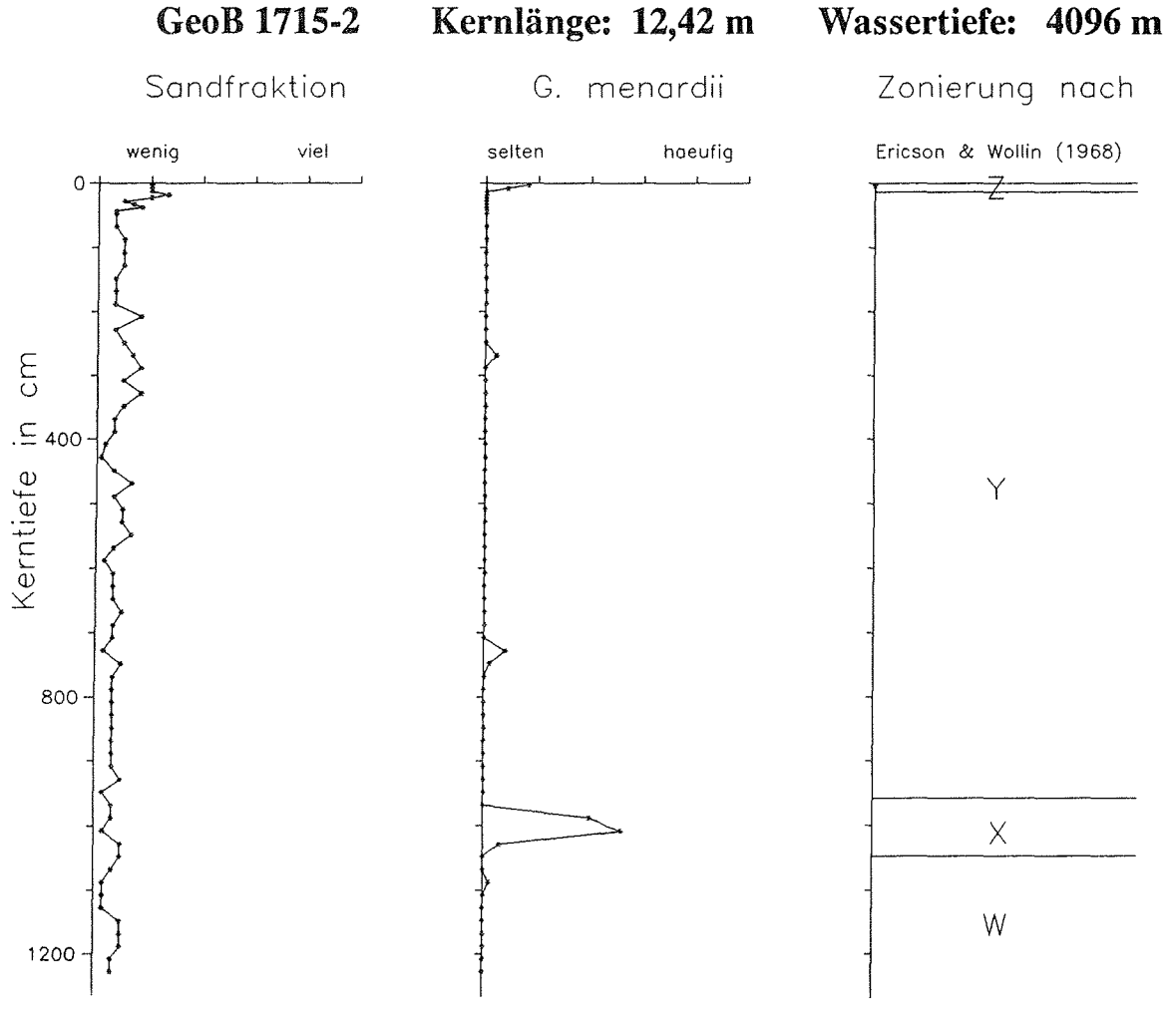


Abb. 47: Erste Ergebnisse zur Stratigraphie und zu den Anteilen der Sandfraktion des SL-Kerns GeoB 1715-2.

6 cm/1000 Jahre, für **SL 1711-4** bei 11 cm/1000 Jahre und für **SL 1712-4** bei 8 cm/1000 Jahre. Nach Literaturdaten können derart hohe Sedimentationsraten können durchaus am Kontinentalhang vor Namibia auftreten. **SL 1713-4** läßt keine *G. menardii* Stratigraphie zu. Nach der Sandfraktionskurve zu urteilen, reicht dieser kurze Tonschlamm-Kern lediglich zurück bis in die letzte Kaltzeit Y (älter als 12 000 Jahre, jünger als 80 000 Jahre).

Neben planktischen Foraminiferen setzt sich die Sandfraktion der drei Kerne aus flacheren Tiefen aus benthischen Foraminiferen und Tonpillen zusammen. Der flachste Kern SL 1713-4 enthält im oberen Kernmeter dunkelgrünen Glaukonit. Die SL dieses Profils sind nach mikroskopischer Untersuchung nicht einheitlich. SL 1709-1 und 1710-3 sind Karbonatschlämme mit 80-100% biogenen karbonatischen Komponenten, die ausschließlich von Foraminiferen und Nannofossilien gebildet werden. Das restliche Sediment besteht aus Quarz und sehr geringen Anteilen Pyrit (< 5%). Die drei flacheren SL des Profils 1711-4, 1712-4 und 1713-4 haben einen biogen gebildeten Karbonatgehalt von +/- 50% (Foraminiferen und Nannofossilien), die Tongehalte steigen bis auf 40% an. Der Anteil an kieseligen Fossilien ist < 10% und findet sich in den SL aus 998 m und 1967 m.

NAMIBIA KONTINENTALHANG

SL 1715-2;	WT 1097 m;	12,42 m Länge;	Karbonatschlamm	(Abb. 47, 48)
SL 1716-3;	WT 1479 m;	11,31 m Länge;	Karbonatschlamm	(Abb. 49, 50)
SL 1717-1;	WT 603 m;	2,59 m Länge;	Feinsand, Phosphorite	(Abb. 51, 52)

Diese Kerne sind ähnlich den Kernen des Profils B. An **SL 1715-2** und **SL 1716-3** läßt sich die letzte Warmzeit X und die davorliegende Kaltzeit W erkennen (Alter 130 000 bis 160 000 Jahre). Die Sedimentationsraten betragen 10 cm/1000 Jahre (SL 1715-2) und 6,5 cm/1000 Jahre (SL 1716-3).In der Sandfraktion sind lediglich planktische Foraminiferen nachzuweisen.

An **SL 1717-1** läßt sich keine Altersbestimmung vornehmen, da benthische und planktische Foraminiferen nur in geringem Ausmaß auftreten. In größeren Kerntiefen fehlt Karbonat vollkommen in der Sandfraktion. Sie wird bestimmt durch das Auftreten von schwarzen und dunkelbraunen Schwermineralen und dunkelgrünem Glaukonit.

Die Zusammenseztung des Sedimentes ist bei diesen drei SL recht unterschiedlich. SL 1715-2 (mittlere Station, 1097 m) hat einen Anteil an biogenen karbonatischen Komponenten von > 50%, die sich hauptsächlich aus Nannofossilien zusammensetzen. Der untere Teil des SL ab 9 m zeigt eine deutliche Zunahme der kieseligen biogenen Anteile (Diatomeen, Radiolarien 10-30%). Die terrigenen Sedimentanteile setzen sich aus Quarz und Augit zusammen, Pyrit zu 1% stellt die authigene Komponente dar.

SL 1716-3 hat 70% biogen gebildetes Karbonat, das sich aus Nannofossilien und Foraminiferen zusammensetzt. Bis 4,50 m Kerntiefe beträgt der Anteil kieseliger Organismen immer > 1%, ab

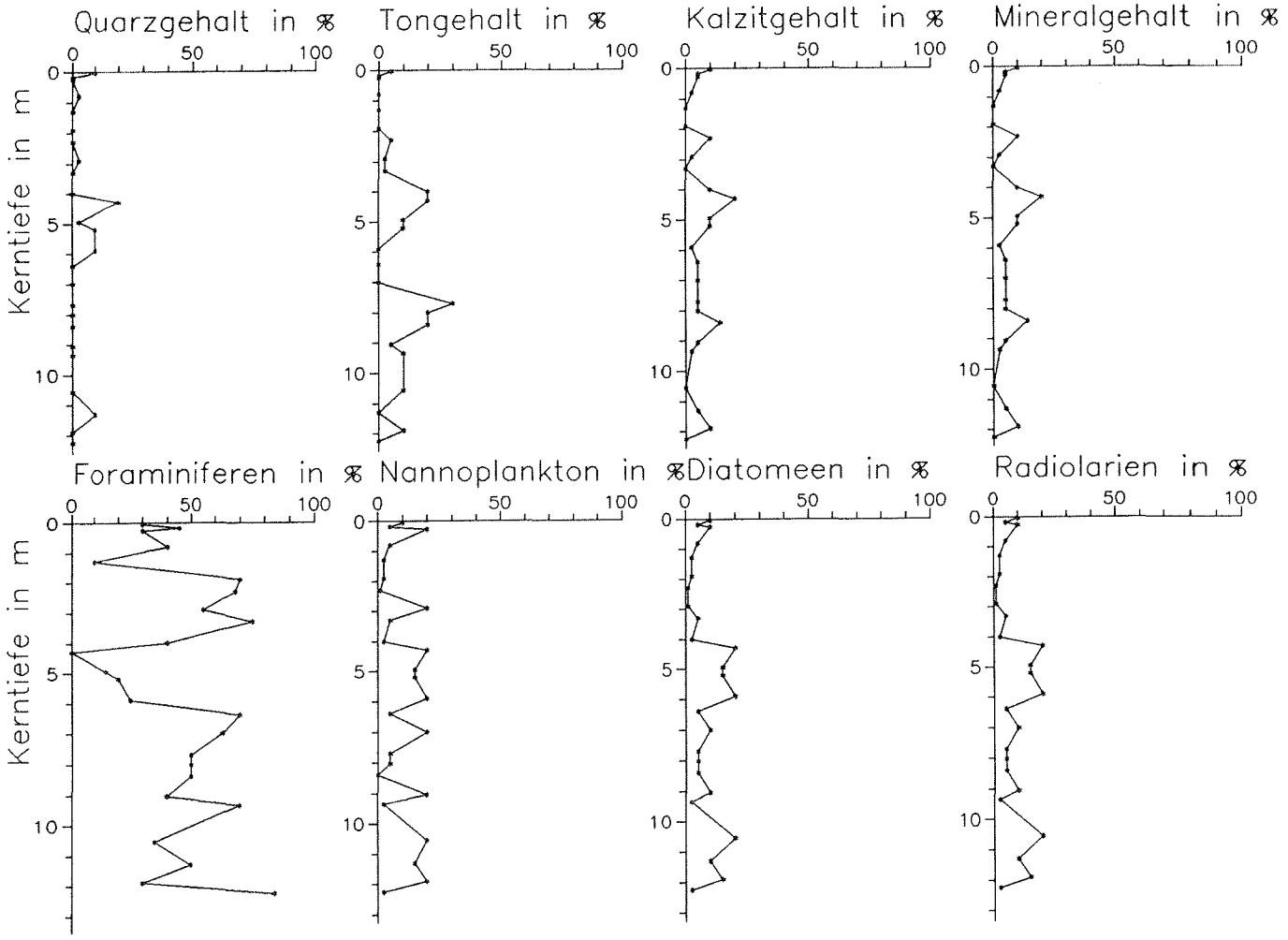


Abb. 48: Ergebnisse der Smear-Slide Analyse am Kern GeoB 1715-2.

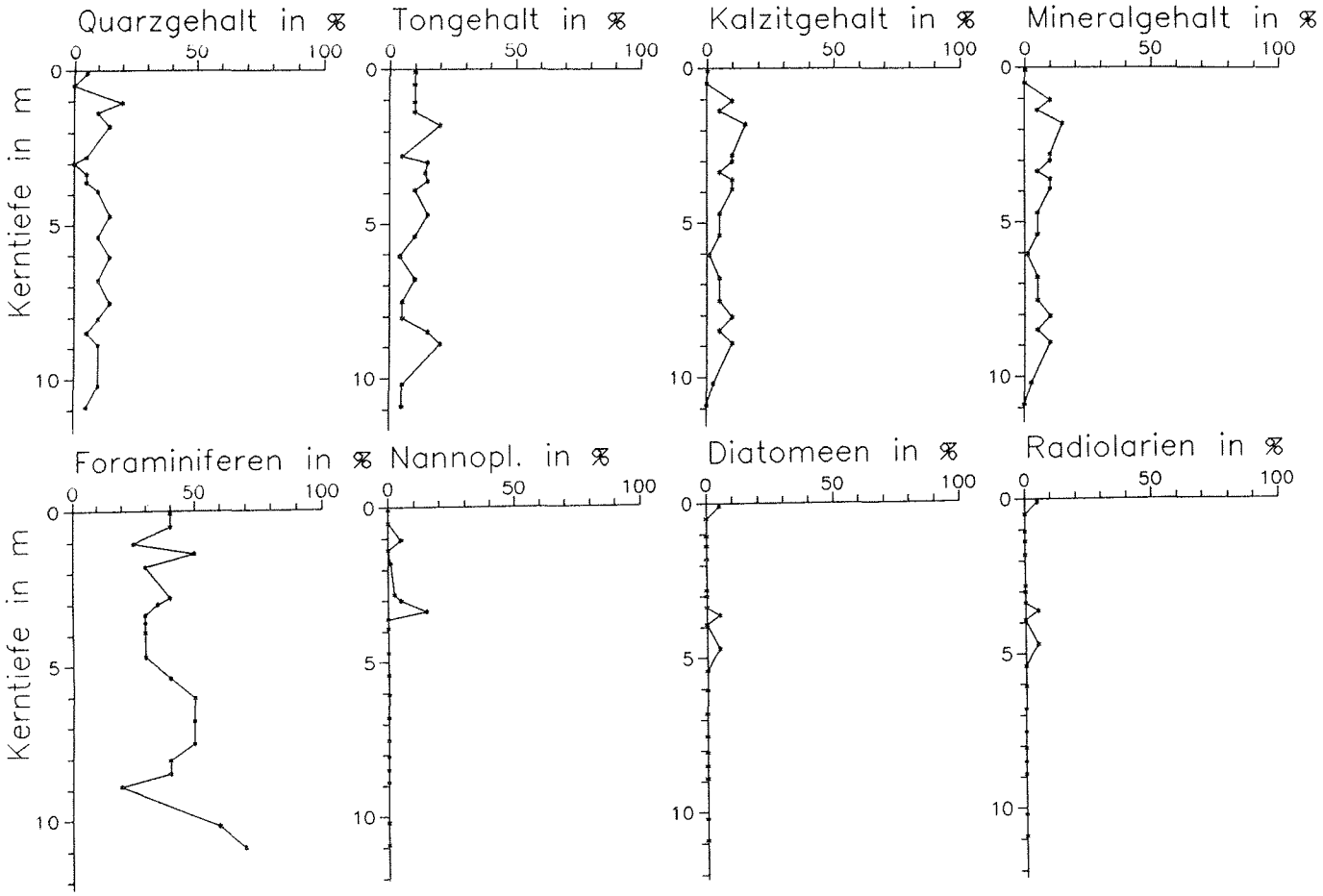


Abb. 49: Ergebnisse der Smear-Slide Analyse am Kern GeoB 1716-3.

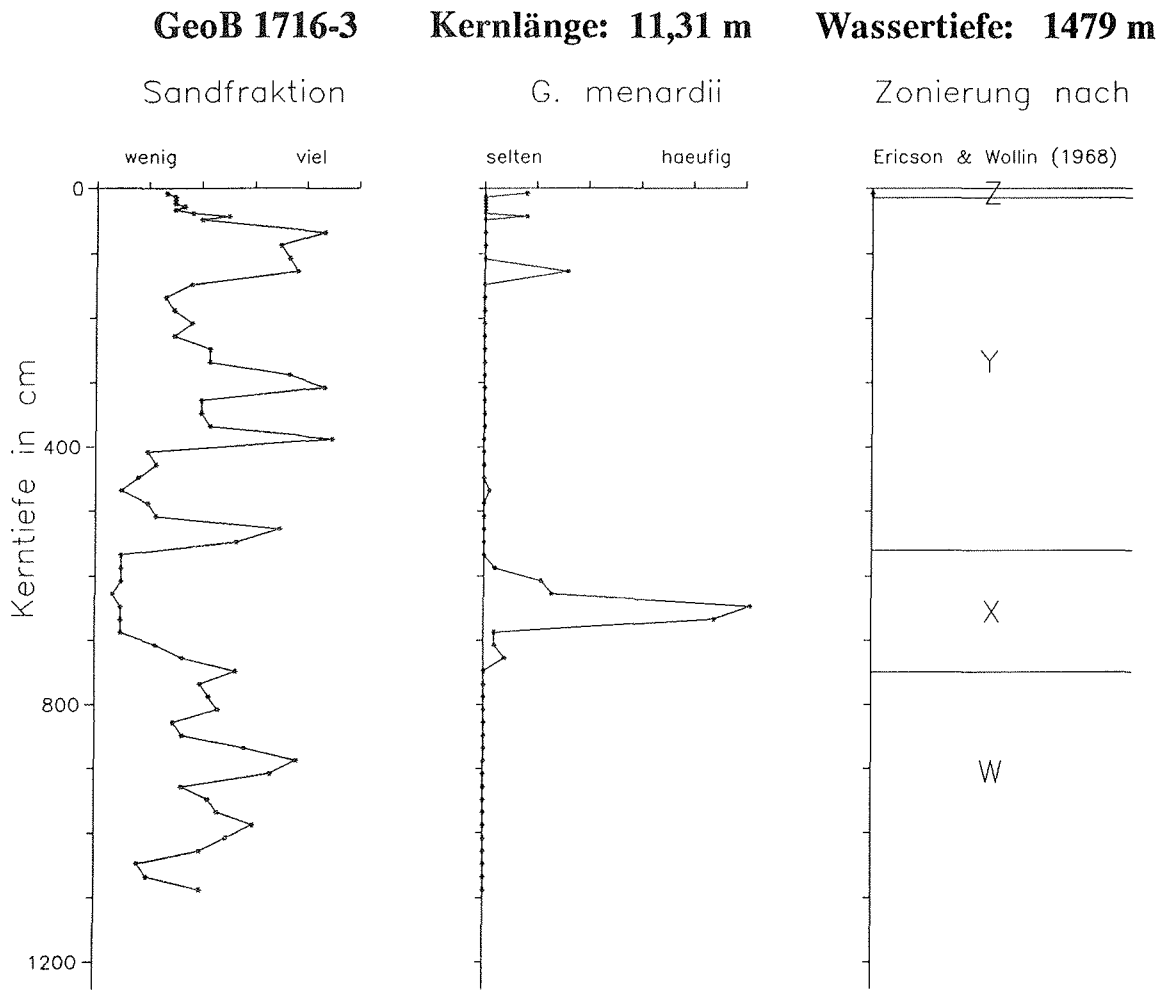


Abb. 50: Erste Ergebnisse zur Stratigraphie und zu den Anteilen der Sandfraktion des SL-Kerns GeoB 1716-3.

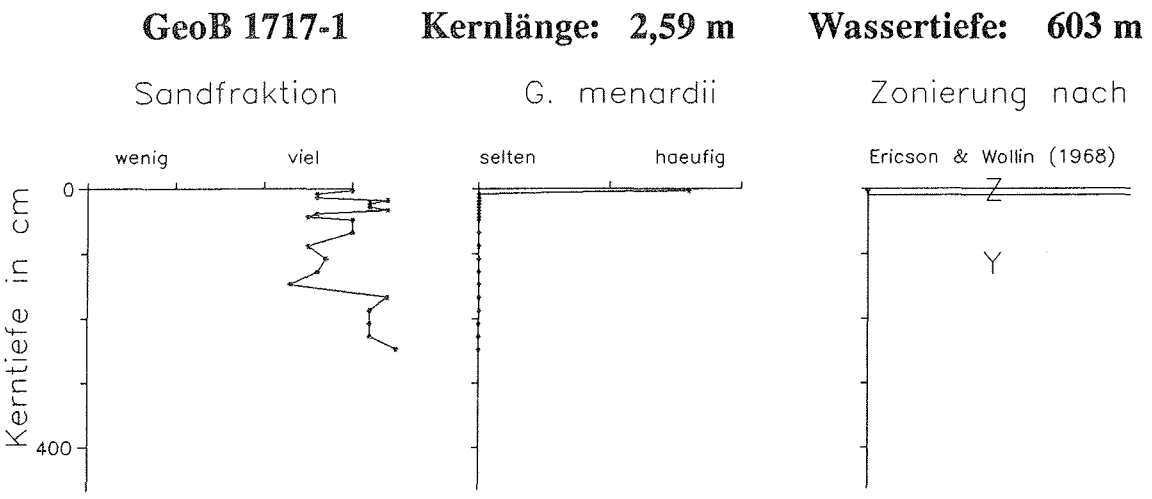


Abb. 51: Erste Ergebnisse zur Stratigraphie und zu den Anteilen der Sandfraktion des SL-Kerns GeoB 1717-1.

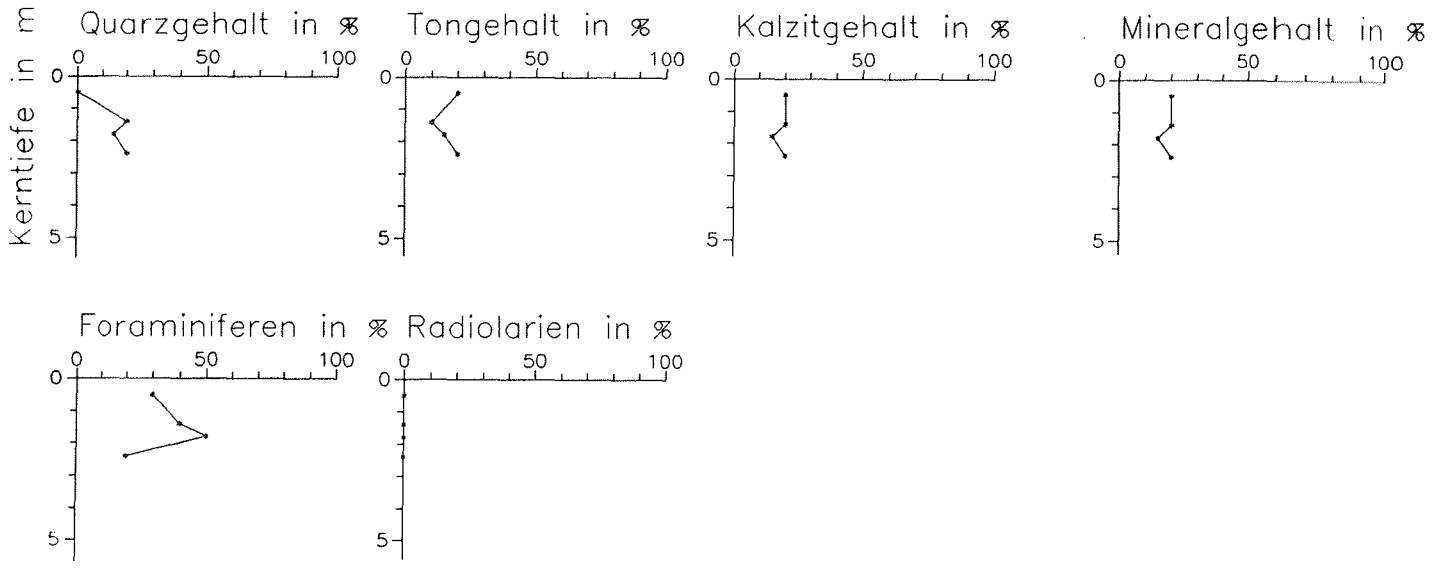


Abb. 52: Ergebnisse der Smear-Slide Analyse am Kern **GeoB 1717-1.**

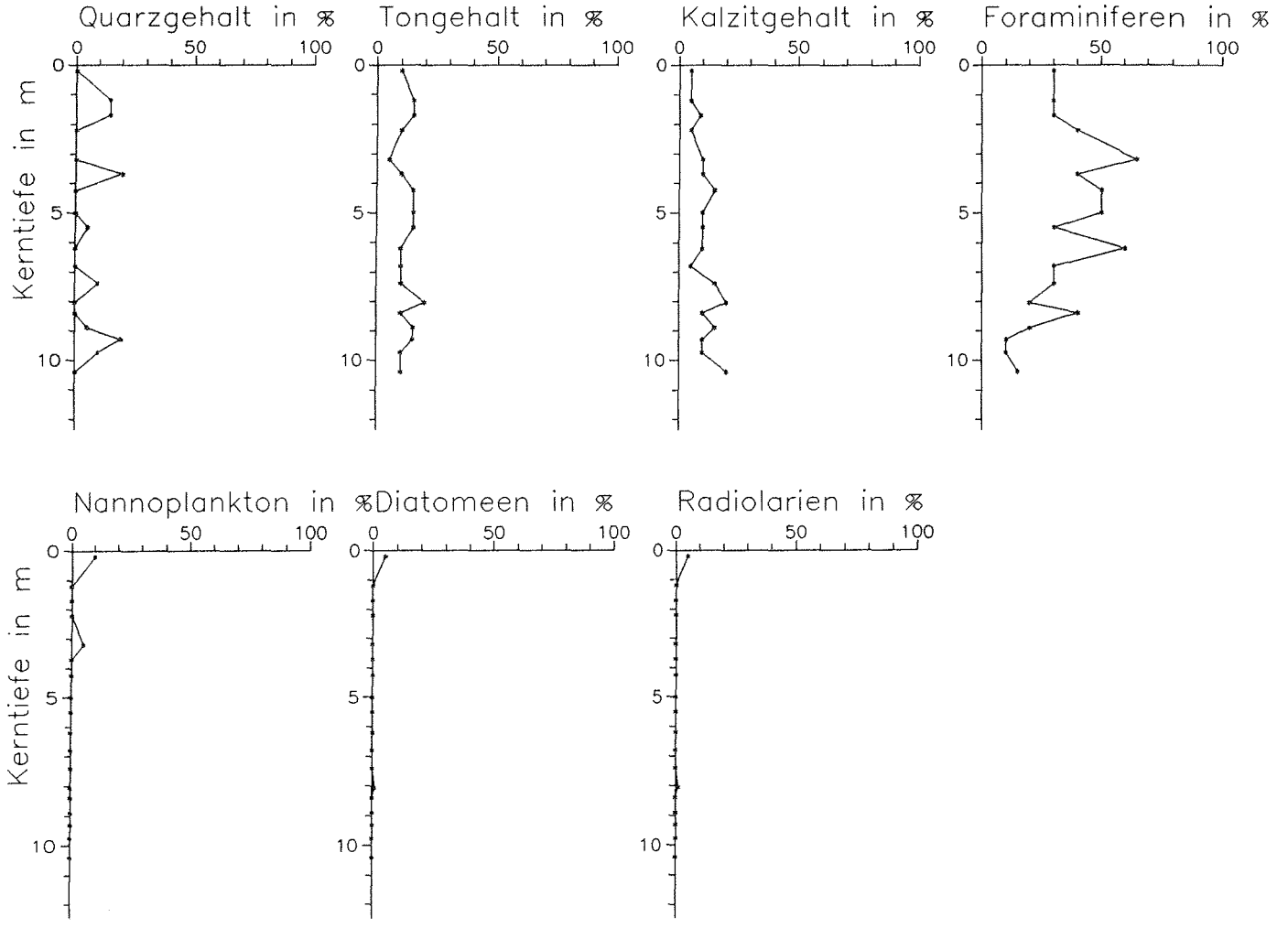


Abb. 53: Ergebnisse der Smear-Slide Analyse am Kern **GeoB 1719-7.**

4,50 m verschwinden Radiolarien und Diatomeen vollständig. Die nicht-biogenen Komponenten setzen sich aus Quarz, Pyrit, Augit und wenigen Tonmineralen zusammen.
Das biogen gebildete Karbonat im SL 1717-1 wird von Foraminiferen und Nannofossilien gebildet und beträgt 20-60%. Es enthält keine kieseligen Fossilien. Die nicht-biogenen Komponenten setzen sich aus Quarz, Augit, Biotit und Tonmineralen zusammen.

PROFIL C, KONTINENTALHANG NAMIBIA bis TIEFSEE

SL 1719-7;	WT 1009 m; 10,67 m Länge;	Tonschlamm	(Abb. 53, 54)
SL 1720-2;	WT 1997 m; 8,85 m Länge;	Karbonatschlamm	(Abb. 55, 56)
SL 1721-7;	WT 3044 m; 9,98 m Länge;	Karbonatschlamm	(Abb. 57, 58)
SL 1722-1;	WT 3973 m; 10,32 m Länge;	Karbonatschlamm	(Abb. 59, 60)
SL 1723-1;	WT 4986 m; 6,20 m Länge;	brauner Tiefseeton	(Abb. 61, 62)
SL 1724-2;	WT 5090 m; 7,45 m Länge;	brauner Tiefseeton	(Abb. 63, 64)

Im **SL 1719-7** kommen Vertreter der *G. menardii*-Gruppe nur in geringer Anzahl vor. Dennoch ist es möglich, den Kern bis in die Kaltzeit W (vor 130 000 Jahren) zurückzuverfolgen. Obwohl der Kern länger und damit auch älter ist, kann der Beginn von W nicht bestimmt werden, da ebenso *Globigerinoides ruber pink* und *Globigerinoides sacculifer* fehlen. Die Sedimentationsrate beträgt 4,5 cm/1000 Jahre. Andere Partikel sind in der Sandfraktion nicht nachweisbar.
Von den drei Karbonatkernen **SL 1720-2, SL 1721-7, SL 1722-1** läßt sich lediglich SL 1722-1 einstufen. Zwischen 6 und 7 m Kerntiefe sind die Sedimente 80 000 bis 130 000 Jahre alt (letzte Warmzeit X). Die Sedimentationsrate beträgt 6 cm/1000 Jahre. In den beiden anderen Karbonatkernen sind keine Arten, die für eine Altersbestimmung nützlich wären, vorhanden. Auffällig ist an allen Kernen die vergleichsweise geringe Größe der auftretenden planktischen Foraminiferen.
SL 1723-1 und **SL 1724-2**, beides Tiefseetone aus etwa 5000 m Wassertiefe, enthalten ab 30 cm Kerntiefe keinerlei biogenen Karbonat mehr. Eine Altersbestimmung ist nicht möglich.

Die Sandfraktion der SL dieses Profils ist sehr unterschiedlich zusammengesetzt. SL 1719-7 hat einen biogen gebildeten Karbonatanteil von 50-70%, der ausschließlich aus Foraminiferen und Nannofossilien besteht. Die terrigenen Anteile werden zu 10-25% von Tonmineralen gebildet, der Rest besteht aus Quarz. Auch bei diesem SL resultiert die dunkle Farbe aus den hohen Gehalten organischer Substanz. Es handelt sich um einen tonigen Karbonatschamm.
SL 1720-2 und 1722-1 enthalten 60-80% organisch gebildetes Karbonat, es handelt sich hauptsächlich um Nannofossilien und Foraminiferen. SL 1722-1 aus einer WT von 3973 m zeigt bis zu 20% kieselige Organismen (Diatomeen, Radiolarien). Als terrigenen Anteil enthält das Sediment Quarz und Tonminerale, als authigenes Mineral kommt Pyrit vor.

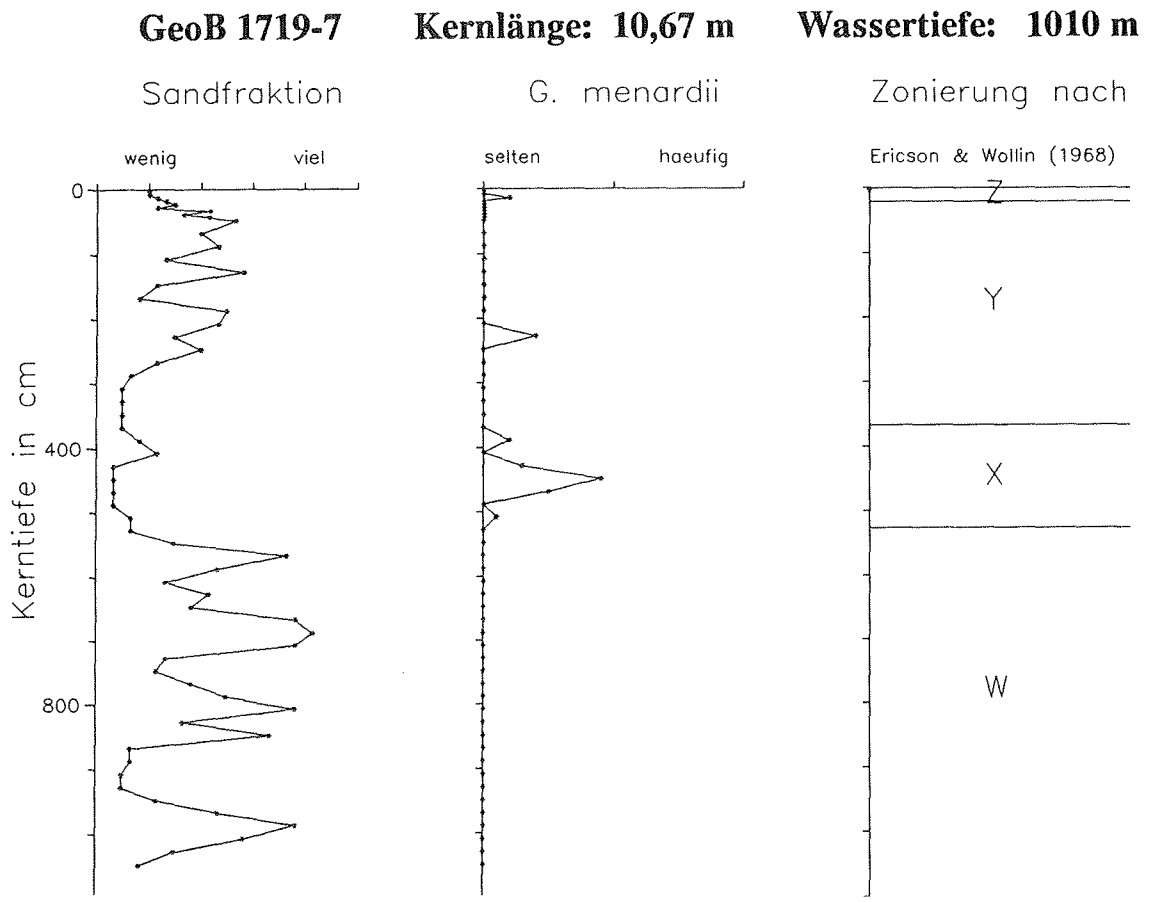


Abb. 54: Erste Ergebnisse zur Stratigraphie und zu den Anteilen der Sandfraktion des SL-Kerns GeoB 1719-7.

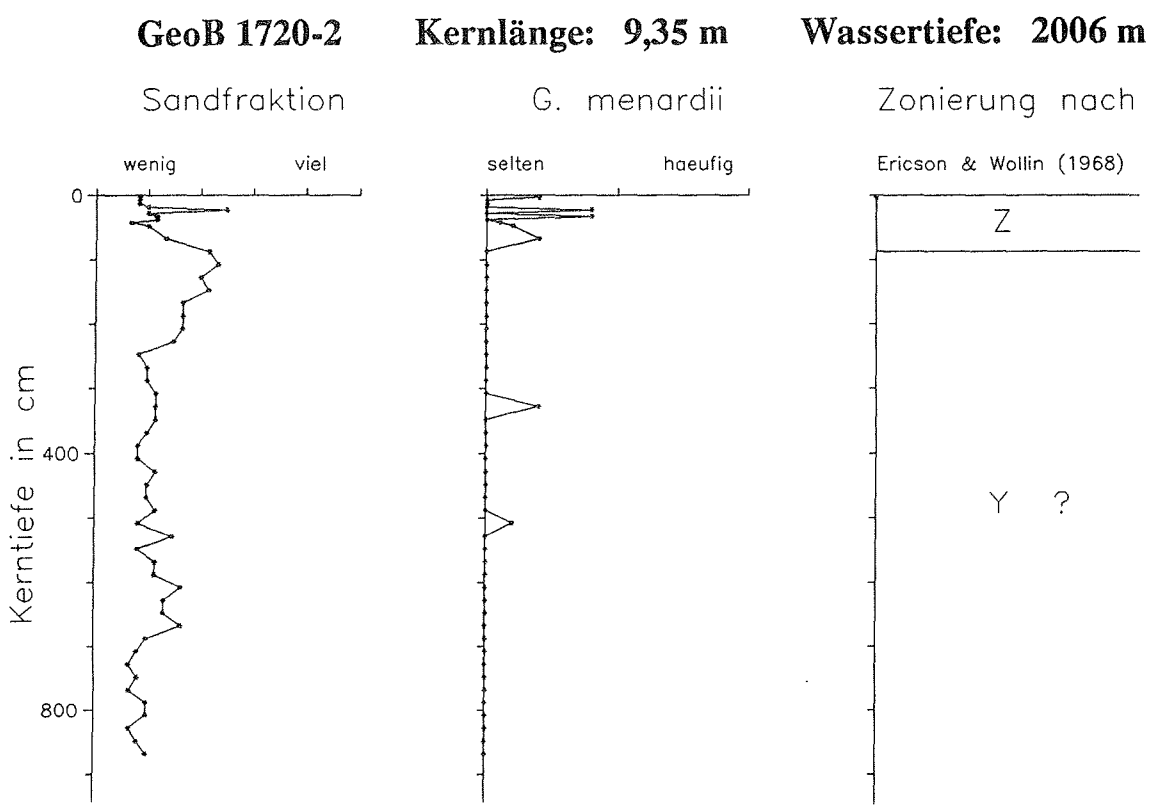


Abb. 55: Erste Ergebnisse zur Stratigraphie und zu den Anteilen der Sandfraktion des SL-Kerns GeoB 1720-2.

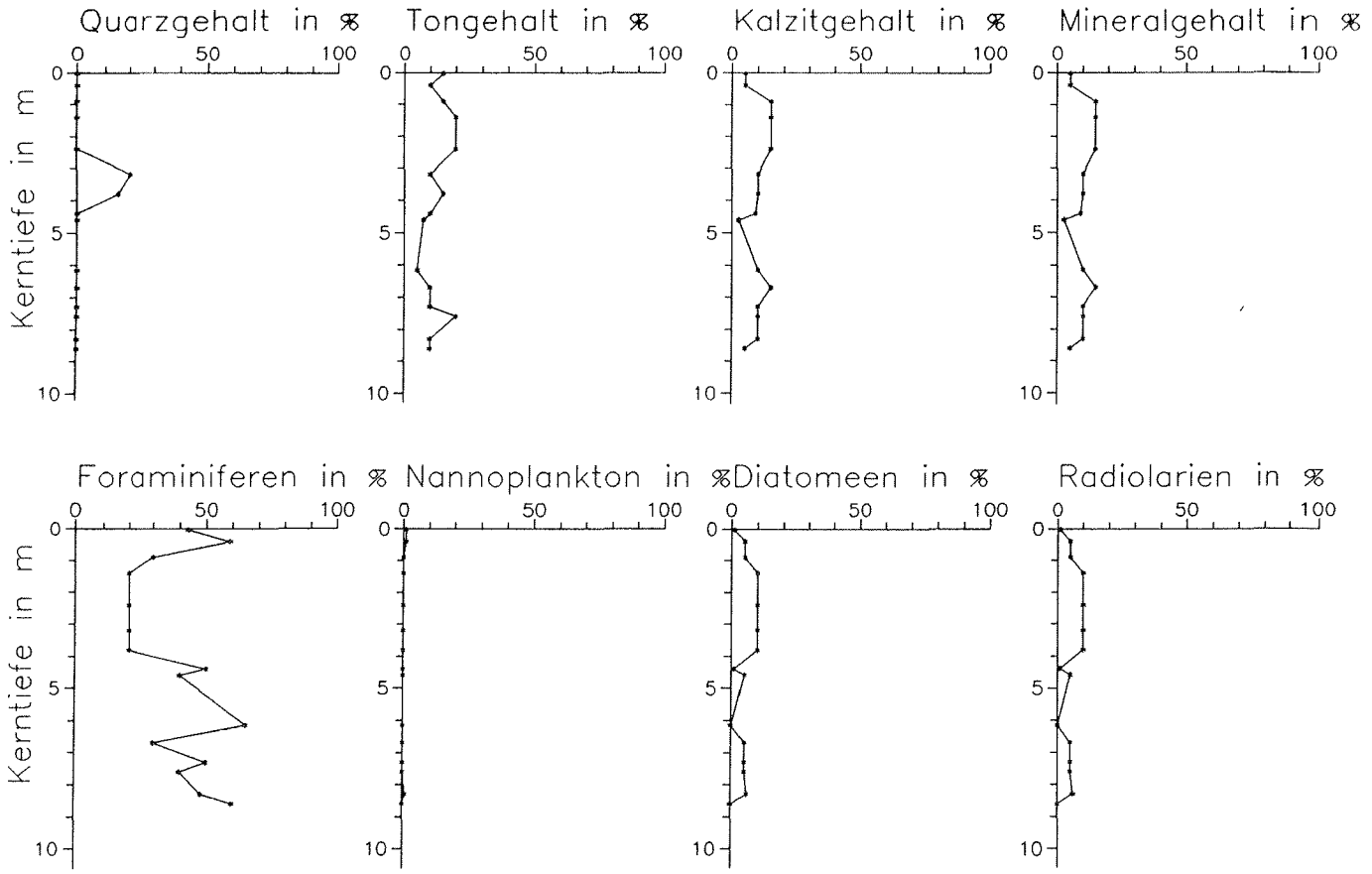


Abb. 56: Ergebnisse der Smear-Slide Analyse am Kern GeoB 1720-2.

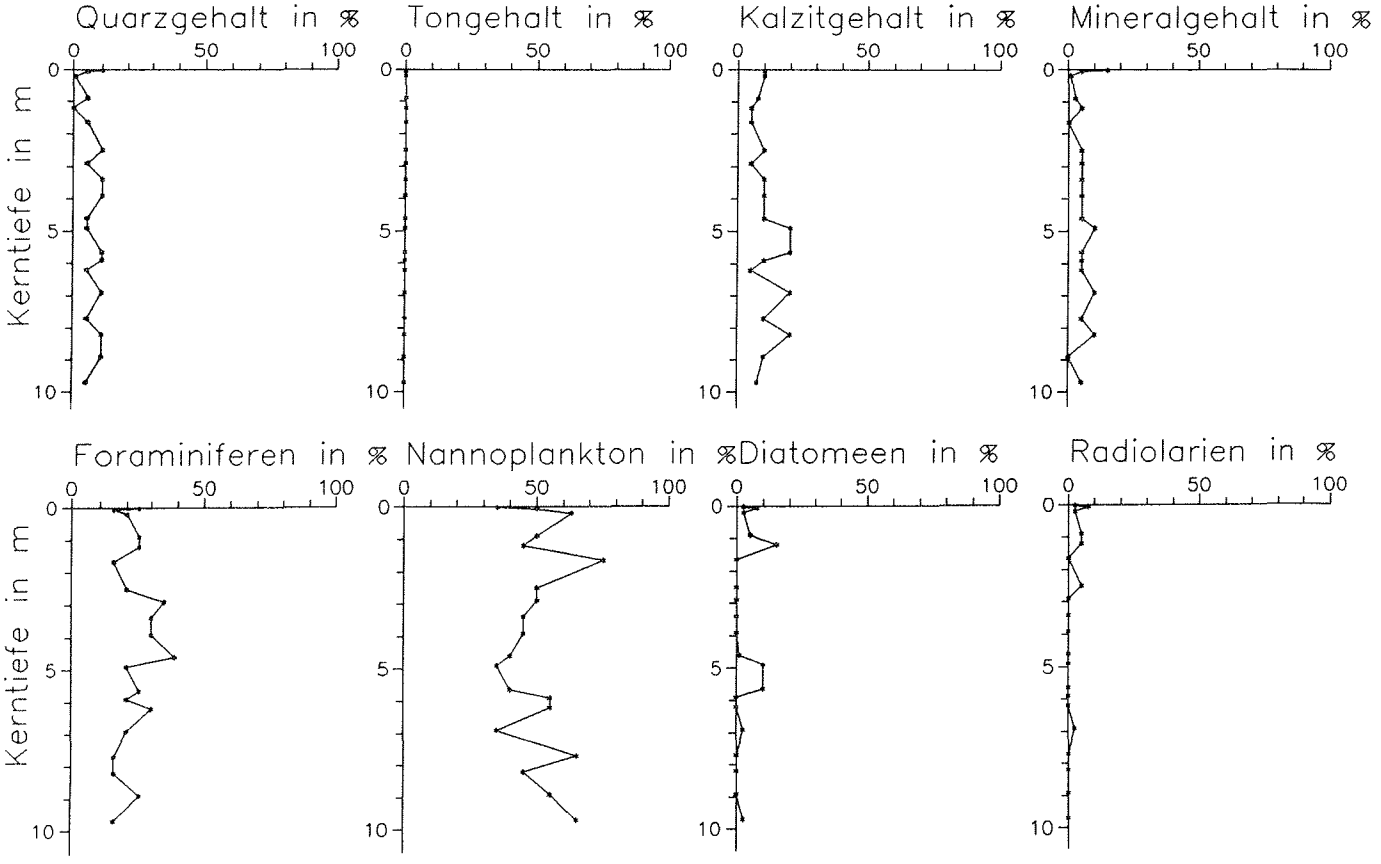


Abb. 57: Ergebnisse der Smear-Slide Analyse am Kern GeoB 1721-7.

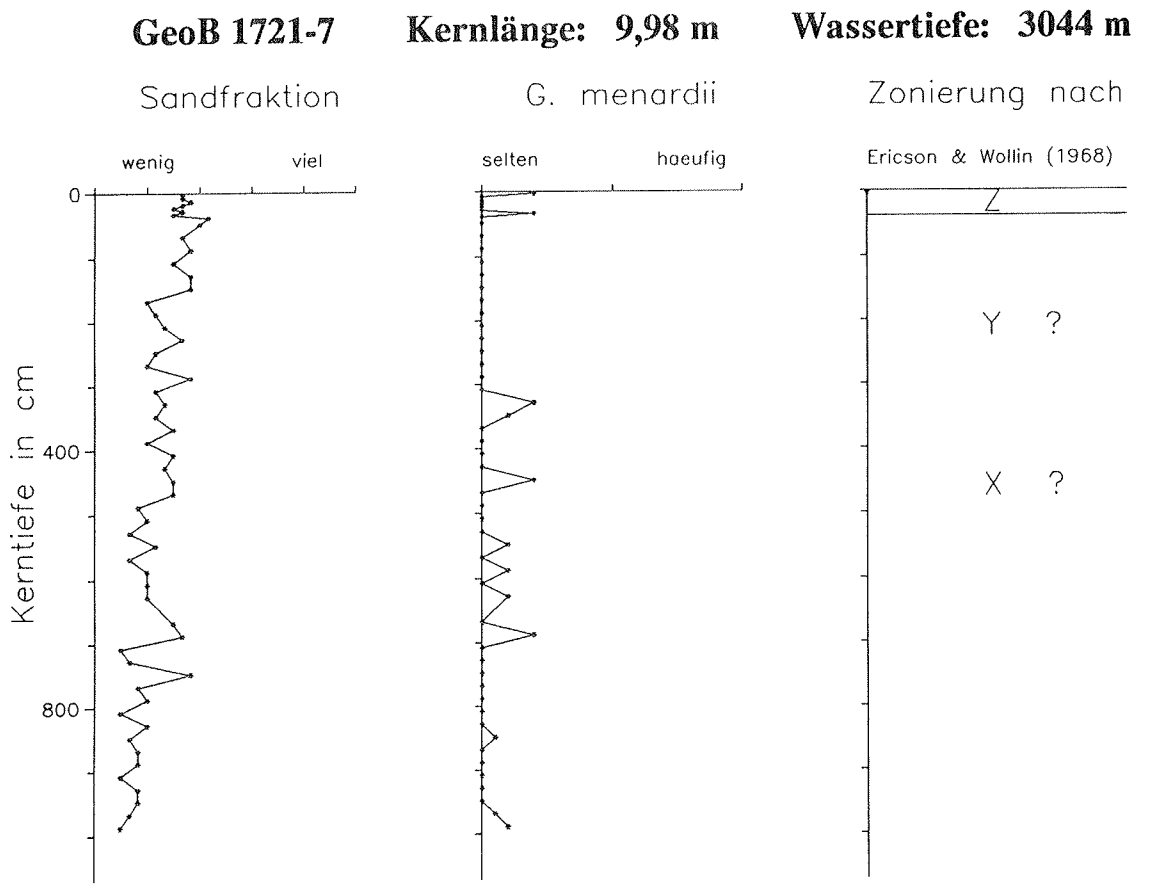


Abb. 58: Erste Ergebnisse zur Stratigraphie und zu den Anteilen der Sandfraktion des SL-Kerns GeoB 1721-7.

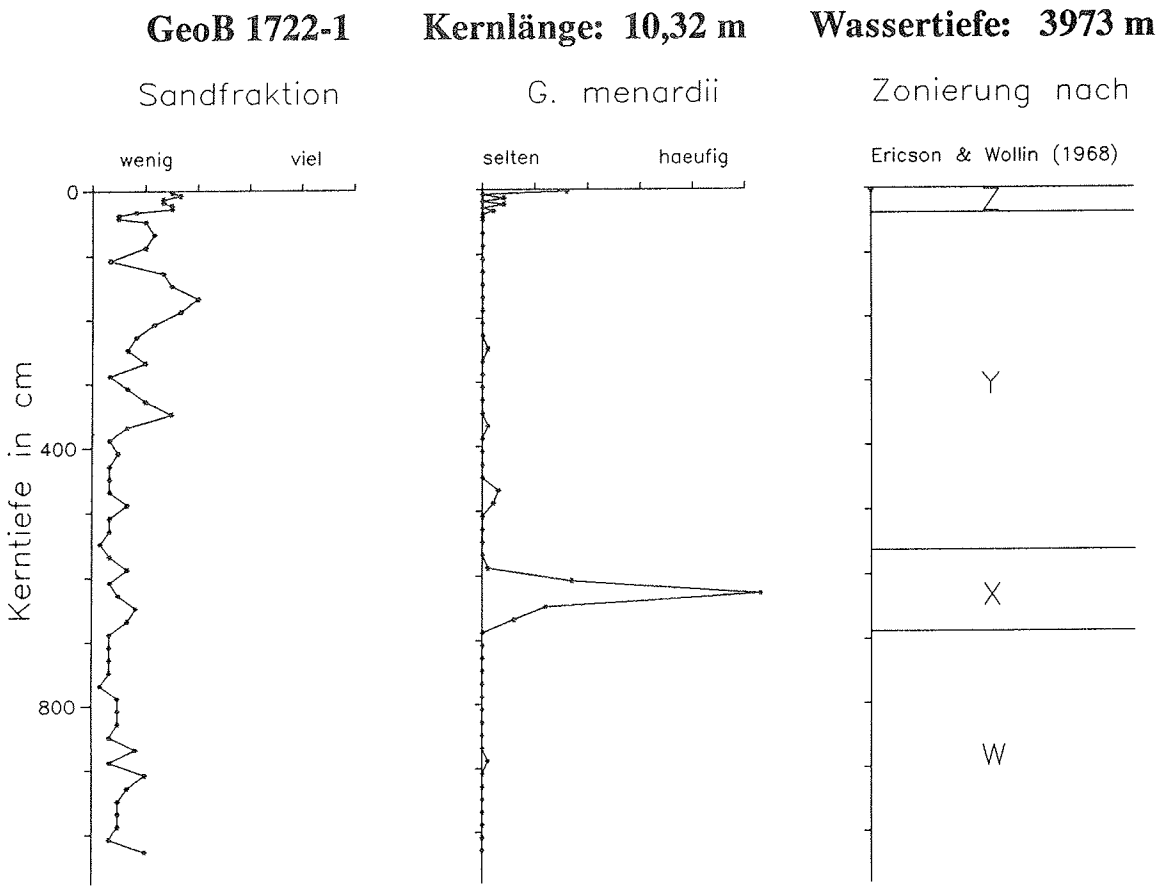


Abb. 59: Erste Ergebnisse zur Stratigraphie und zu den Anteilen der Sandfraktion des SL-Kerns GeoB 1722-1.

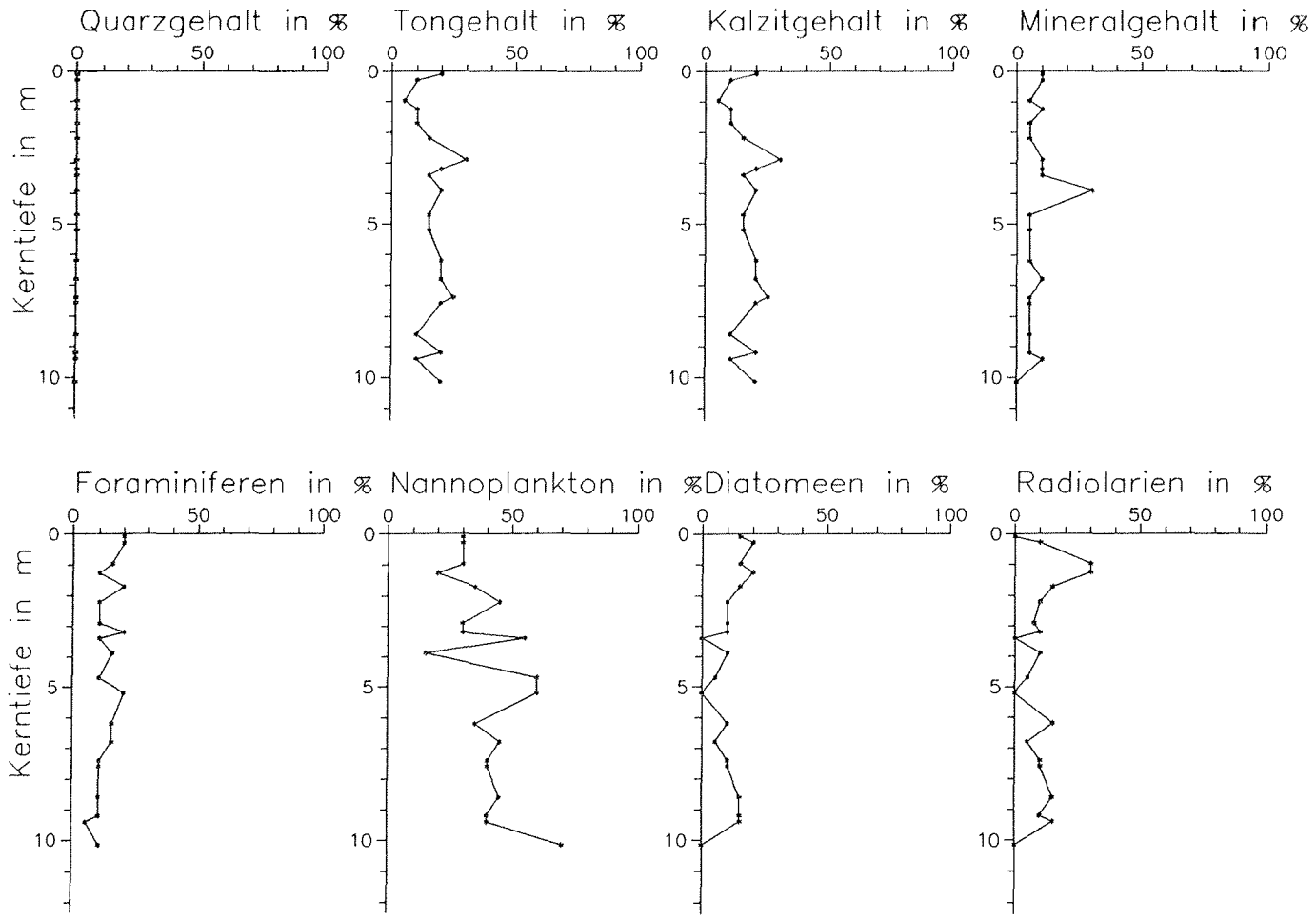


Abb. 60: Ergebnisse der Smear-Slide Analyse am Kern GeoB 1722-1.

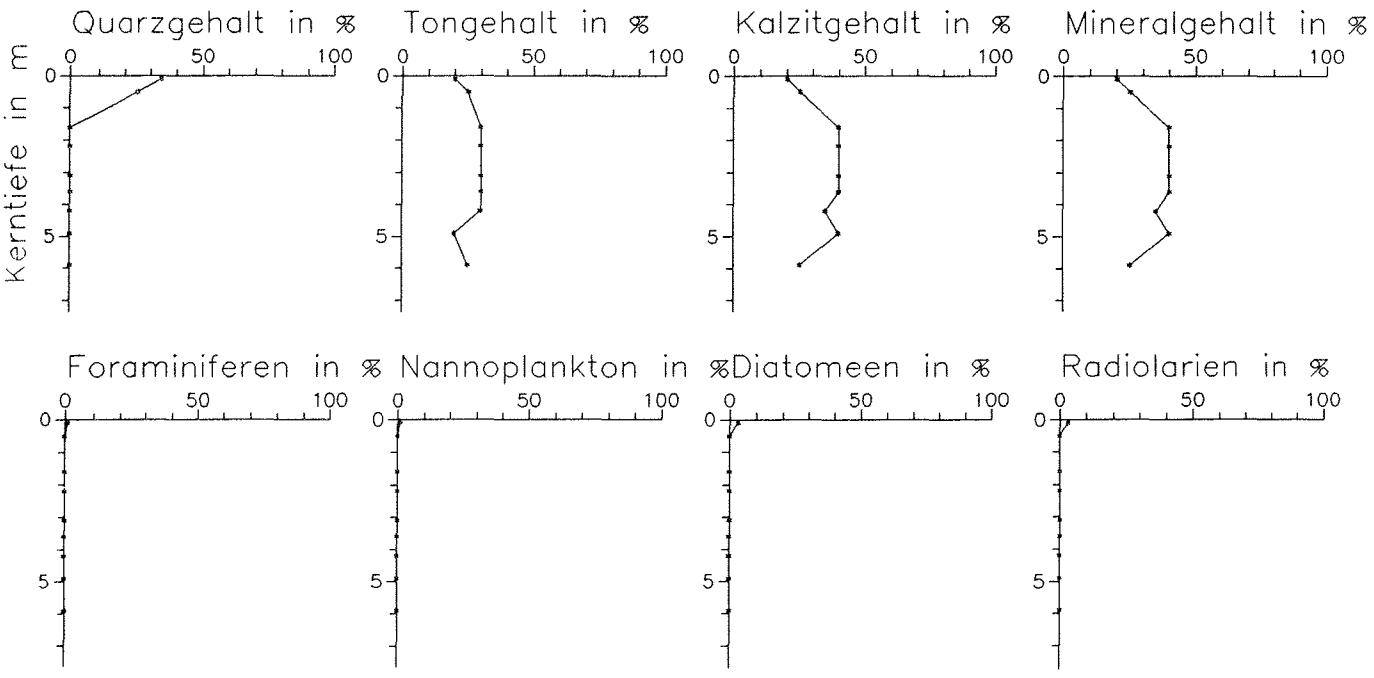


Abb. 61: Ergebnisse der Smear-Slide Analyse am Kern GeoB 1723-1.

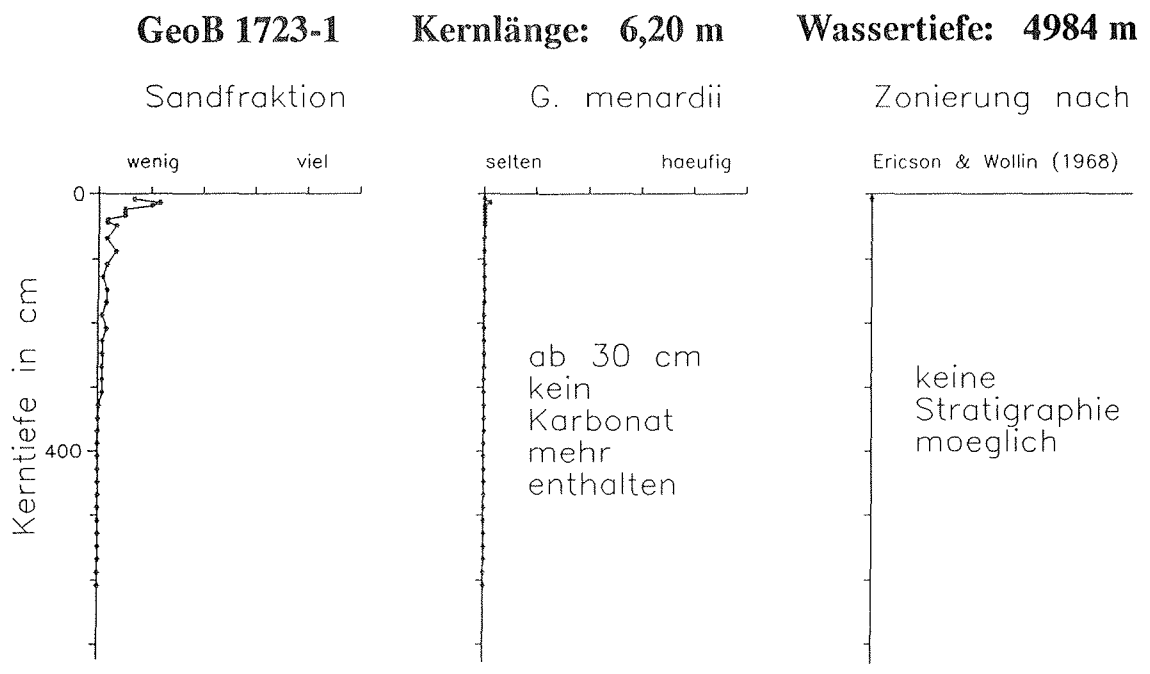


Abb. 62: Erste Ergebnisse zur Stratigraphie und zu den Anteilen der Sandfraktion des SL-Kerns GeoB 1723-1.

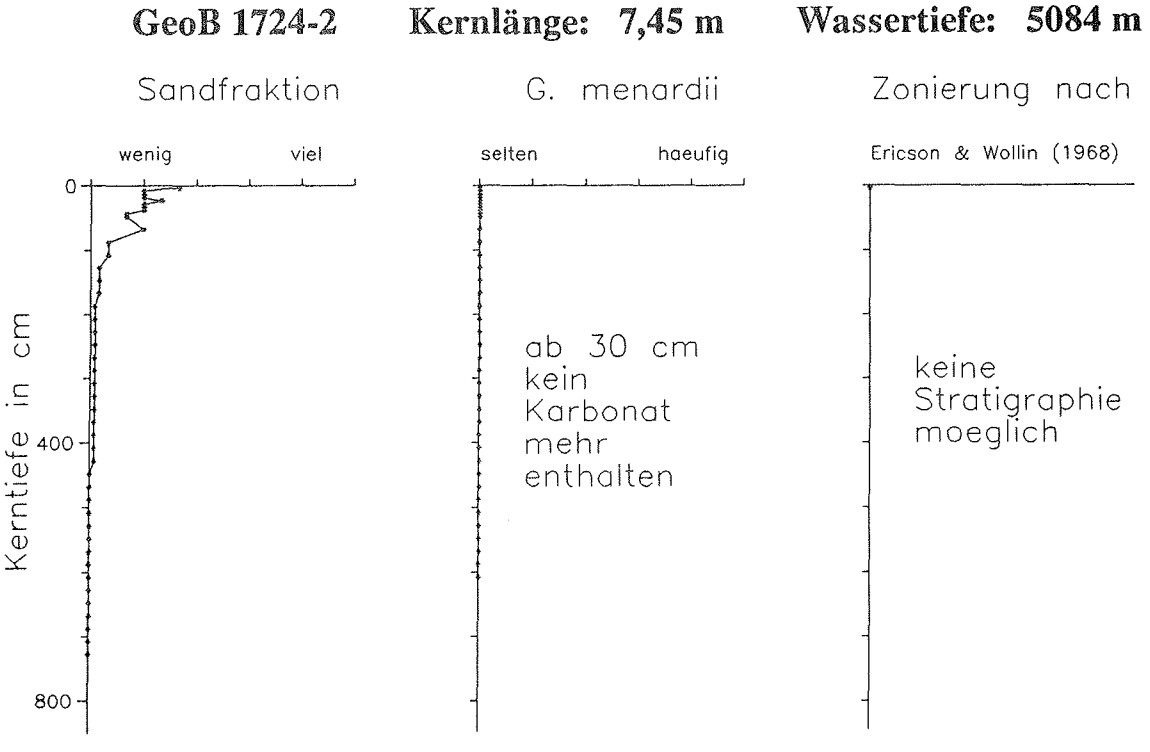


Abb. 63: Erste Ergebnisse zur Stratigraphie und zu den Anteilen der Sandfraktion des SL-Kerns GeoB 1724-2.

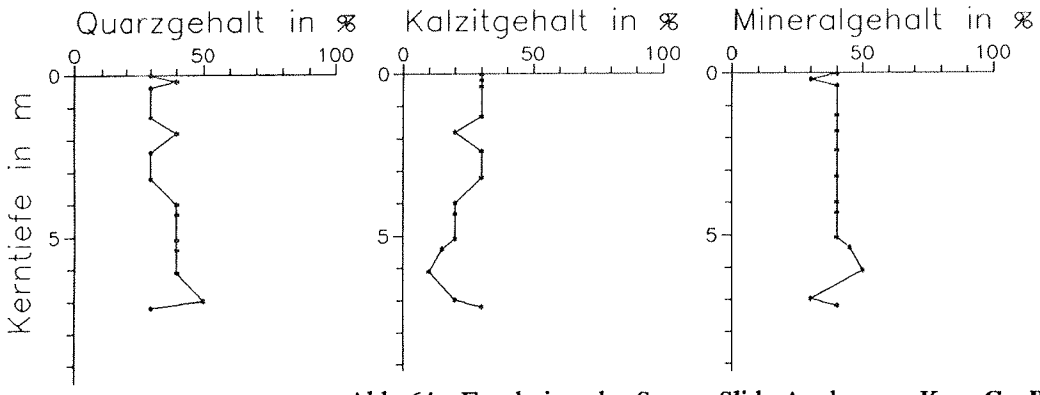


Abb. 64: Ergebnisse der Smear-Slide Analyse am Kern **GeoB 1724-2.**

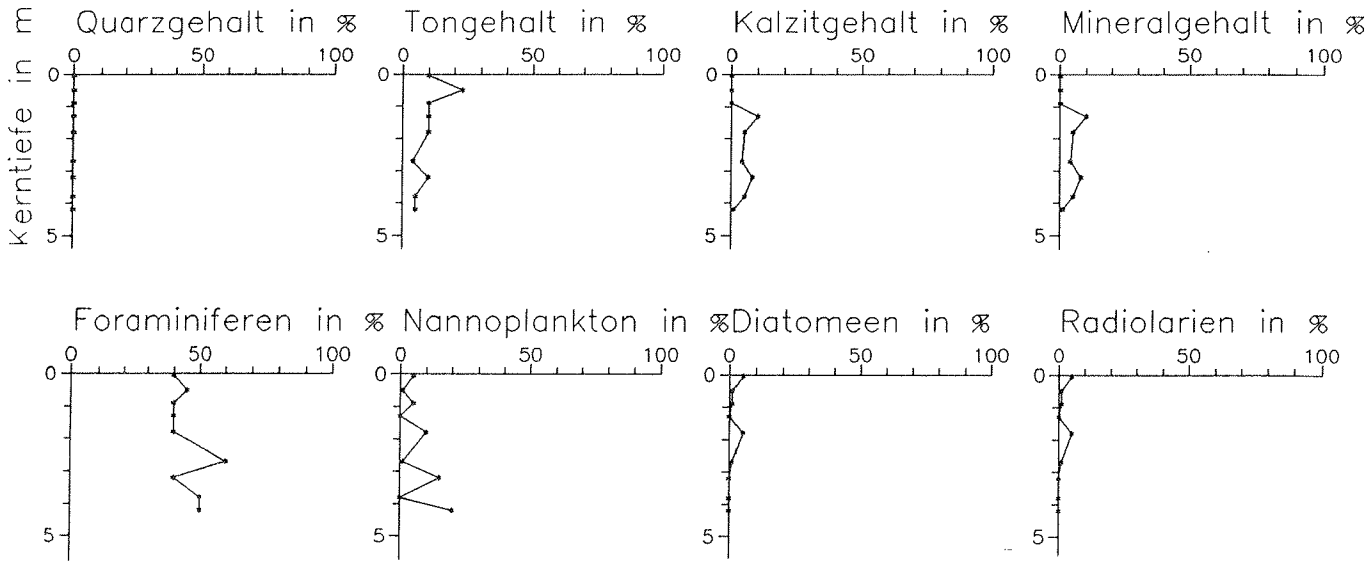


Abb. 65: Ergebnisse der Smear-Slide Analyse am Kern **GeoB 1728-1.**

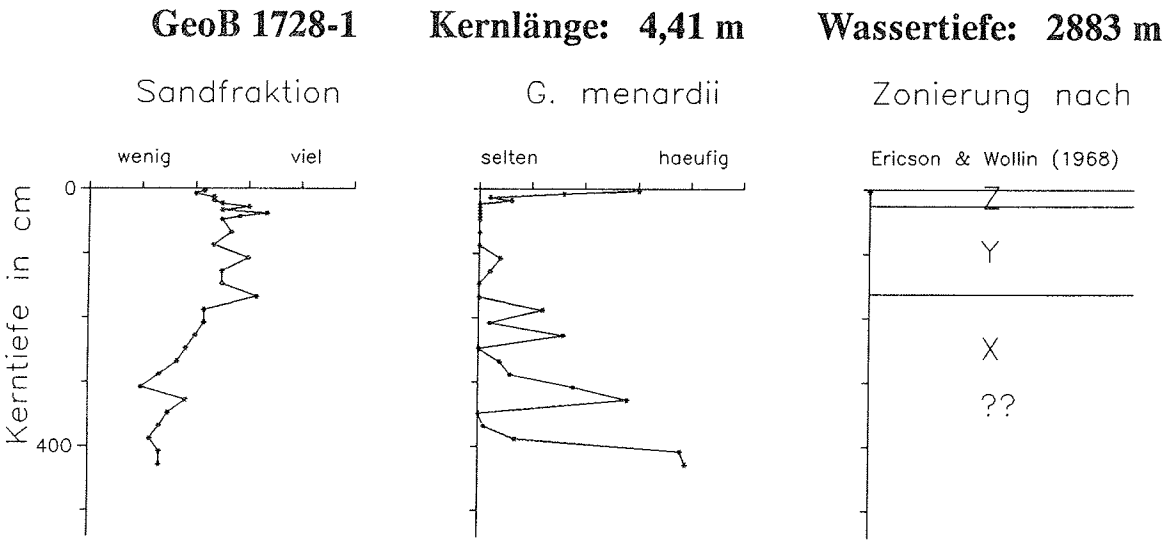


Abb. 66: Erste Ergebnisse zur Stratigraphie und zu den Anteilen der Sandfraktion des SL-Kerns GeoB 1728-1.

SL 1723-1 und 1724-2 sind reine Tiefseetone, ihr Karbonatanteil beträgt < 10%, die biogenen Komponenten machen ebenfalls immer < 10% aus. Die terrigenen und authigenen Komponenten setzen sich aus Quarz, Tonmineralen und Pyrit zusammen.

PROFIL D, SÜDLICHER WALFISCHRÜCKEN

SL 1728-1;	WT 2883 m;	4,41 m Länge;	Karbonatschlamm	(Abb. 65, 66)
SL 1729-3;	WT 4401 m;	7,45 m Länge;	Karbonatschlamm	(Abb. 67, 68)

Die Sandfraktion beider Karbonatkerne setzt sich aus planktischen Foraminiferen zusammen. Auch Exemplare des *G. menardii*-Komplexes sind zahlreich vertreten. **SL 1728-1** erreicht die letzte Warmzeit X, ist jedoch zu kurz, um auch den Beginn dieses Stadiums zu dokumentieren. Die Sedimentationsrate beträgt 2 cm/1000 Jahre. Die Karbonaterhaltung ist durchweg gut. Bei **SL 1729-3** sind Warm- und Kaltzeiten nachzuweisen. Die letzte Kaltzeit Y fällt jedoch extrem kurz aus; im Vergleich dazu war im Stadium X und Stadium W die Sedimentationsrate bedeutend höher. Dieser Kern ist an der Basis wahrscheinlich älter als 160 000 Jahre, er erreicht die vorletzte Warmzeit V.
Anhand der mikroskopischen Analyse werden SL 1728-1 und 1729-3 als Karbonatschlämme eingestuft. Das biogen gebildete Karbonat macht 70-80% des Sediments aus, es setzt sich aus Foraminiferen und Nannofossilien zusammen. SL 1729-3 aus 4401 m WT zeigt eine deutliche Zunahme von kieseligen Fossilien. Es handelt sich hauptsächlich um Diatomeen und Radiolarien mit einem Auftreten bis zu 15%. Die terrigenen und authigenen Komponenten bestehen aus Quarz, Biotit und Pyrit.

4.4 Profilierende CTD-Messungen

(R. Schneider, M. Segl)

Eine CTD-Festspeichersonde der Firma SEABIRD (SBE 19) wurde auf der METEOR-Reise M 20/2 auf 21 Stationen profilierend eingesetzt. Sie wurde 50 m oberhalb des Großkastengreifers (2 Einsätze am Multinetz, Schiebebalken defekt) am Draht montiert. Bei Stationen mit Wasserschöpfereinsatz wurde die Sonde ein zweites Mal gefahren. Die Sonde ist mit einem Druck- und Temperatursensor, einer Leitfähigkeitszelle und einem O_2-Sensor standardmäßig ausgestattet. Auf diesem Fahrtabschnitt wurde zum zweiten Mal im Anschluß an M 20/1 ein Trübungsmesser (SeaTech Transmissiometer, 25 cm Side View) zusätzlich mitgefahren.

Die Rohdaten wurden sofort nach Aufnahme des Gerätes aus dem Festspeicher ausgelesen und weiter verarbeitet. Standardplots aus den Fieren-Profildaten wurden an Bord erstellt, so daß Informationen über die vertikale Struktur der Wassersäule kurz nach Aufnahme des Gerätes vorlagen.

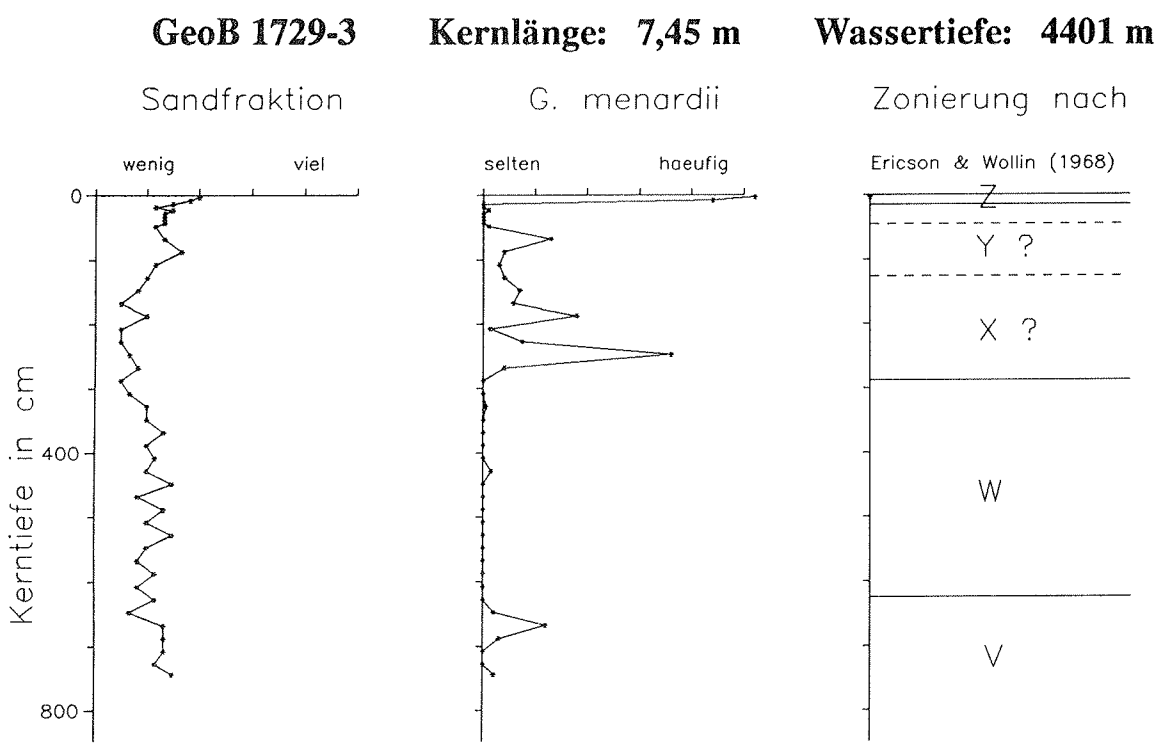


Abb. 67: Erste Ergebnisse zur Stratigraphie und zu den Anteilen der Sandfraktion des SL-Kerns GeoB 1729-3.

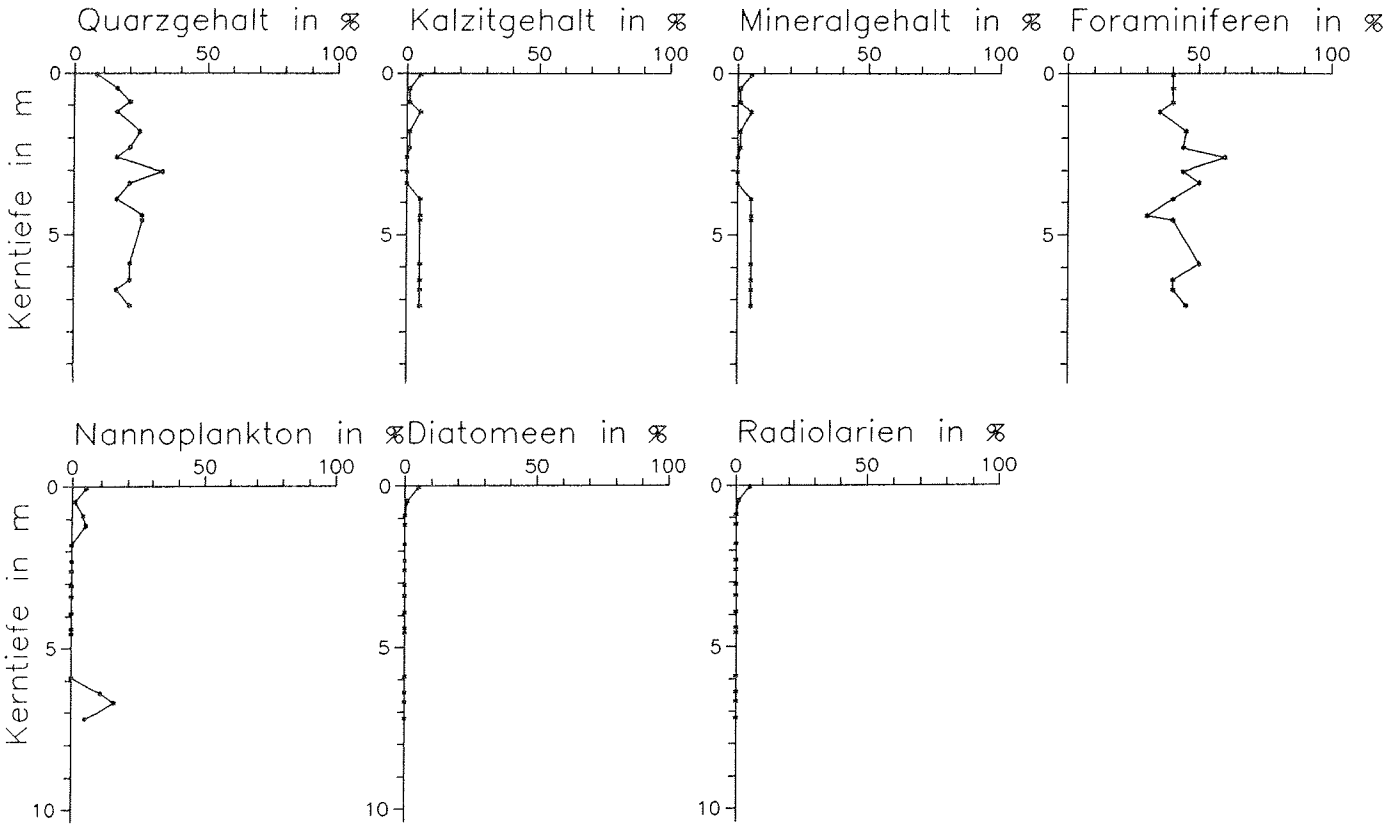


Abb. 68: Ergebnisse der Smear-Slide Analyse am Kern GeoB 1729-3.

Um einen Überblick über die regionalen physiko-chemischen Veränderungen in Nord-Süd-Richtung vom Niger bis in das Kap-Becken bei 29°S und in Ost-West Richtung unter dem Hochproduktionsgebiet vor Namibia zu erlangen, wurden die Daten zunächst in einheitlichem Maßstab und großen Wertebereichen dargestellt. Die Abbildung 69 zeigt die Profile in der Reihenfolge von S nach N: zentrales Kap-Becken mit Station GeoB 1724 (bis ca. 5000 m WT), Kontinentalhang Namibia mit GeoB 1720 auf Profil C (bis 2000 m) und GeoB 1711 auf Profil B (bis 2000 m), Kontinentalhang Angola mit GeoB 1703 vor der Kunene-Mündung (bis 1800 m), mit GeoB 1702 vor der Kongo-Mündung (bis 3000 m) und im Guinea-Becken, mit GeoB 1701 vor der Niger-Mündung (bis 4000 m). Sie geben die Situation für den Januar 1992 wieder.

Die Sauerstoff-, Temperatur- und Salinitätsprofile von der 5100 m tiefen Station GeoB 1724 (Abb. 69a) zeigen alle für den östlichen Südatlantik typischen Wassermassen (vgl. GEOSECS-Station Nr. 102). Vom Meeresboden bis in eine Tiefe von etwa 4300 m erstreckt sich das Antarktische Bodenwasser (AABW) mit den geringsten Temperaturen bei 1,2°C und etwas niedrigeren Sauerstoff- und Salinitätswerten als die darüberliegende Wassermasse, das Nordatlantische Tiefenwasser (NADW). Das NADW zeigt relativ konstante Temperaturen von 2-3°C und Salinitäten von 34,8°/oo bis in eine Tiefe von 2000 m. Die Sauerstoffgehalte mit 4,6 ml/l im zentralen NADW veringern sich aufgrund des Austauschs mit dem AABW nach unten und mit dem Antarktischen Zwischenwasser (AAIW) nach oben hin. Das über dem NADW liegende AAIW reicht von etwa 1800 m bis 800 m Wassertiefe. Typisch ist das Sauerstoffminimum bei 1300 m Wassertiefe, wo mit 3,8 ml/l die geringsten O_2-Konzentrationen des gesamten Profils erreicht werden. Auffällig im AAIW des Kap-Beckens ist die Trennung des Sauerstoff-Minimums von dem Salinitäts-Minimum, welches erst in 800 m Wassertiefe erreicht wird. Hier wird das AAIW nach oben hin begrenzt durch das Südatlantische Zentralwasser (SACW). Das SACW reicht etwa bis in eine Wassertiefe von 200-100 m und zeichnet sich aus durch einen starken Temperaturanstieg von etwa 4°C auf 15°C und durch eine Salinitätszunahme von 34,3°/oo auf 35,2°/oo. Auch die Sauerstoff-Gehalte sind im SACW gegenüber dem AAIW um etwa 1 ml/l erhöht. Zwischen 200 und 100 m Wassertiefe beginnt im zentralen Kap-Becken die Durchmischung des SACW mit der warmen und höher salinaren Oberflächenschicht. Das Hinaufreichen der Obergrenze des SACW in das Oberflächenwasser ist abhängig von der Intensität des windgesteuerten Auftriebs und reicht in Küstennähe vor Namibia bis zur Oberfläche. Da das SACW im Austausch steht mit dem Nährstoff-reichen AAIW, versorgt es so die Hochproduktionsgebiete vor Namibia und Angola mit Nährstoffen. Aufgrund der hier gewählten Darstellung bis in 5000 m Wassertiefe für alle Profile, ist die Beschreibung der Veränderung der Oberflächendurchmischung nicht möglich. Im folgenden wird deshalb vor allem auf die Veränderungen unterhalb von 200 m Wassertiefe eingegangen.

Nach den Temperatur- und Salinitätsprofilen der o.g. Stationen verändert sich die für das zentrale Kap-Becken beschriebene, generelle vertikale Wassermassenschichtung zwischen 200 und 4000 m

nicht. Soweit von den einzelnen Profilen mit unterschiedlicher Endtiefe erfaßt, zeigen die Profile in den entsprechenden Wassertiefen, den gleichen für die einzelnen Wasserkörper NADW, AAIW und SACW signifikanten Kurvenverlauf (Abb. 69a-f). Bei den Stationen GeoB 1720 (Abb. 69b) und GeoB 1711 (Abb. 69c) im Einflußbereich des küstennahen Auftriebs vor Namibia liegt die Obergrenze (12°C-Isotherme, 34,8°/oo Salinitätsgrenze) des kalten, nährstoffreichen SACW um 100 bis 200 m höher als bei den Stationen vor den Flußmündungen und im zentralen Kap-Becken (Abb. 69a, d, e, f).

Die deutlichsten Veränderungen zwischen den Stationen zeigen die Sauerstoff-Profile in WE- und NS-Richtung im Bereich der sogenannten Sauerstoff-Minimumzone (SMZ). Im zentralen Kap-Becken sie mit einer Abnahme von -0,8 ml/l gegenüber den unter- und überlagernden Wasserschichten nur gering zwischen 1000 und 1500 m ausgebildet. Nach Osten hin, in Annäherung an das Auftriebsgebiet bei Station GeoB 1720 vom Profil C (Abb. 69b), wird diese SMZ etwas mächtiger (800 bis 1500 m) und es bildet sich eine zweite SMZ zwischen 200 und 400 m Wassertiefe mit ebenfalls ΔO_2 = -0,8 ml/l. Nach Norden, in Richtung des zentralen Auftriebsgebietes vor Namibia bildet sich eine mächtige SMZ und die O_2-Abnahme verstärkt sich. Sie ist bei 23°S etwa 900 m mächtig und die O_2-Abnahme beträgt im Zentrum etwa 2,5 ml/l (Profil B, GeoB 1711, Abb. 69c). Ihr größtes Ausmaß erreicht die SMZ nördlich des Walfisch-Rückens vor der Kunene-Mündung mit einem O_2-Minimum von 1 ml/l (ΔO_2 gegenüber zentralem Kap-Becken -3 ml/l). Sie reicht im Profil der Station GeoB 1703 (Abb. 69d) von etwa 50 m bis 1200 m Wassertiefe. Weiter in Richtung Norden über dem Kontinentalhang vor Angola und Kongo nimmt die Mächtigkeit und Intensität der SMZ langsam wieder ab (GeoB 1702, Kongo-Mündung, Abb. 69e) und ist vor der Niger-Mündung in ihren Ausmaßen vergleichbar (GeoB 1701, Niger-Mündung, Abb. 69f) mit der Situation vor der Walfisch-Bucht bei 23°S (GeoB 1711, Abb. 69c).

Da sich die Temperatur- und Salinitätsprofile zwischen den beschriebenen Stationen aus dem Guinea-, Angola- und Kap-Becken nicht wesentlich ändern, ist die Veränderung der SMZ im Tiefenbereich des SACW und AAIW nicht auf Wassermassenaustausch zurückzuführen. Sie ist vielmehr durch die lokale Sauerstoffzehrung durch die Remineralisation von organischem Material unter den Hochproduktionsgebieten und vor den Flußmündungen im Oberflächenwasser des östlichen Südatlantiks bedingt. Auf ihrem Weg nach Norden, entlang des Kontinentalhanges vor Namibia, Angola und Kongo, werden die intermediären Wassermassen zunehmend Sauerstoff-ärmer. Ab der Kongo-Mündung erfolgt wieder eine Zunahme des Sauerstoff-Gehaltes, was vermutlich aus der Abnahme der ozeanischen Hochproduktion nördlich der Kongo-Mündung resultiert. Das Maximum der SMZ nördlich des Walfisch-Rückens wurde auch für die anderen Jahreszeiten an der gleichen Position beschrieben (CHAPMANN & SHANNON 1987). Es liegt eigentlich am nördlichen Rand der bisher in der Literatur beschriebenen küstennahen Hochproduktionszone vor Namibia und läßt vermuten, daß die Primärproduktion in der Gesamtbilanz nördlich des Walfisch-Rückens möglicher-

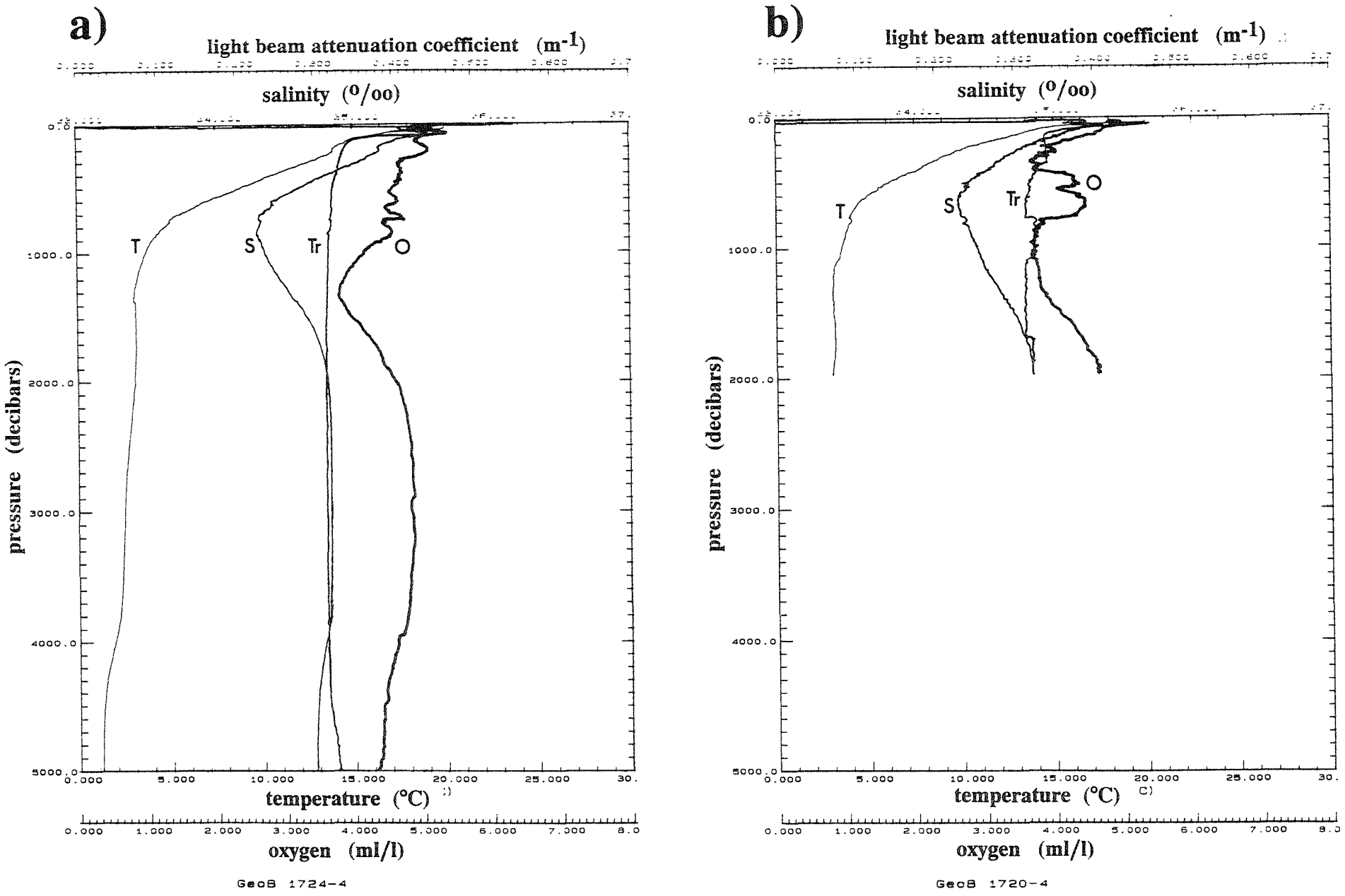
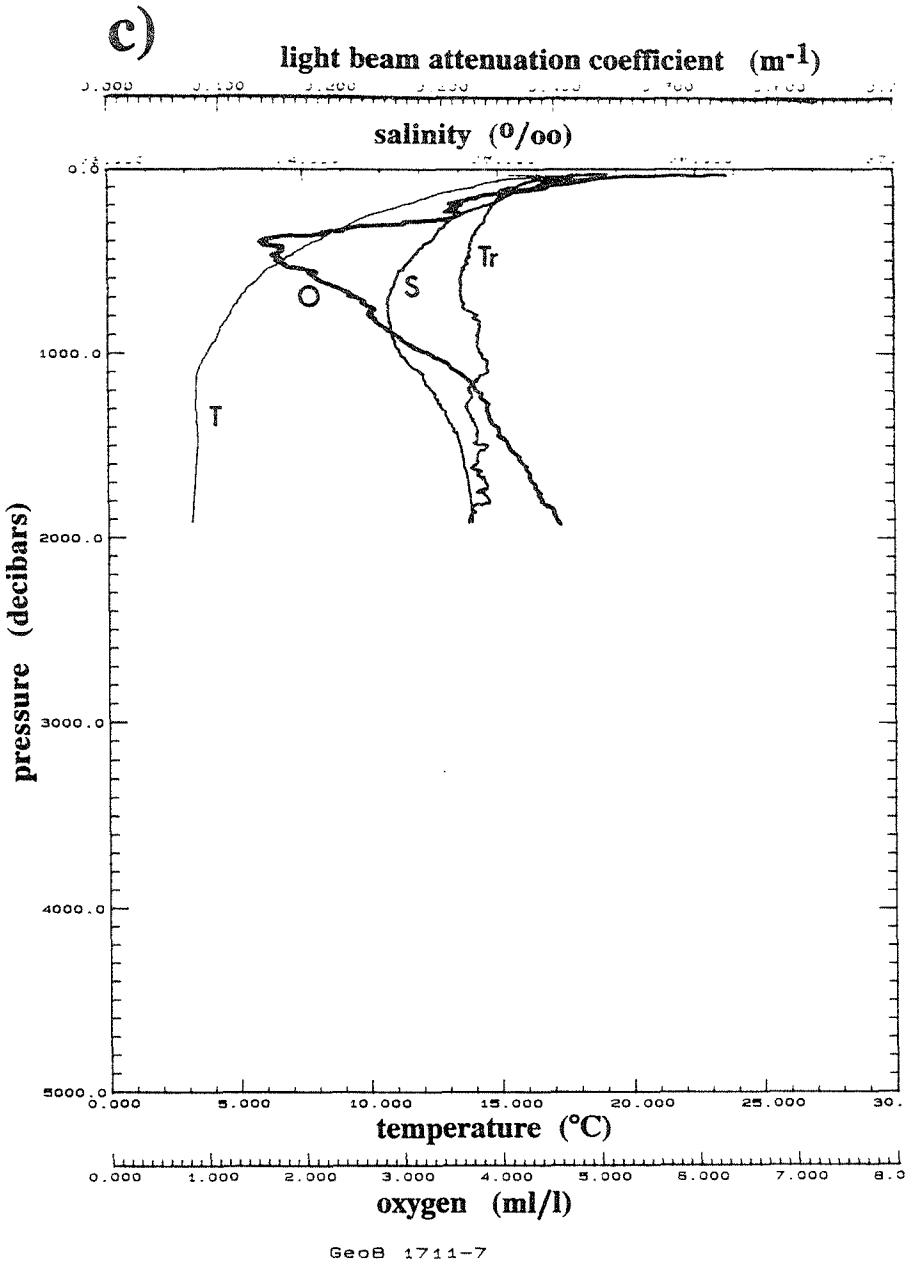


Abb. 69a-b: CTD-Profile für Temperatur (T), Salinität (S), Sauerstoffgehalt (O), und Trübung (Tr) auf den Stationen

a) GeoB 1724, zentrales Kap-Becken und b) GeoB 1720, Kontinentalhang Namibia, Profil C.



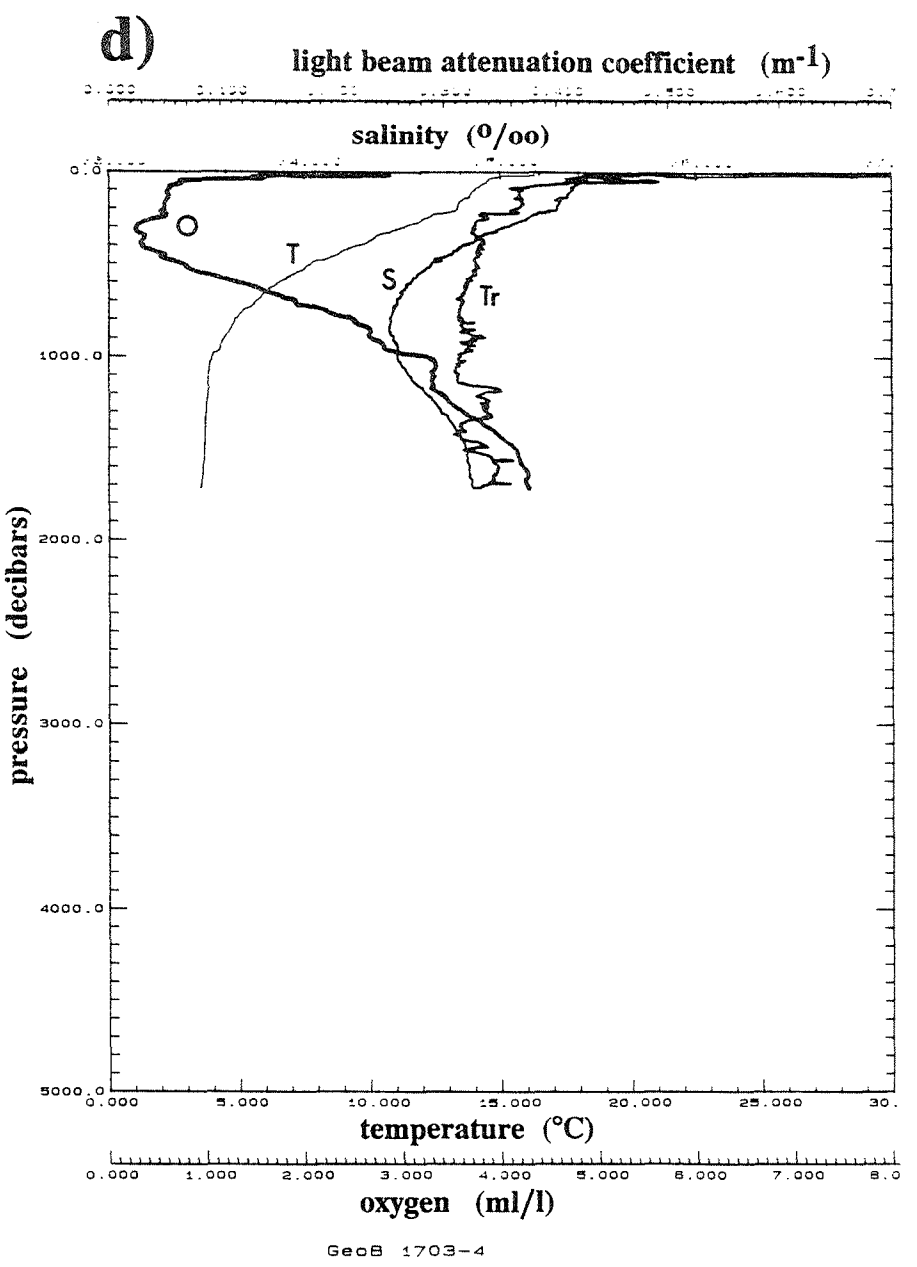
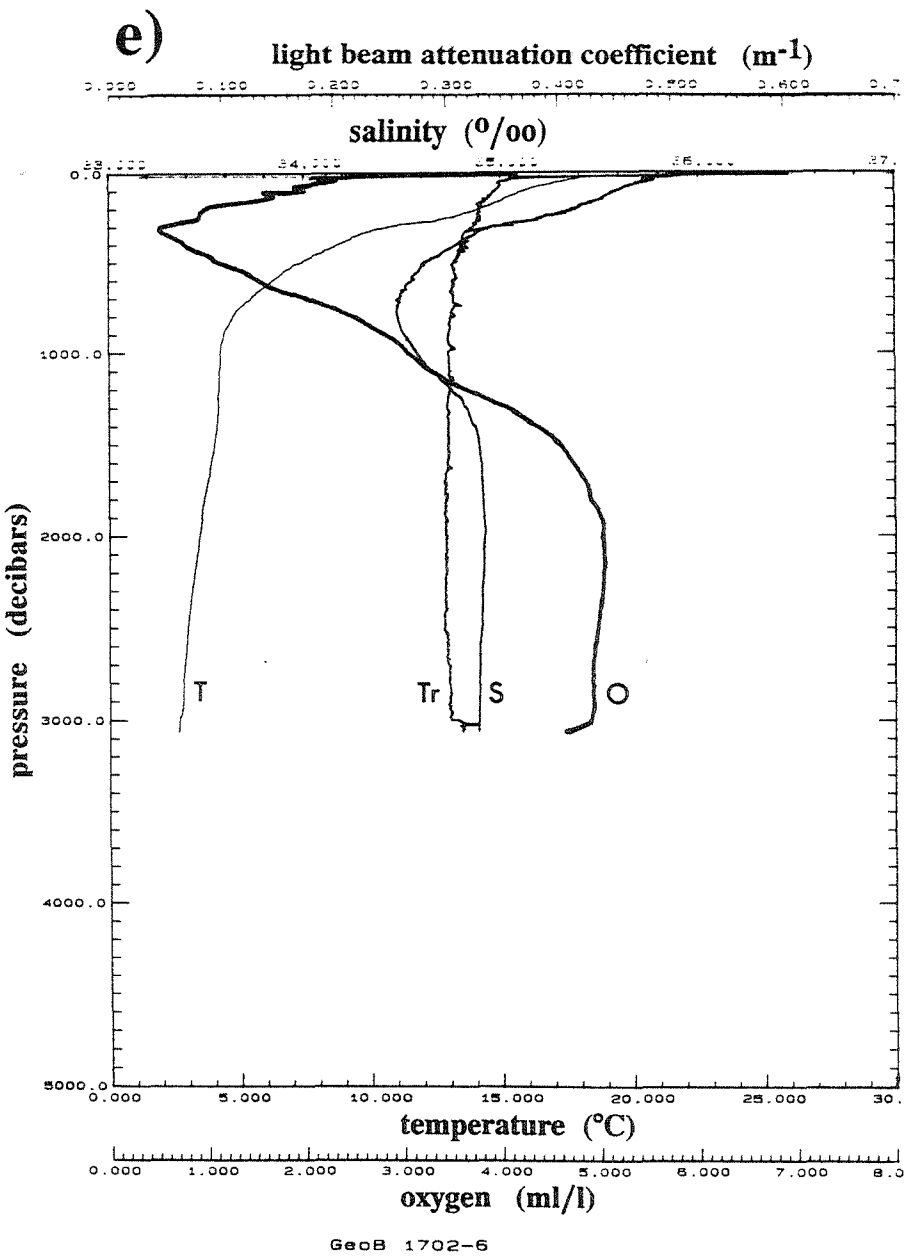


Abb. 69c-d: CTD-Profile für Temperatur (T), Salinität (S), Sauerstoffgehalt (O), und Trübung (Tr) auf den Stationen

c) GeoB 1711, Kontinentalhang Namibia, Profil B und d) GeoB 1703, Kunene-Mündung.



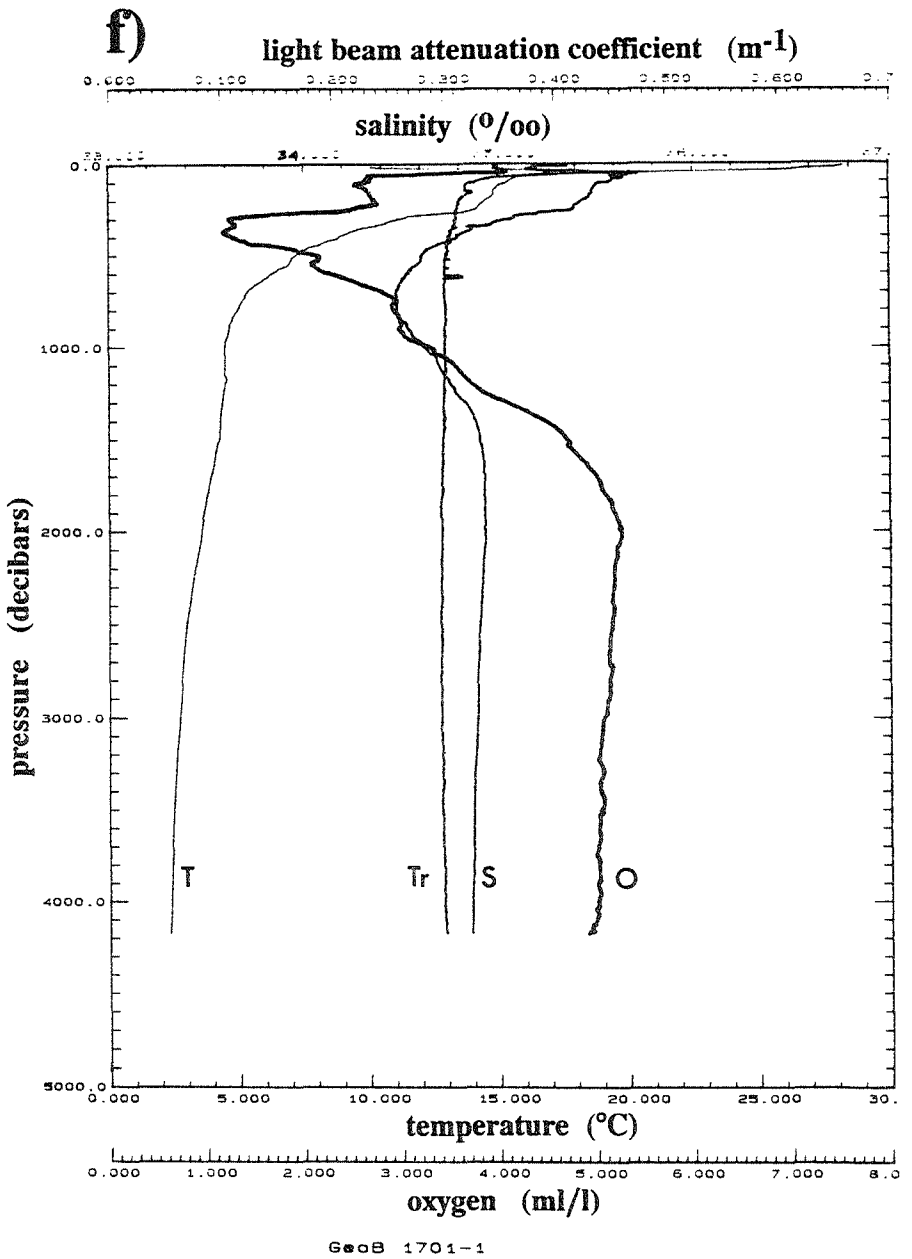


Abb. 69e-f: CTD-Profile für Temperatur (T), Salinität (S), Sauerstoffgehalt (O), und Trübung (Tr) auf den Stationen e) GeoB 1702, Kongo-Mündung und f) GeoB 1701, Niger-Mündung.

weise höher ist als vor Namibia. Andererseits kann auch die fortdauernde Unterquerung des Hochproduktionsgebiets von 28° bis etwa 17°S zur maximalen Ausdehnung der SMZ nördlich des Walfisch-Rückens führen. Zur Klärung dieser Frage müssen Bilanzierungen auch aus neuen saisonalen Daten zur Primärproduktion (Kap. 4.5) herangezogen werden.

4.5 Planktonprobennahme aus der Wassersäule

(B. Donner, M. Giese, R. Schneider, M. Scholz, M. Segl)

Das Plankton-Multinetz (Maschenweite 63 μm) wurde mit 25 Einsätzen auf allen großen Stationen (Einsatz von zwei SL, GKG, MC, PROFILUR, ELINOR) und auf den Verankerungspositionen gefahren (Tab. 1, Kap. 4.7). Eine Multinetz-Station bestand in der Regel aus drei Einsätzen:

1. Bis 1000 m Tiefe in Tiefenabschnitten 1000-500, 500-300, 300-100, 100-50 und 50-0 m für das Sammeln von planktonischen Foraminiferen. Wenn keine Rosette gefahren wurde, wurden bei diesem Einsatz 2 l-Wasserschöpfer eingesetzt, die bei 1000, 500, 300, 100 und 50 m auslösten und Wasser zur Bestimmung des $\delta^{13}C$-Wertes der obersten Wasserschichten sammelten.

2. Bis in 400 m Tiefe in Tiefenabschnitten 400-200, 200-100, 100-40, 40-20, 20-0 m für das Sammeln von Radiolarien und Tintinniden.

3. Bis zu einer Tiefe von 250 m in Tiefenabschnitten von 250-100, 100-75, 75-50, 50-25, 25-0 m zur Gewinnung von Proben für organische Geochemie und Isotopengeochemie.

Für die Bestimmung von Chlorophyll-a im Oberflächenwasser wurden dreimal täglich 1 bis 2 l Seewasser über Glasfaserfilter filtriert und bei -20°C eingefroren. Das Wasser hierfür wurde der Membranpumpe des Schiffes (ca. 3,5 m Wassertiefe, Bugeinlaß) entnommen. Die Stationsdaten sind in Tabelle 6 aufgelistet und als Probenpunkte in Abbildung 70 dargestellt. Von allen früheren Fahrten liegen bereits entsprechende Chlorophyll-a-Messungen vor. Sie sollen Informationen über die saisonalen und regionalen Unterschiede der Primärproduktion in dem Arbeitsgebiet Südatlantik liefern und den Abgleich mit den aus Satellitenaufnahmen ermittelten Chlorophyll-Daten ermöglichen.

Nr.	Datum	Zeit UTC	Breite N - S	Länge E - W	Wasser-tiefe (m)	Sal. °/oo	Temp. °C	Vol. (l)	Pumpentyp MP = Membranp. KP = Kreiselp.	Koordinaten Dezimal Breite/Länge
80	28.12.91	11:44	2°46,7'N	0°49,2'E	4735	34,66	28,1	2	MP	2,78/-0,82
81	28.12	17:52	2°34,5'N	0°45,5'E	4738	35,00	28,2	2	MP	2,58/0,26
82	29.12	07:52	2°05,6'N	0°48,0'E	4337	34,53	28,0	2	MP	2,09/0,80
84	29.12	12:11	1°56,9'N	3°32,9'E	4162	34,46	28,1	2	MP	1,95/3,55
85	30.12	11:17	1°40,5'N	3°40,1'E	4141	34,71	28,3	2	MP	1,68/3,67
86	30.12	17:01	0°39,6'N	4°05,1'E	4042	34,44	27,9	2	MP	0,66/4,09
87	31.12	08:09	1°50,9'S	5°10,4'E	3713	34,40	27,2	2	MP	-1,85/5,17
88	31.12	11:27	2°24,2'S	5°24,7'E	3916	34,90	27,0	2	MP	-2,40/5,41
89	31.12	16:45	3°10,6'S	5°44,7'E	4408	35,01	26,7	2	MP	-3,18/5,75
90	01.01.92	08:45	5°47,9'S	6°51,9'E	4480	32,50	26,9	2	MP	-5,80/6,87
91	01.01	11:41	6°15,0'S	7°03,5'E	4488	32,06	27,2	2	MP	-6,25/7,06
92	01.01	17:29	7°11,4'S	7°30,7'E	4391	35,64	26,4	2	MP	-7,19/7,51
93	02.01	08:23	6°24,7'S	9°54,7'E	3488	32,68	25,5	1,9	MP	-6,41/9,91
94	02.01	11:30	6°28,6'S	10°17,4'E	3233	33,76	25,5	1	MP	-6,48/10,29
95	02.01	17:22	6°07,9'S	10°46,8'E	1837	32,00	25,1	1	MP	-6,13/10,78
96	03.01	12:25	6°33,9'S	10°19,0'E	3095	33,28	26,0	1	MP	-6,57/10,32
97	04.01	08:08	7°51,6'S	9°27,4'E	4178	35,93	26,2	1	MP	-7,86/9,46
98	04.01	11:17	8°18,4'S	9°09,8'E	4340	36,20	26,8	2	MP	-8,31/9,16
99	04.01	17:14	9°17,9'S	9°10,1'E	4490	36,05	26,5	2	MP	-9,30/9,17
100	05.01	08:08	12°05,9'S	9°48,2'E	4095	36,22	24,9	2	MP	-12,10/9,80
101	05.11	11:16	12°34,3'S	9°46,6'E	4027	36,30	25,0	2	MP	-12,57/9,78
102	05.11	16:53	13°47,3'S	10°11,3'E	3882	36,25	24,0	2	MP	-13,79/10,19
103	06:01	07:55	16°40,3'S	10°51,1'E	2774	35,87	19,6	1	MP	-16,67/10,85
104	06.01	18:26	17°27,1'S	11°01,0'E	1766	35,43	18,2	1,5	MP	-17,45/11,02
105	07.01	08:10	17°53,9'S	11°18,0'E	770	35,23	16,6	1	MP	-17,90/11,30
106	07.01	11:30	18°28,0'S	11°38,4'E	187	35,15	17,0	1	MP	-18,47/11,64
107	07.01	16:54	19°21,2'S	11°39,7'E	310	35,20	19,7	1	MP	-19,35/11,66
108	08.01	07:14	19°41,0'S	10°39,0'E	1230	35,08	19,9	1	MP	-19,68/10,65
109	08:01	11:25	19°47,2'S	10°16,8'E	1388	35,26	20,8	1	MP	-19,79/10,28
110	08.01	17:13	20°00,6'S	10°23,0'E	2778	35,26	20,6	1	MP	-20,01/10,38
111	09.01	07:51	20°07,7'S	8°57,2'E	2276	35,02	20,5	1	MP	-20,13/8,95
112	09.01	11:32	20°15,9'S	9°02,5'E	2111	35,13	20,6	1	MP	-20,27/9,04
113	09.01	17:26	21°11,2'S	9°31,1'E	3809	35,01	20,4	1	KP	-21,19/9,52
114	10.01	07:57	23°04,3'S	10°29,8'E	3904	34,81	19,7	2	MP	-23,07/10,50
115	10.01	18:03	23°35,1'S	10°45,6'E	3833	34,92	20,2	1	MP	-23,59/10,76
116	11.01	09:01	23°25,9'S	11°42,0'E	2992	34,92	19,4	2	MP	-23,43/11,70
117	11.01	11:27	23°24,3'S	11°51,7'E	2792	35,10	19,7	2	MP	-23,41/11,86
118	11.01	17:36	23°19,0'S	12°22,6'E	1967	34,70	18,6	2	MP	-23,32/12,38
119	12.01	07:24	23°15,3'S	12°48,2'E	1005	34,80	18,7	2	MP	-23,26/12,80
120	12.01	11:57	23°14,4'S	12°52,6'E	843	34,80	18,7	2	MP	-23,2/12,88
121	12.01	17:34	23°13,3'S	13°01,1'E	592	34,70	18,2	2	MP	-23,2213,02
122	13.01	17:32	23°16,3'S	14°02,6'E	145	34,60	16,5	1	MP	-23,27/°4,04
123	14.01	08:00	25°29,1'S	12°22,8'E	3169	34,40	17,7	1	MP	-25,49/12,38
124	14.01	11:22	26°00,2'S	11°59,0'E	3805	34,90	18,5	1	MP	-26,00/11,98
125	14.01	17:24	26°28,0'S	11°38,2'E	4095	34,90	18,3	1	MP	-26,47/11,64

Tab. 6: Chlorophyll a-Probenliste.

Nr.	Datum	Zeit UTC	Breite N - S	Länge E - W	Wasser-tiefe (m)	Sal. °/oo	Temp. °C	Vol. (l)	Pumpentyp MP = Membranp. KP = Kreiselp.	Koordinaten Dezimal Breite/Länge
126	15.01	07:56	27°19,6'S	13°00,3'E	3024	35,10	19,8	1	MP	-27,33/13,01
127	15.01	11:25	27°40,8'S	13°34,4'E	2228	35,00	19,8	1	MP	-27,68/13,57
128	15.01	17:26	27°57,6'S	14°00,2'E	1479	34,20	19,2	1	MP	-27,96/14,00
129	16.01	08:01	28°48,9'S	14°40,8'E	169	34,20	17,8	1	MP	-28,82/14,68
130	16.01	11:33	28°56,8'S	14°10,4'E	1020	34,70	19,4	1	MP	-28,95/14,17
131	17.01	07:52	29°06,0'S	13°21,8'E	2688	34,10	19,6	1	MP	-29,10/13,36
132	17.01	13:19	29°10,5'S	13°05,3'E	3079	34,40	20,1	1	MP	-29,18/13,09
133	18.01	09:33	29°27,1'S	11°44,8'E	3971	34,30	19,9	1	MP	-29,45/11,75
134	18.01	20:15	29°32,8'S	11°14,6'E	4147	35,20	20,0	1	MP	-29,55/11,24
135	19.01	08:00	29°50,6'S	9°00,4'E	4965	35,46	20,0	1	MP	-29,84/9,01
136	19.01	11:28	29°53,3'S	8°39,9'E	4985	35,41	19,8	1	MP	-29,89/8,67
137	19.01	17:30	29°58,2'S	8°02,3'E	?	35,40	19,8	1	MP	-29,97/8,04
138	20.01	07:28	30°03,4'S	7°24,6'E	5156	35,60	19,9	1	MP	-30,06/7,41
139	20.01	11:34	30°10,1'S	6°33,7'E	5152	35,10	20,5	1	MP	-30,17/6,56
140	20.01	17:28	30°19,9'S	5°19,4'E	4641	35,00	20,4	1	MP	-30,33/5,32
141	21.01	17:55	29°64,0'S	2°43,5'E	1341	35,30	20,5	1	MP	-30,07/2,73
142	22.01	07:59	29°41,9'S	2°30,6'E	2904	354,40	20,9	2	MP	-29,70/2,51
143	22.01	11:23	29°40,7'S	2°07,4'E	1809	35,40	21,0	2	MP	-29,68/2,12
144	22.01	17:03	29°05,3'S	1°05,7'E	3938	35,30	21,2	2	MP	-29,09/1,10
145	23.01	07:58	28°35,4'S	0°51,8'E	4415	35,40	21,0	2	MP	-28,59/0,86
146	23.01	11:33	27°53,2'S	0°32,2'E	4158	35,48	21,2	1	MP	-27,89/0,54
147	23.01	17:26	26°44,2'S	0°00,4'E	5109	35,70	21,7	1	MP	-26,74/0,01
148	24.01	07:52	23°55,6'S	1°16,0'W	5360	36,00	21,3	1	MP	-23,93/-1,27
149	24.01	11:27	23°13,3'S	1°34,9'W	4474	36,00	21,5	2	MP	-23,22/-1,58
150	24.01	17:23	22°02,6'S	2°06,3'W	?	35,90	21,7	2	MP	-22,04/-2,11
151	25.01	07:49	19°15,7'S	3°19,2'W	4852	36,10	22,0	2	MP	-19,26/-3,32
152	25.01	11:35	18°33,4'S	3°37,5'W	4992	36,10	22,3	2	MP	-18,56/-3,63
153	25.01	17:20	17°26,6'S	4°06,3'W	4162	36,20	22,6	2	MP	-17,44/-4,10
154	26.01	08:41	14°33,9'S	5°19,9'W	?	36,20	23,0	2	MP	-14,57/-5,33
155	26.01	11:54	13°55,6'S	5°36,0'W	4301	36,30	23,2	2	MP	-13,93/-5,60
156	26.01	18:05	12°47,5'S	6°05,1'W	1395	36,20	23,9	2	MP	-12,79/-6,09
157	27.01	07:44	10°14,3'S	7°21,0'W	4495	36,90	24,7	2	MP	-10,24/-7,35
158	27.01	11:30	9°32,7'S	7°41,2'W	3871	36,00	24,9	2	MP	-9,55/-7,69
159	27.01	17:27	8°24,8'S	9°13,4'W	3739	35,90	25,3	2	MP	-8,41/-9,22
160	28.01	08:05	5°40,8'S	9°26,9'W	3406	35,81	25,7	2	MP	-5,68/-9,45
161	28.01	11:30	5°03,0'S	9°43,3'W	3609	35,61	26,1	2	MP	-5,05/-9,72
162	28.01	17:32	3°55,2'S	10°10,1'W	3749	35,56	26,4	2	MP	-3,92/-10,17
163	29.01	07:54	1°04,0'S	10°35,9'W	4122	35,67	25,8	2	MP	-1,07/-10,60
164	29.01	11:33	0°19,0'S	10°42,7'W	4372	35,50	26,1	2	MP	-0,32/-10,71
165	29.01	17:32	0°52,4'N	10°54,7'W	4149	34,90	27,8	2	MP	0,87/-10,91
166	30.01	08:46	3°09,1'N	11°46,7'W	4462	35,00	27,8	2	KP	3,15/-11,78
167	30.01	18:22	4°27,3'N	13°14,4'W	4612	34,70	28,2	2	KP	4,46/-13,24
168	31.01	08:11	6°07,5'N	15°07,0'W	4861	34,68	28,1	2	KP	6,13/-15,12

Tab. 6, Fortsetzung: Chlorophyll a-Probenliste.

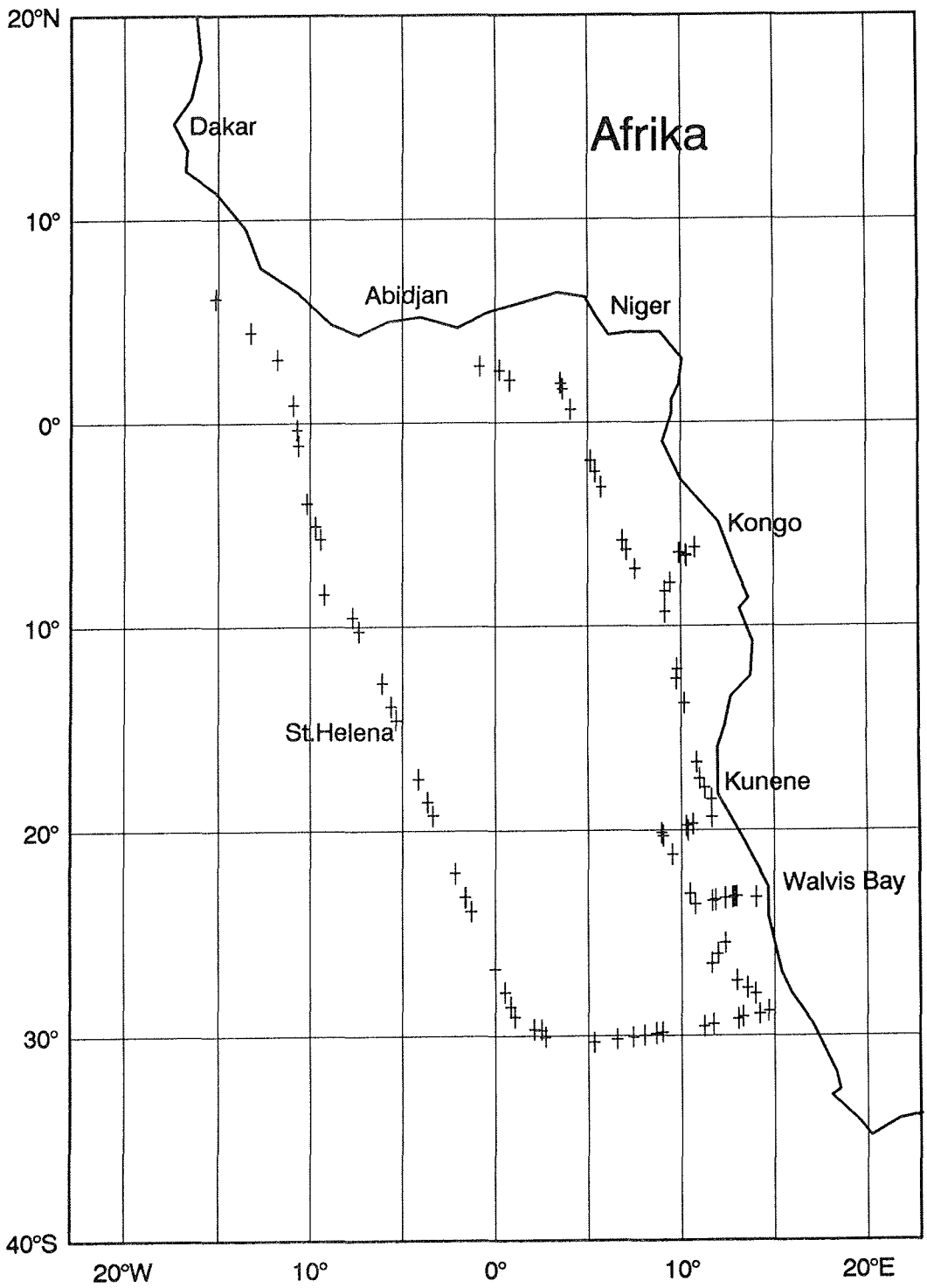


Abb. 70: Entnahmepositionen der Chlorophyll-Pumpenproben.

4.6 Verankerungen

(K. Dehning, R. Schneider, M. Segl)

Im küstennahen Auftriebsgebiet vor Namibia (Profil C) wurden zwei Verankerungen, NU 1 und NU 2 ausgebracht. Eine Verankerung (WR 4) wurde am Walfischrücken geborgen. Die Verankerungen sind mit Sedimentfallen zur Messung des Partikelflusses und Strömungsmessern versehen. Die Abbildungen 71 und 72 zeigen eine schematische Darstellung der Verankerungen NU 1 und NU 2.

Die Verankerung WR 4, die am 19.4.91 von POLARSTERN ausgelegt wurde, konnte am 9.1.91 vollständig geborgen werden. Beide Fallen haben gearbeitet. Die Proben wurden an Bord nachkonserviert und gekühlt gelagert. Der Partikelfluß in die untere Falle, die in ca. 1700 m WT verankert war, ist höher als der Partikelfluß in die Falle in 700 m WT. Diese ungewöhnliche Verteilung kann evtl. durch starke Strömungen erklärt werden, die Partikel aus benachbarten Gebieten in die untere Falle eingetragen haben. Diese Vermutung muß jedoch durch genaue Analyse des Inhalts der Falle bestätigt werden. In beiden Fallen finden wir erhöhten Partikelfluß im frühen Winter und im Frühjahr (Südhalbkugel), wie auch schon in früheren Verankerungen an dieser Position.

4.7 Wasserproben zur Messung stabiler Isotope

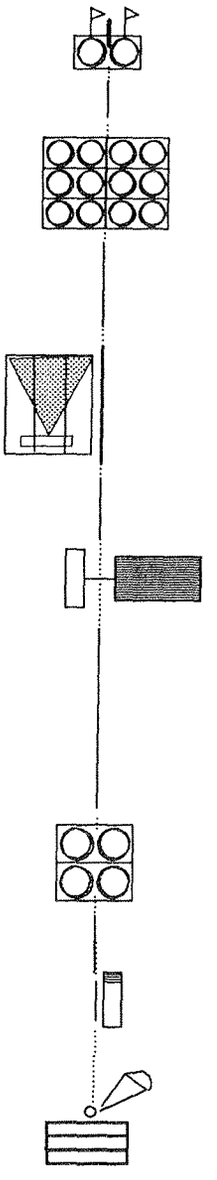
(M. Segl)

An insgesamt sieben Stationen (Tab. 1) wurden Wasserproben aus verschiedenen Tiefen mit Hilfe eines Kranzwasserschöpfers entnommen. An zwei weiteren Stationen waren 5 Wasserschöpfer am Multinetz angebracht, die jeweils beim Netzwechsel schließen.

Es wurden Wasserproben für $\delta^{13}C$ und $\delta^{18}O$-Bestimmungen sowie für Nährstoffbestimmungen entnommen. Die Proben zur $\delta^{13}C$-Bestimmung wurden blasenfrei im 250 ml Glasflaschen abgefüllt, mit 0,5 ml $HgCl_2$ vergiftet und mit Wachs luftdicht verschlossen, damit kein CO_2 entweichen kann. Die Proben zur $\delta^{18}O$-Bestimmung wurden ebenso behandelt, jedoch nicht vergiftet.

Die Nährstoffe wurden z.T. direkt an Bord von der Geochemie-Gruppe gemessen, teilweise wurden die Proben eingefroren. Zwei Nährstoffprofile (Phosphat und Nitrat) von der Station an der Kongo-Mündung, sowie der Station an der Kuene-Mündung sind in den Abbildungen 73 und 74 dargestellt.

An beiden Stationen finden wir ein Nährstoff-Maximum in ca. 500 m Wassertiefe. An Station 1703 ist der Phosphat-Gehalt zwischen 50 und 200 m Wassertiefe konstant, die CTD Daten zeigen, daß es sich hier um eine einheitliche Wassermasse handelt, auch Temperatur und Salinität ändern sich



Topboje

20 m Meteorleine

12 Kugeln mit 10 m Kette

50 m Meteorleine

SMT 234
Elektronik Nr. 91 000 7
Falle Nr. 91 000 5

20 m Meteorleine

RCM 8 Nr. 10 314

500 m Meteorleine

4 Kugeln mit 3 m Kette

20 m Meteorleine

Oceano Nr. 30

10 m Kette

3 Eisenbahnräder

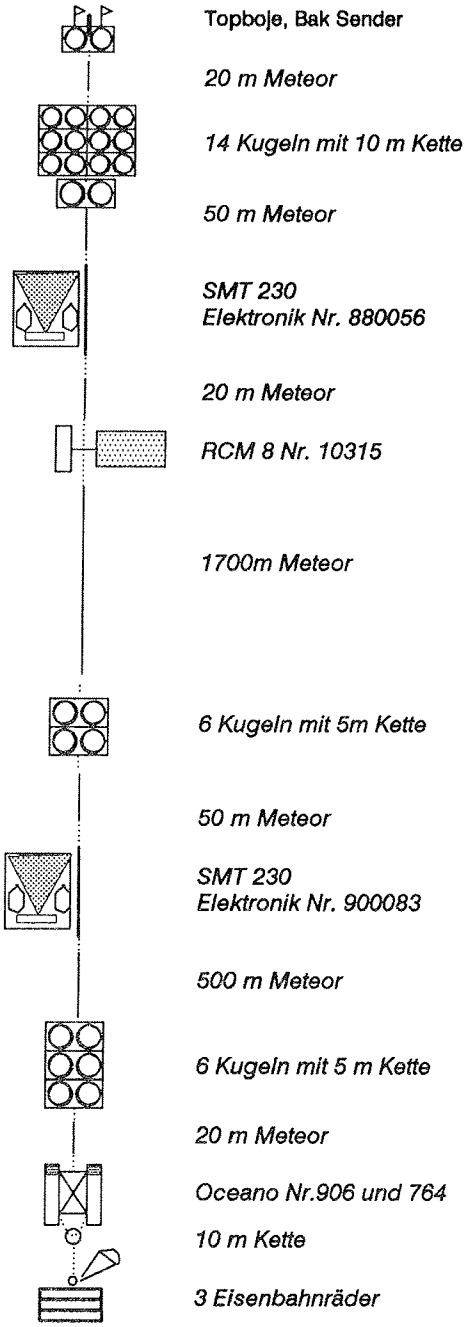
Verankerung: NU1

Expedition: M20/2
Seegebiet: Namibia Upwelling
Wassertiefe: 1079m
Auslegedatum:16.1.1992

Position

28°54,0S
14°09,5E

Abb. 71: Schematische Darstellung der Verankerung NU 1.



Verankerung: NU2
Expedition: M20/2
Seegebiet: Namibia Upwelling
Wassertiefe: 3055m
Auslegedatum: 17.1.92

Position
29°12,0S
13 07,0E

Abb. 72: Schematische Darstellung der Verankerung NU 2.

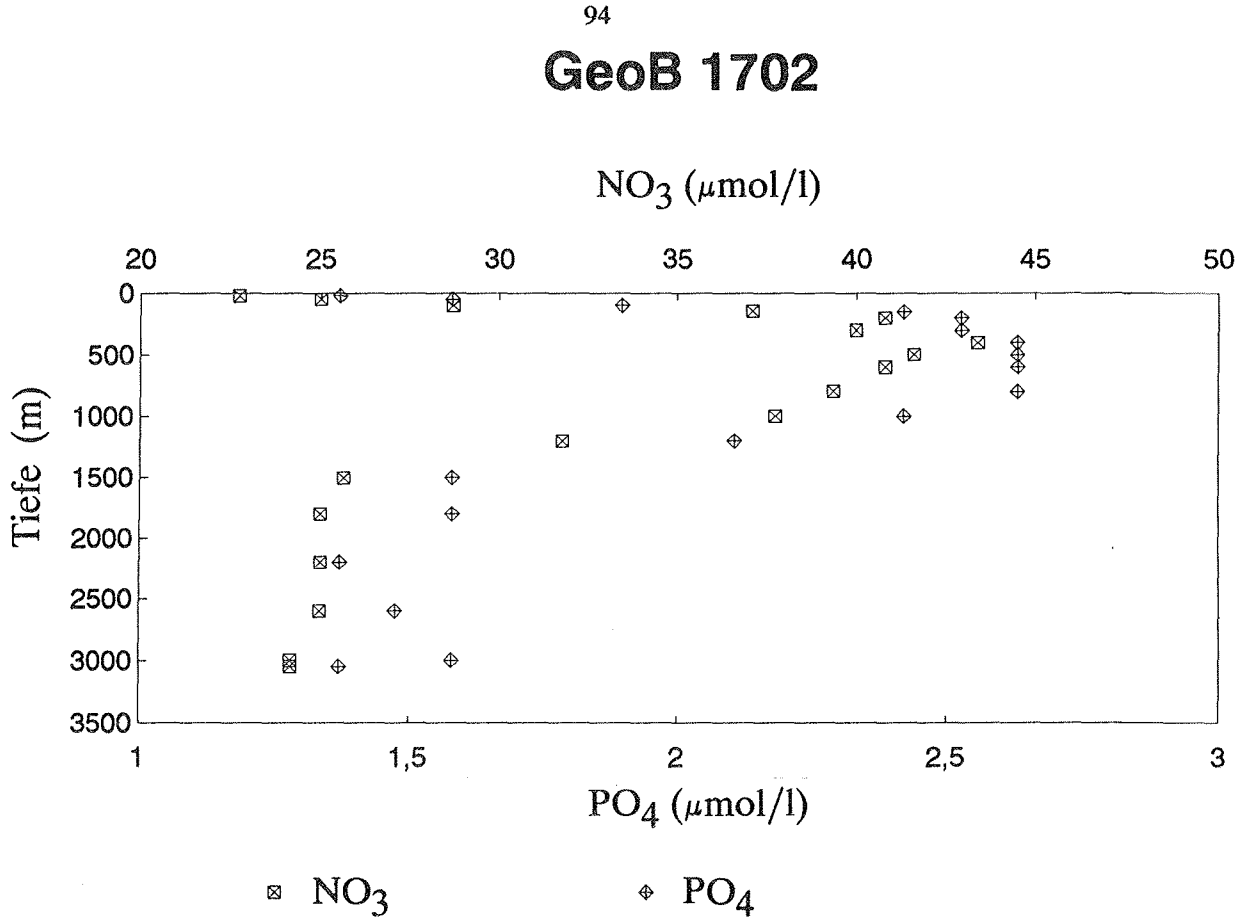


Abb. 73: Phosphat- und Nitratgehalt der Wassersäule an der Station GeoB 1702 (Kongo-Mündung).

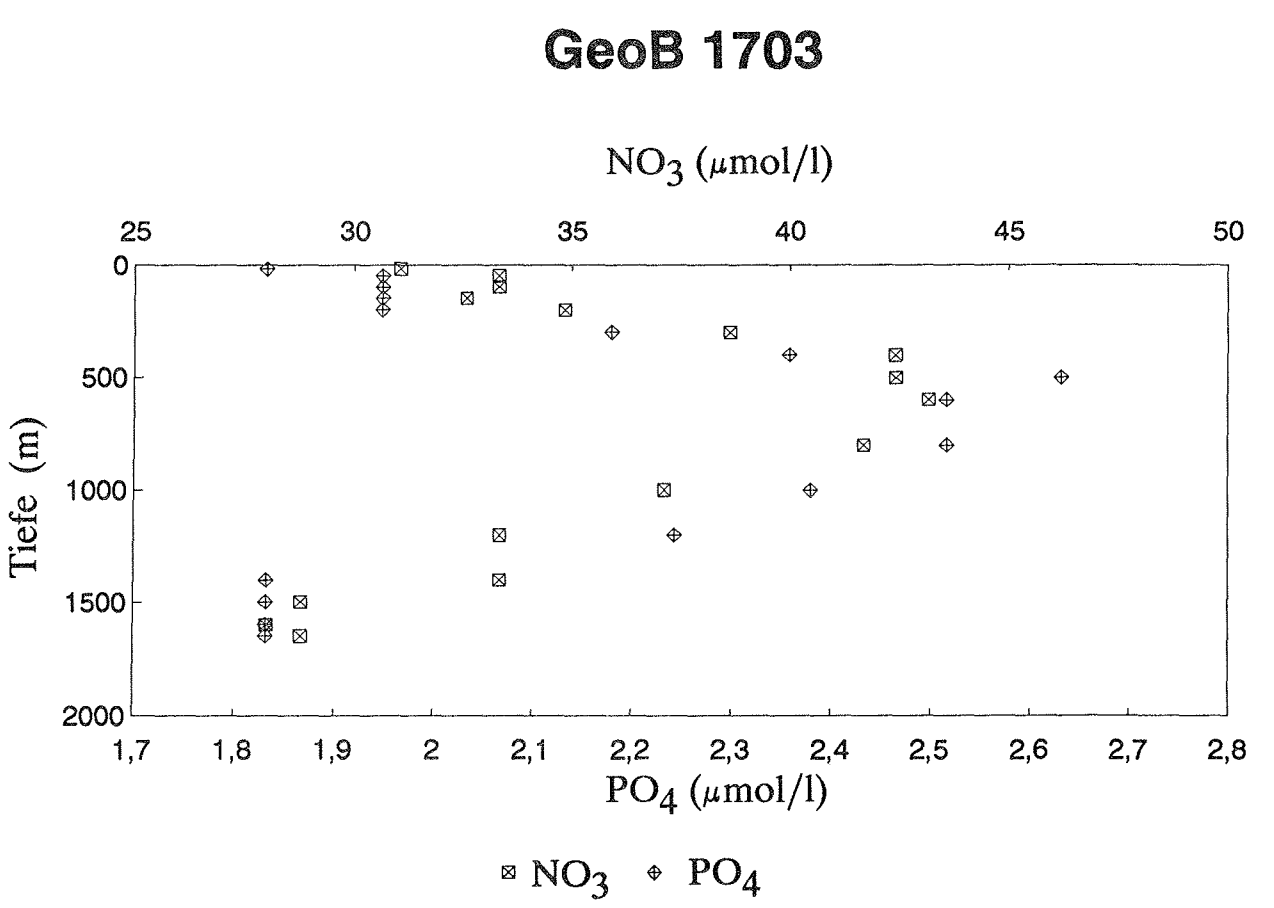


Abb. 74: Phosphat- und Nitratgehalt der Wassersäule an der Station GeoB 1703 (Kunene-Mündung).

nicht. Anhand der $\delta^{13}C$- und der Nährstoff-Messungen soll überprüft werden, inwieweit die anhand der GEOSECS Daten gefundene Korrelation zwischen Phosphatgehalt und $\delta^{13}C$-Gehalt des gelösten CO_2 auch für Auftriebsgebiete Gültigkeit hat.

4.8 Sedimentphysik

(M. Breitzke, L. Brück, M. Richter)

Während des Fahrtabschnittes M 20/2 wurden an Bord folgende sedimentphysikalischen Arbeiten am gewonnenen Kernmaterial durchgeführt:

- Messungen der Kompressionswellengeschwindigkeit,
- Messungen der magnetischen Suszeptibilität,
- Messungen der elektrischen Leitfähigkeit,
- Beprobungen für paläo- und gesteinsmagnetische Analysen.

4.8.1 Meßmethoden

Kompressionswellengeschwindigkeit

Die Messungen der Kompressionswellengeschwindigkeit wurden im wesentlichen mit dem gleichen apparativen Aufbau wie im Vorjahr durchgeführt. Für eine ausführliche Beschreibung der Meßanordnung wird auf den Bericht zur METEOR Fahrt M 16/2 (SCHULZ et al. 1991) verwiesen. Modifizierungen wurden nur in zwei Punkten vorgenommen. Zum einen ist ein neuer Meßwagen für die Rollentransducer gebaut und damit die Möglichkeit zur Durchschallung von Halbschalen geschaffen worden, zum anderen wurden zwei zusätzliche Optionen ins Meß- und Steuerprogramm eingefügt. Hierbei handelt es sich um eine zweite Methode zur automatischen Ersteinsatzbestimmung und um einen Algorithmus, der die Korrektur aller gemessenen Geschwindigkeitswerte auf eine einheitliche Labortemperatur von 20°C ermöglicht.

Im Vergleich zu der bisher angewandten Methode der Ersteinsatzbestimmung über einen prozentualen Schwellwert der Amplitudeneinhüllenden, können mit dem neuen Verfahren die Ersteinsätze wesentlich genauer definiert werden. Dazu wird vor der Messung jedes Kerns die Totzeit, die interne Laufzeitverzögerung des Signals in den Transducern, durch eine direkte Kopplung der Rollentransducer bestimmt. Die Auswertung der Ersteinsätze erfolgt über die Kreuzkorrelation eines kurzen Wavelets des Totzeitseismogramms (ein bis zwei Perioden) mit den an den Kernen gemessenen Transmissionsseismogrammen. Der Zeitpunkt des Ersteinsatzes kann dann dem ersten signi-

fikanten Maximum des Kreuzkorrelogramms zugeordnet werden, das aus der ersten maximalen Kohärenz beider Signale resultiert. Numerisch wird dieses Maximum durch Detektion des ersten positiven Extremwertes nach Überschreiten eines festgelegten Amplitudenschwellwertes ermittelt. Bei einer Waveletlänge des Totzeitsignals von 5 bis 10 µs erwiesen sich Schwellwerte von 10 - 20% der Maximalamplitude des Kreuzkorrelogramms als geeignet für eine sichere Extremwertbestimmung. Da das Kreuzkorrelogramm nur von der Phasendifferenz zwischen dem Transmissionsseismogramm und dem Wavelet des Totzeitsignals abhängt, ist es von der Totzeit selbst unabhängig, so daß die gemessene Laufzeit nur noch um den Betrag korrigiert werden muß, den das Signal für den Weg durch den Liner benötigt. Die Kompressionswellengeschwindigkeit v_p läßt sich demnach aus der Laufzeit t mit folgender Gleichung berechnen:

$$v_p = (d - d_l) / (t - t_l)$$

wobei d den äußeren Durchmesser des Liners, d_l die doppelte Liner-Wandstärke und t_l die doppelte Laufzeit durch die Linerwand bezeichnet.

Die Kompressionswellengeschwindigkeit hängt von der Temperatur des Kernmaterials ab. Zwar werden die Kerne erst bearbeitet, wenn sie Labortemperatur angenommen haben, diese kann jedoch abhängig von den äußeren Bedingungen zwischen etwa 20° und 30°C schwanken. Um die Kompressionswellengeschwindigkeitslogs unterschiedlicher Kerne vergleichen zu können, ist es daher notwendig, alle Meßwerte auf eine gleiche Temperatur umzurechnen. Für die Temperaturkorrektur auf 20°C wurde eine Näherungsformel nach SCHULTHEISS und McPHAIL (1989) verwendet:

$$v_{20} = v_T + 3(20 - T)$$

Dabei ist v_{20} die p-Wellengeschwindigkeit bei einer Temperatur von 20°C, T die Temperatur des Kernmaterials bei der Messung und v_T die p-Wellengeschwindigkeit bei der Temperatur T.

Magnetische Suszeptibilität

Wie bereits während verschiedener METEOR Fahrtabschnitte der vergangenen Jahre wurde die magnetische Suszeptibilität des Kernmaterials mit einer Bartington Suszeptibilitätsbrücke, Typ MS2.C, in Verbindung mit einer Ganzkernsonde gemessen. Da im Untersuchungsgebiet die Suszeptibilitätswerte in der Regel sehr niedrig lagen, mußten mit Ausnahme des Kerns GeoB 1724-1 alle Messungen mit der Empfindlichkeit $0{,}1 \cdot 10^{-6}$ SI-Einheiten durchgeführt werden.

Dichte und Porosität

Zwischen der elektrischen Leitfähigkeit und der Porosität und Dichte von Sedimenten besteht ein enger funktionaler Zusammenhang. Leitfähigkeitsmessungen stellen daher ein geeignetes Verfahren zur schnellen und hochauflösenden Porosität- und Dichtebestimmung dar. Dazu wurde der bereits auf vergangenen Fahrten bewährte Meßaufbau beibehalten (Fahrtbericht M 16/1; WEFER et al. 1991). Anders als bei früheren Messungen ist die Temperatur der Sedimente jedoch an jedem Meßpunkt mit erfaßt worden. Dies ermöglicht eine genauere Bestimmung der temperaturabhängigen Widerstandswerte und verbessert somit auch die Qualität der Dichte- und Porositätsdaten. Zur Berechnung der Dichte- und Porosität aus den gemessenen Leitfähigkeitswerten wurde ein leicht modifizierter Formalismus verwendet.

Die Berechnung der Porosität erfolgte über eine empirischen Gleichung nach BOYCE (1968):

$$F = R_s/R_w = 1{,}30\,\phi^{-1{,}45}$$

wobei F der Formationsfaktor, R_s der Widerstand des Sedimentes, R_w der Widerstand der Porenflüssigkeit und ϕ die Porosität ist.

Zur Berechnung der Dichtewerte wurde die von BOYCE (1976) für die Beziehung zwischen Dichte und Porosität angegebene Gleichung

$$p = (\phi \cdot p_f) + (1 - \phi)p_w$$

verwendet. Dabei ist p die Dichte des Sedimentes, p_f die Dichte der Sedimentmatrix (Korndichte) und p_w die Dichte der Porenflüssigkeit.

Für die Korndichte wurde ein konstanter Wert von 2670 kg/m^3 angenommen, die Dichte des Porenwassers für die jeweils mit dem Meßwert bestimmte Temperatur nach SIEDLER und PETERS (1986) berechnet.

4.8.2 Meßergebnisse

Die drei sedimentphysikalischen Parameter Kompressionswellengeschwindigkeit, magnetische Suszeptibilität und Dichte wurden an insgesamt 23 Schwerelotkernen bestimmt. Eine Auswahl der Meßergebnisse ist in den Abbildungen 75 bis 87 dargestellt. Dabei blieben grundsätzlich solche Daten unberücksichtigt, die aufgrund meßtechnischer Probleme - wie beispielsweise nur ungenau zu

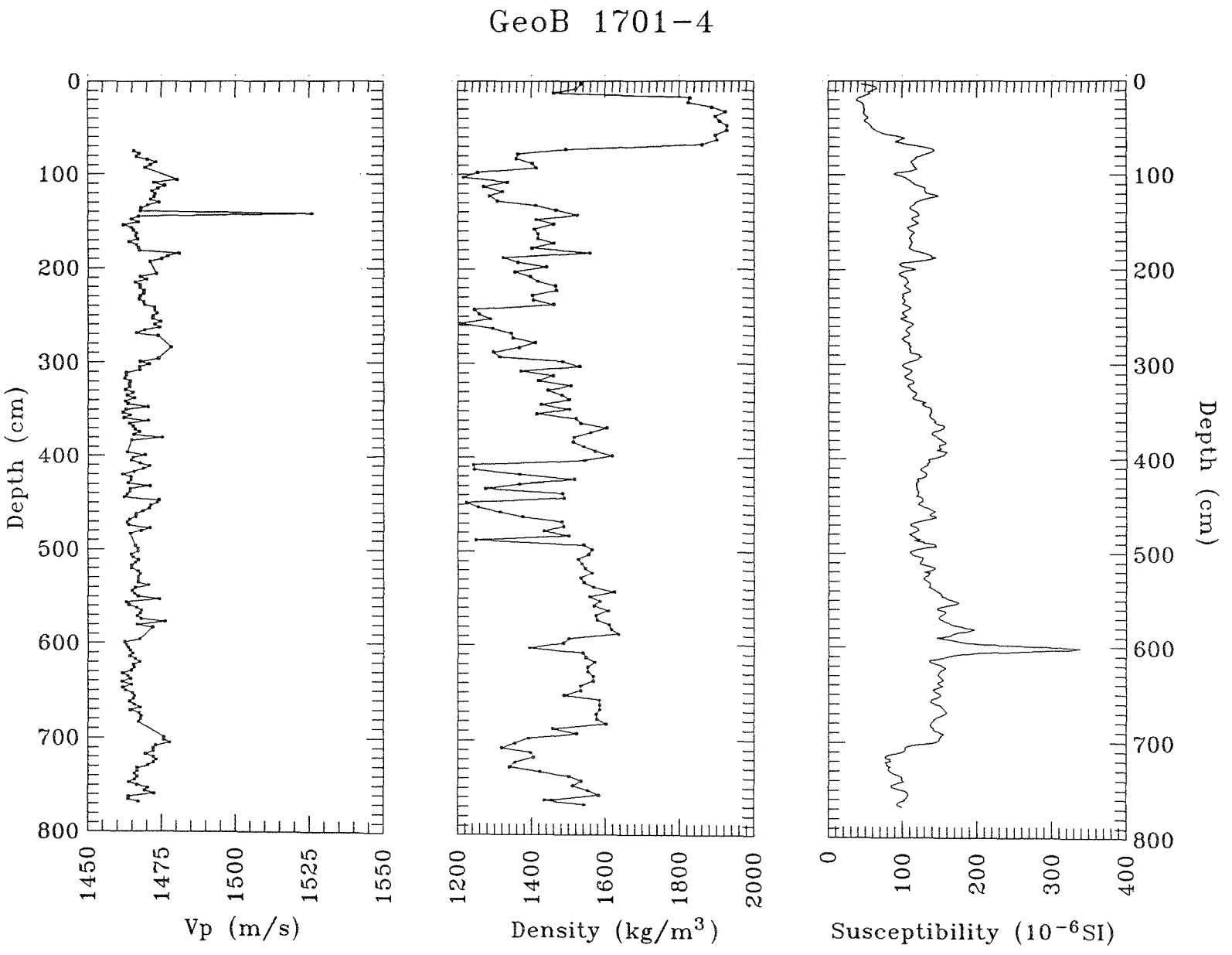


Abb. 75: Sedimentphysikalische Parameter des Schwerelotkerns GeoB 1701-4.

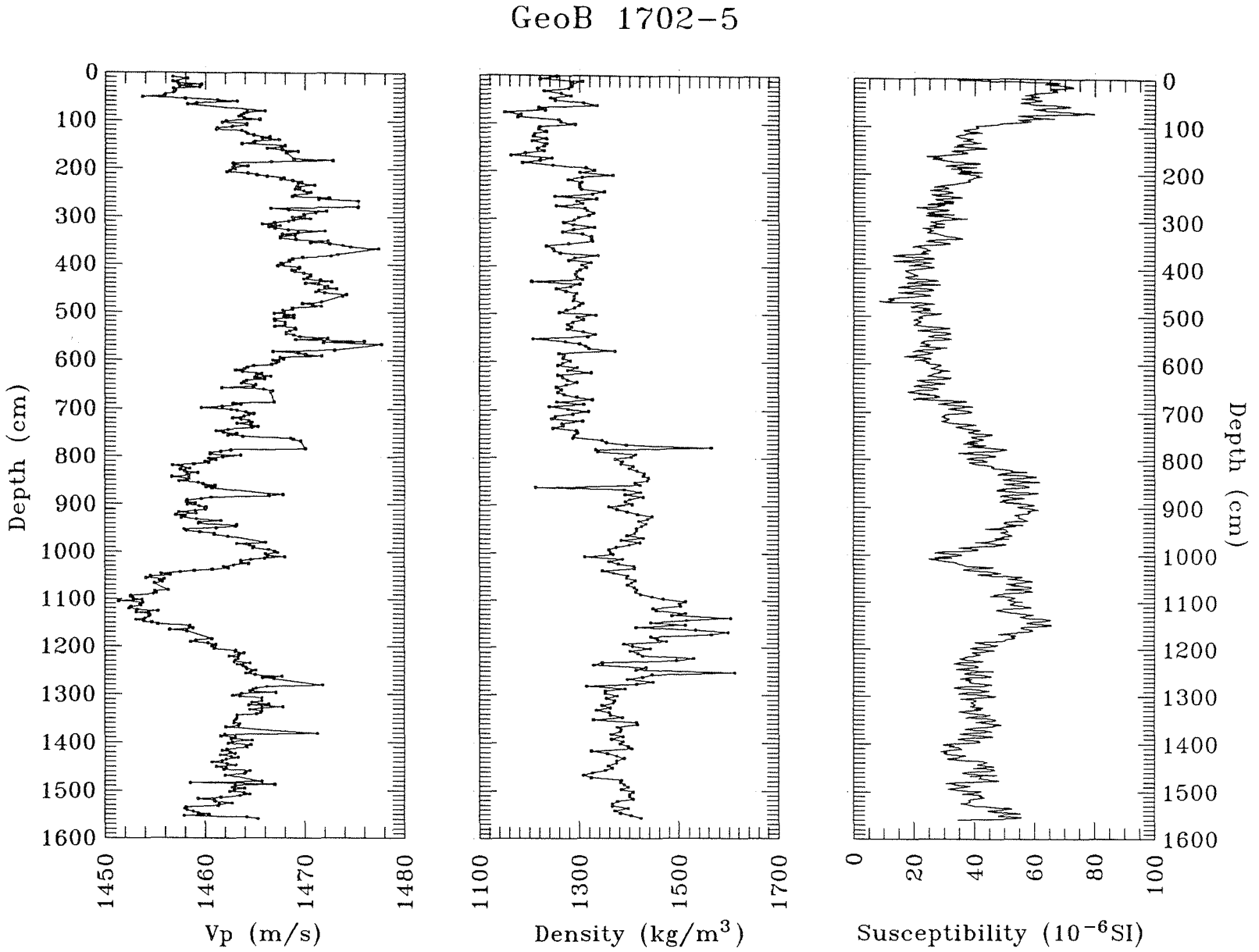


Abb. 76: Sedimentphysikalische Parameter des Schwerelotkerns GeoB 1702-5.

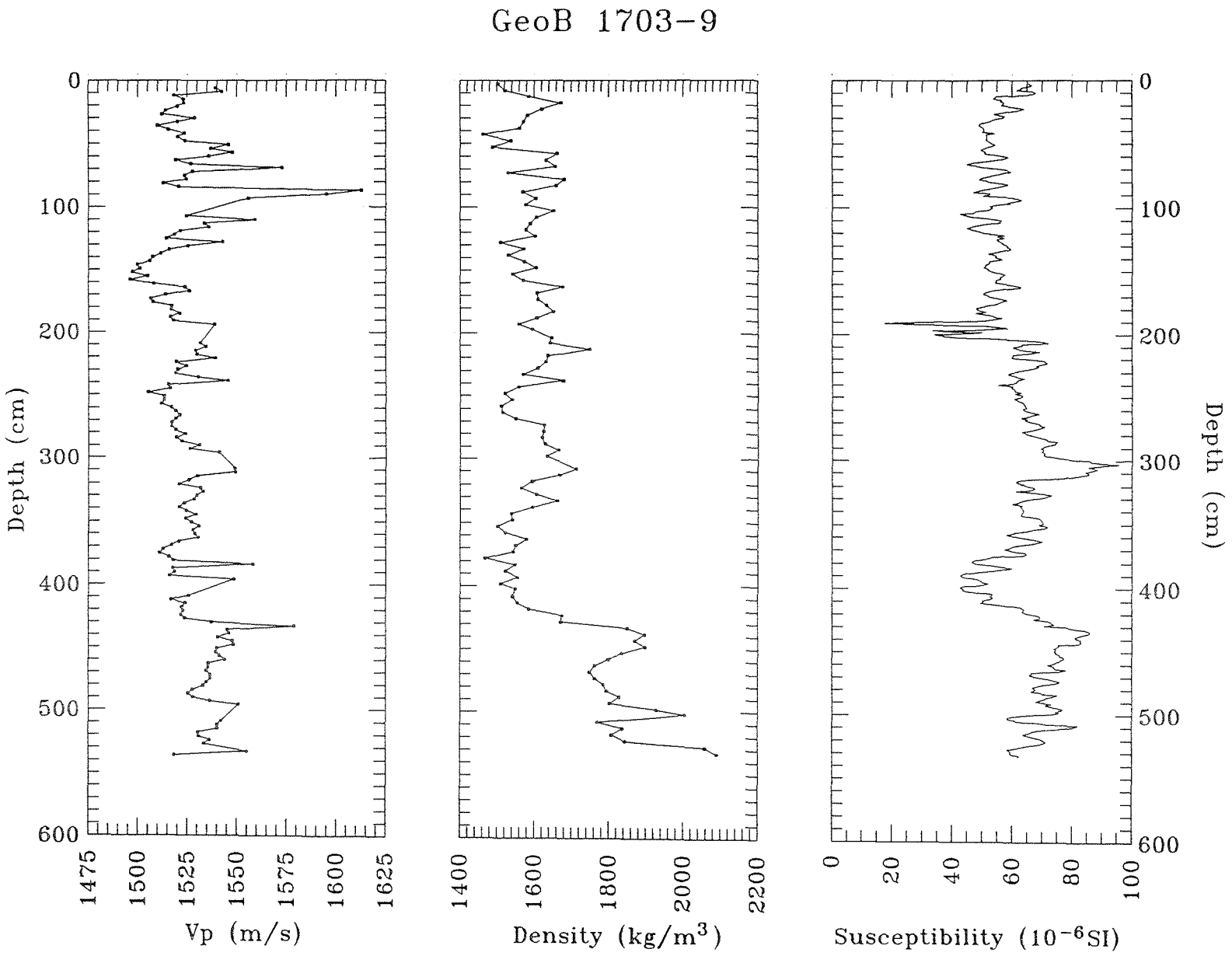


Abb. 77: Sedimentphysikalische Parameter des Schwerelotkerns GeoB 1703-9.

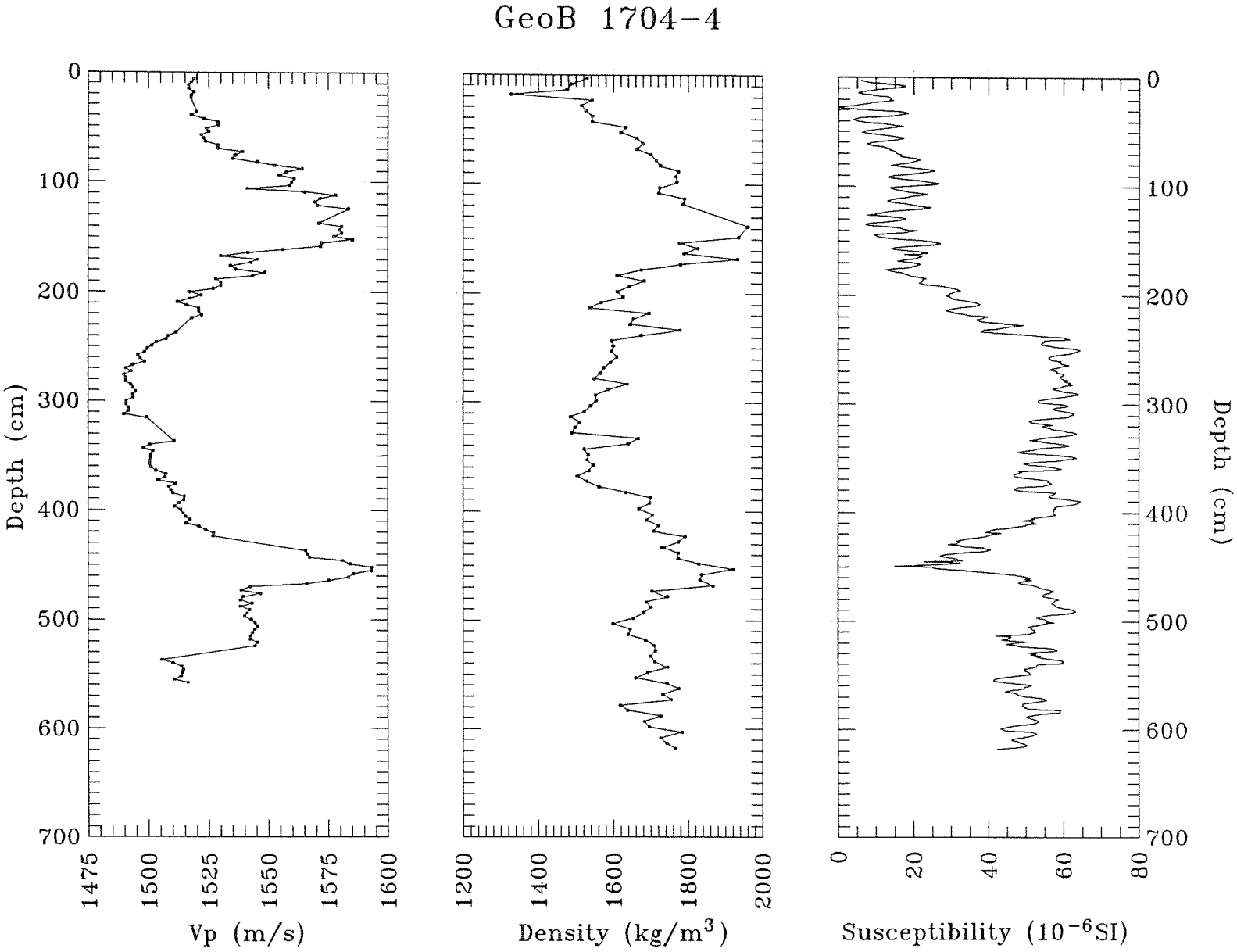


Abb. 78: Sedimentphysikalische Parameter des Schwerelotkerns GeoB 1704-4.

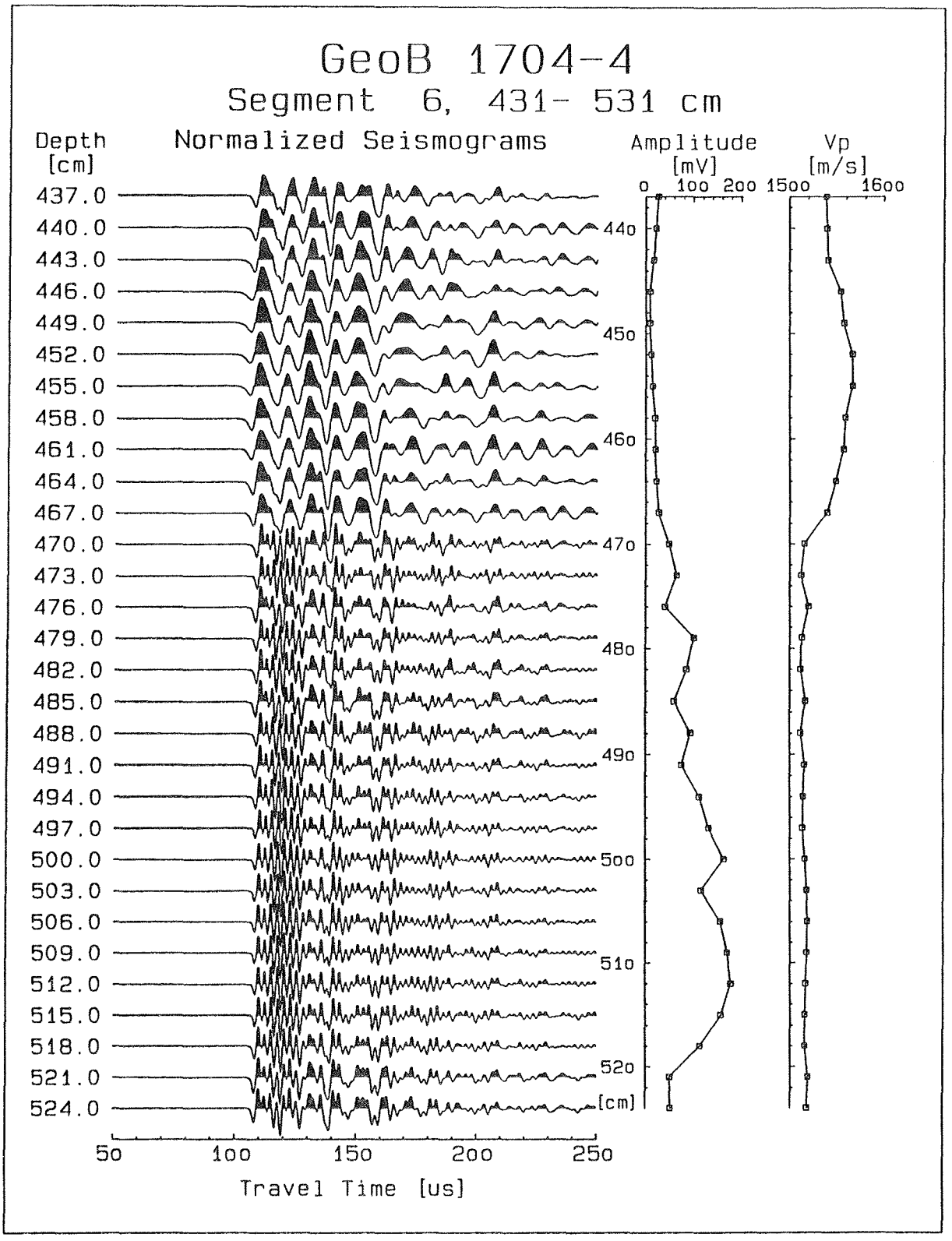


Abb. 79: Transmissionsseismogramme für das Segment 6 des Schwerelotkerns GeoB 1704-4. Die Seismogramme sind einzeln auf ihren jeweiligen Maximalwert normiert. Die Maximalamplituden und die aus den Ersteinsätzen ausgewerteten p-Wellengeschwindigkeiten sind rechts als Funktion der Kerntiefe dargestellt.

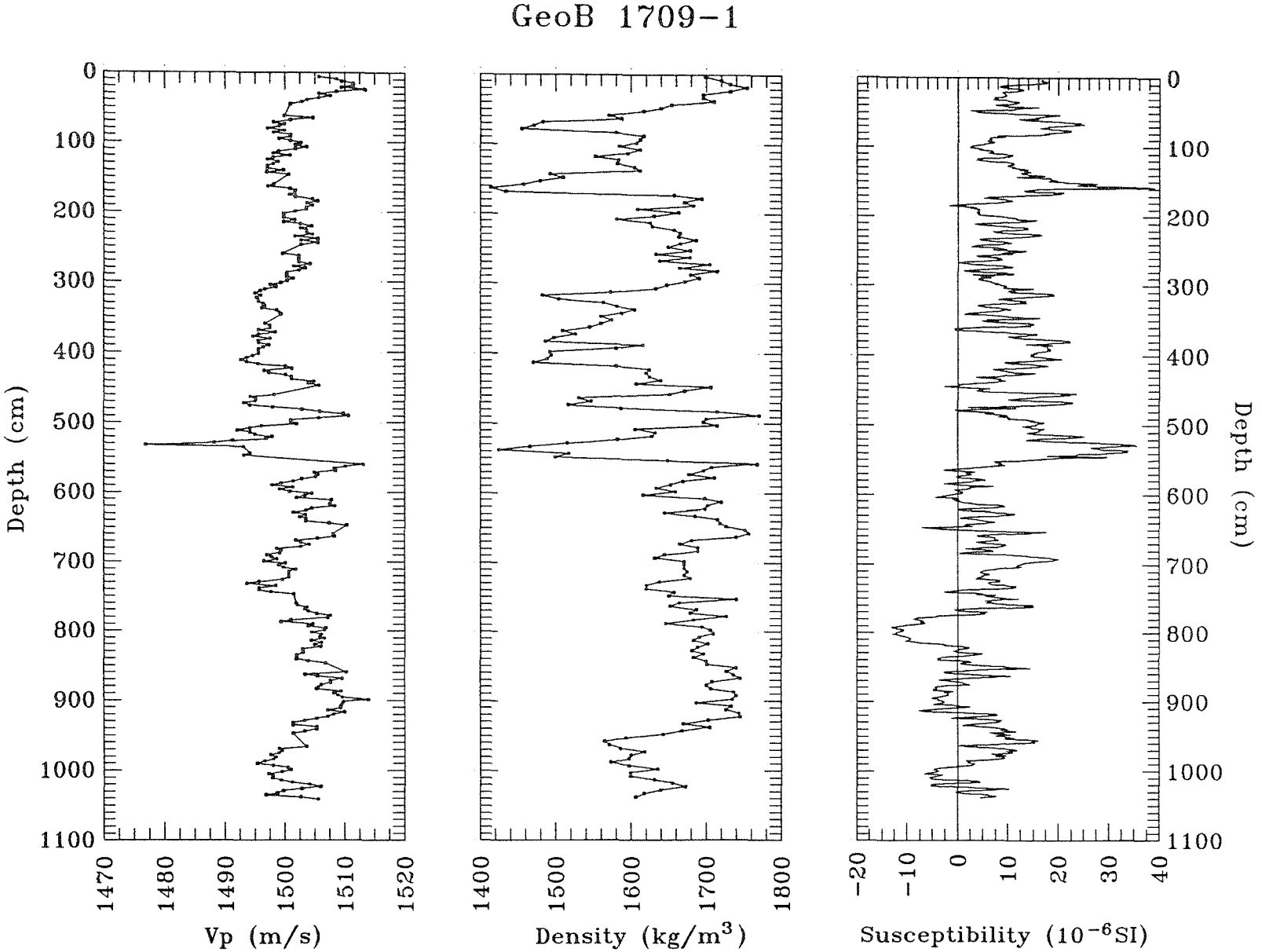


Abb. 80: Sedimentphysikalische Parameter des Schwerelotkerns GeoB 1709-1.

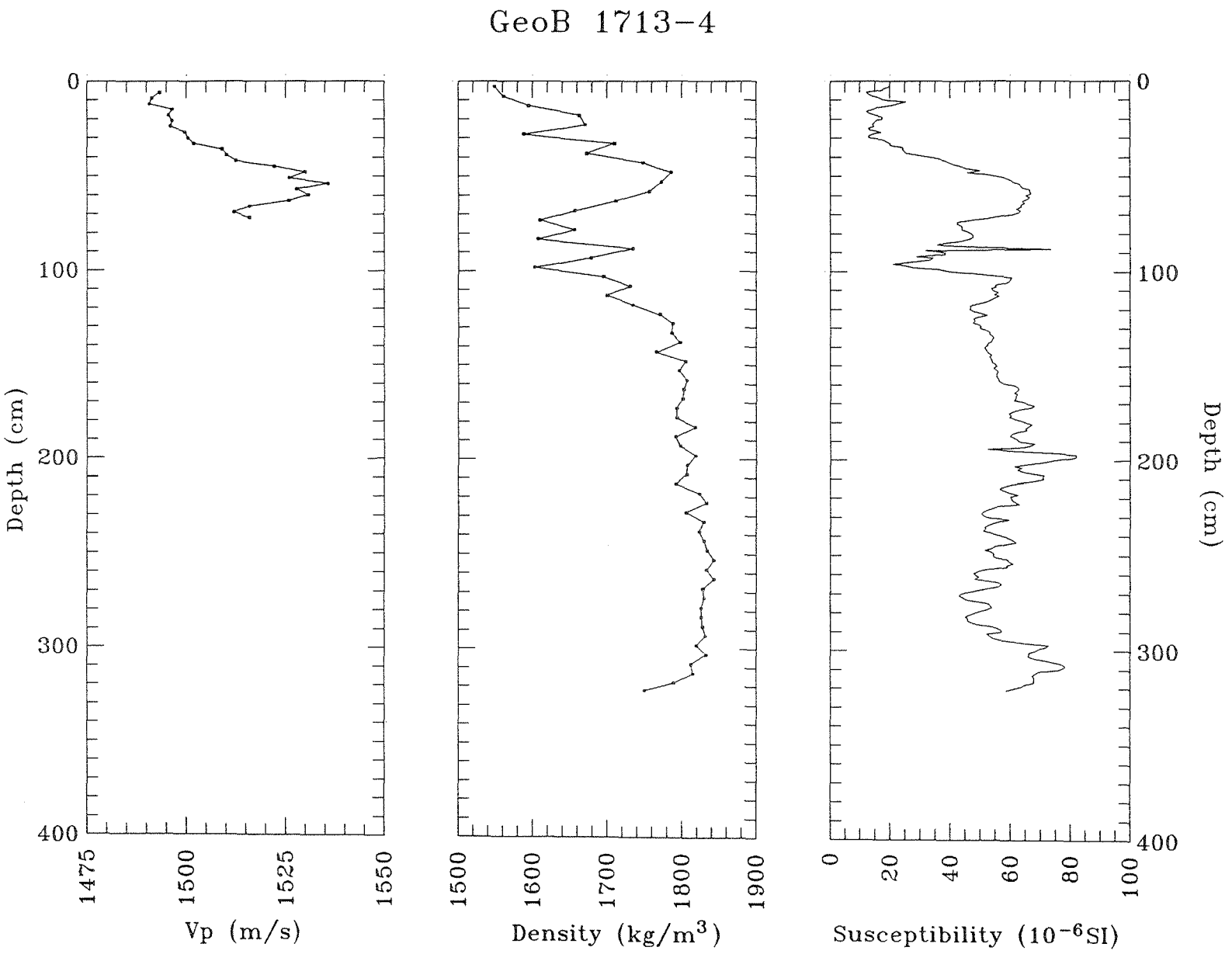


Abb. 81: Sedimentphysikalische Parameter des Schwerelotkerns GeoB 1713-4.

identifizierende Ersteinsätze bei der Bestimmung der Kompressionswellengeschwindigkeiten - nicht als ausreichend gesichert gelten können. In den Kompressionswellengeschwindigkeits- und Dichtentiefenprofilen sind alle Meßpunkte durch Symbole gekennzeichnet. Für die magnetische Suszeptibilität wurde aufgrund des sehr dichten Meßpunktabstandes (1 cm) und der über ein Tiefenintervall von etwa 8 cm integrierenden Sondencharakteristik auf eine derartige Kennzeichnung der Meßpunkte verzichtet und die Tiefenprofile quasi-kontinuierlich dargestellt. Alle Meßdaten sind in SI-Einheiten angegeben.

Die Abbildungen 75 bis 87 zeigen die sedimentphysikalischen Parameter der drei Schwerelotkerne GeoB 1701-4, GeoB 1702-5, und GeoB 1703-9, die vor den Flußmündungen des Niger, Kongo und Kunene genommen wurden.

Die Kompressionswellengeschwindigkeiten für den Kern GeoB 1701-4 (Niger Sedimentfächer, 4162 m WT) liegen in der Größenordnung von 1470 m/s, mit Ausnahme eines Maximums von 1526 m/s in einer geringmächtigen Siltlage bei 142 cm Kerntiefe. Das für jeden Kern zusätzlich ausgewertete, jedoch nicht abgebildete Tiefenprofil der Maximalamplituden der Transmissionsseismogramme ergibt für den Kern GeoB 1701-4 einen zum p-Wellengeschwindigkeitslog inversen Verlauf. In einem Turbidit zwischen 20 und 72 cm Kerntiefe war eine zuverlässige Messung der Kompressionswellengeschwindigkeiten nicht möglich. In den Dichte- und Porositätsdaten spiegelt sich dieser Bereich in hohen (1910 kg/m^3) respektive niedrigen (45%) Werten wider. Ab 72 cm Kerntiefe liegen die Dichten zwischen 1200 und 1600 kg/m^3, die Porositäten zwischen 65 und 90%. Die Suszeptibilitätswerte variieren zwischen 100 und $150 \cdot 10^{-6}$ SI, wobei ein Maximum von $340 \cdot 10^{-6}$ SI bei 600 cm Kerntiefe hervorsticht. Dieser Extremwert findet in der Kernbeschreibung jedoch keine unmittelbare Erklärung.

Der Kern GeoB 1702-5 aus dem Kongo-Sedimentfächer (Wassertiefe 3083 m) weist Variationen der Kompressionswellengeschwindigkeit zwischen 1450 m/s und 1480 m/s auf. Die Dichte nimmt mit größerer Tiefe von etwa 1200 auf 1400 kg/m^3 zu, die Porosität dementsprechend von etwa 90 auf 80% ab. Die magnetische Suzeptibilität ist im Mittel relativ niedrig und erreicht maximale Werte von $80 \cdot 10^{-6}$ SI.

Bei Geschwindigkeitsmessungen am ungeöffneten Kern GeoB 1703-9 (Kunene-Mündung, 1774 m WT) konnten nur wenige auswertbare Transmissionsseismogramme aufgenommen werden. Dies ist möglicherweise mit Ankopplungs- und Absorptionsproblemen aufgrund von relativ hohen H_2S Konzentrationen zu erklären. Durch Wiederholungsmessungen an den geöffneten Halbschalen ließen sich dagegen qualitativ gute Daten gewinnen. Die Kompressionswellengeschwindigkeiten variieren zwischen 1500 und 1575 m/s mit einem Maximum von 1613 m/s bei 87 cm Kerntiefe, das allerdings anhand der Kernbeschreibung nicht näher erklärt werden kann. Die Dichtekurve zeigt ab

einer Kerntiefe von 410 cm einen starken Anstieg von durchschnittlich 1600 bis auf knapp über 2100 kg/m^3, der sich auf eine zunehmende Verfestigung der tonigen Sedimente zurückführen läßt. Die Porositätswerte nehmen umgekehrt von zunächst fast 70 auf 35% ab. Die Suszeptibilitäten liegen überwiegend in der Größenordnung von 40 - 80·10^{-6} SI.

Die vier Schwerelotkerne des Kernprofils A (GeoB 1704-4, GeoB 1705-1, GeoB 1706-2, GeoB 1707-1) bestehen überwiegend aus Tonschlamm mit Foraminiferen und eingelagerten Muschelbruchstücken. Bei allen Kernen war laut Kernbeschreibung H_2S Geruch feststellbar. Nur wenige Geschwindigkeitsmessungen des Kerns GeoB 1705-1 konnten ausgewertet werden. Dies dürfte, wie schon bei Kern GeoB 1703-9, auf Ankopplungs- und Absorptionsprobleme durch erhöhte H_2S Konzentrationen im Sediment zurückzuführen sein. Für den Kern GeoB 1706-2 ergaben sich fast konstante Werte um 1480 m/s, die Kerne GeoB 1704-4 (Abb. 78) und GeoB 1707-1 zeigten Variationen von 1490 bis 1590 m/s und von 1525 bis 1550 m/s. Bei diesen beiden Kernen lassen sich diese Variationen der Kompressionswellengeschwindigkeit gut mit einer Zu- und Abnahme des Sandgehaltes und dem Anteil an Muschelbruchstücken korrelieren. Einher gehen damit ebenfalls Änderungen im Frequenzinhalt und in der Amplitude der Transmissionsseismogramme. Hohe Sandgehalte bedingen demzufolge hohe Kompressionswellengeschwindigkeiten und tieffrequente Signale geringer Amplitude, während für niedrige Sandgehalte das Umgekehrte gilt (Abb. 79). Auch in den Dichte- und Porositätslogs ist dieser Trend zu verfolgen. Sedimente mit hohen Sandgehalten weisen große Dichten, aber geringe Porositäten auf. Die Suszeptibilitätskurve des Kerns GeoB 1704-4 zeigt einen zum Dichteprofil inversen Verlauf. Die Dichtewerte für die drei Kerne aus größeren Wassertiefen, GeoB 1705-1 (642 m), GeoB 1706-2 (980 m) und GeoB 1707-1 (1234 m) liegen zwischen 1400 und 1700 kg/m^3, die Porositäten bei 60 bis 70%. Demgegenüber weist Kern GeoB 1704-4 (398 m) aufgrund seines hohen Anteils an Sand und Muschelbruchstücken Dichten bis zu 2000 kg/m^3 und Porositäten von nur 40% auf. Die Suszeptibilitäten aller vier Kerne überschreiten 65·10^{-6} SI nicht.

Das Kernprofil B (Kontinentalhang vor Namibia) umfaßt fünf Schwerelotkerne (GeoB 1709-1, GeoB 1710-3, GeoB 1711-4, GeoB 1712-4 und GeoB 1713-4), für die exemplarisch die Meßergebnisse der Schwerelotkerne GeoB 1709-1 und GeoB 1713-4 in den Abbildungen 80 und 81 dargestellt sind. Die Zusammensetzung der Sedimente ändert sich systematisch von Tonschlamm in den flachen Wassertiefen (GeoB 1711-4, 1967 m; GeoB 1712-4, 998 m; GeoB 1713-4, 602 m) zu fast weißem Karbonatschlamm an den tieferen Stationen (GeoB 1709-1, 3828 m; GeoB 1710-3, 2991 m). Dieser Wechsel in der Sedimentzusammensetzung ist in den sedimentphysikalischen Kernprofilen nicht unmittelbar nachweisbar. In allen fünf Kernen ergeben sich nahezu die gleichen Wertespektren für die Parameter Kompressionswellengeschwindigkeit (um 1500 bis 1530 m/s), Dichte (1300 bis 1800 kg/m^3), Porosität (55 bis 80%) und Suszeptibilität (-10 bis +40·10^{-6} SI). Ein wenig aus diesem Schema heraus fällt nur Kern GeoB 1713-4. Für diesen Kern konnten Kompressionswellengeschwindigkeiten nur bis zu einer Tiefe von 72 cm bestimmt werden, da auf-

grund einer zunehmend stärker werdenden Verfestigung des Tonmaterials in den größeren Kerntiefen Ankopplungsprobleme bei den Messungen auftraten. Die harten Tonlagen führten ab einer Teufe von etwa 100 cm zu einer deutlichen Zunahme der Dichte und Abnahme der Porosität. Die Suszeptibilitäten sind rund doppelt so hoch wie bei den übrigen Kernen des Profils B und zeigen einen mit dem Kompressionswellengeschwindigkeits- und Dichtelog positiv korrelierbaren Verlauf.

Auf der Verbindung zwischen Profil B und C wurden entlang des Kontinentalhanges vor Namibia drei Kerne (GeoB 1715-2, GeoB 1716-3, GeoB 1717-1) genommen. Die Tiefenprofile der sedimentphysikalischen Parameter zeigen die Abbildung 82 bis 84. Aus der größten Wassertiefe (4097 m) stammt der Kern GeoB 1715-2, der im Vergleich die niedrigsten Geschwindigkeiten (1455 - 1480 m/s), Dichten (1200 - 1700 kg/m^3) und Suszeptibilitätswerte (um $20 \cdot 10^{-6}$ SI) sowie die höchsten Porositäten (etwa 60 - 90%) aufweist. Der Kern GeoB 1716-3, der an einer höher am Kontinentalhang gelegenen Station (1479 m) genommen wurde, besteht überwiegend aus Tonschlamm mit eingelagerten Abschnitten erhöhter Sandgehalte. Letztere ergeben Maxima in der p-Wellengeschwindigkeits- und Dichtekurve und Minima der Porositätswerte. Die Kompressionswellengeschwindigkeiten variieren zwischen 1500 und 1550 m/s, die Dichten zwischen 1600 und 1900 kg/m^3, die Porositäten zwischen 45 und 65%. Die Suszeptibilitäten, die im Trend negativ mit den Geschwindigkeits- und Dichteprofilen korrelieren, überschreiten Werte von $65 \cdot 10^{-6}$ SI nicht. Schwerelotkern GeoB 1717-1 aus einer Tiefe von etwa 600 m besteht fast vollständig aus Feinsand. Der hohe Sandanteil im Sediment spiegelt sich in sehr tieffrequenten Transmissionsseismogrammen, hohen Geschwindigkeiten (bis zu 1650 m/s) sowie hohen Dichtewerten von maximal 2240 kg/m^3 wider. Die Suszeptibilitäten erreichen Werte bis zu $570 \cdot 10^{-6}$ SI. Die Kurvenverläufe der drei Parameter zeigen eine auffällige positive Korrelation.

Die Kerne des Profils C (GeoB 1719-7, GeoB 1720-2, GeoB 1721-7, GeoB 1722-1, GeoB 1723-1, GeoB 1724-2) bieten sowohl in ihrer sedimentologischen Zusammensetzung als auch in ihren sedimentphysikalischen Eigenschaften ein sehr unterschiedliches Bild. Bei den Kernen GeoB 1719-7, GeoB 1720-2, GeoB 1721-7 und GeoB 1722-1 (Abb. 85) reicht das Spektrum der p-Wellengeschwindigkeiten von Werten zwischen 1460 und 1480 m/s (GeoB 1721-7) und 1480 bis 1500 m/s (GeoB 1722-1) über nahezu konstante Geschwindigkeiten um 1510 m/s (GeoB 1720-2) bis zu Geschwindigkeitsvariationen zwischen 1500 und 1575 m/s (GeoB 1719-7). Ebenso weitgefächert ist die Variabilität der Dichte- (1350 - 1950 kg/m^3) und Porositätsdaten (45 - 80%). Allgemein läßt sich feststellen, daß mit zunehmenden Wassertiefen die Schallgeschwindigkeiten und Dichten geringer, die Porositäten höher werden. Gemeinsam ist allen Kernen eine positive Korrelation der Kompressionswellengeschwindigkeit und Dichte mit dem Sandgehalt der Sedimente sowie eine negative Korrelation dieser Parameter mit der Porosität und den Amplituden und dem Frequenzgehalt der Transmissionsseismogramme. Die Zunahme im Sandgehalt bedingt demnach einen Anstieg der p-Wellengeschwindigkeit und Dichte, eine Abnahme der Amplitudenwerte und einen Übergang

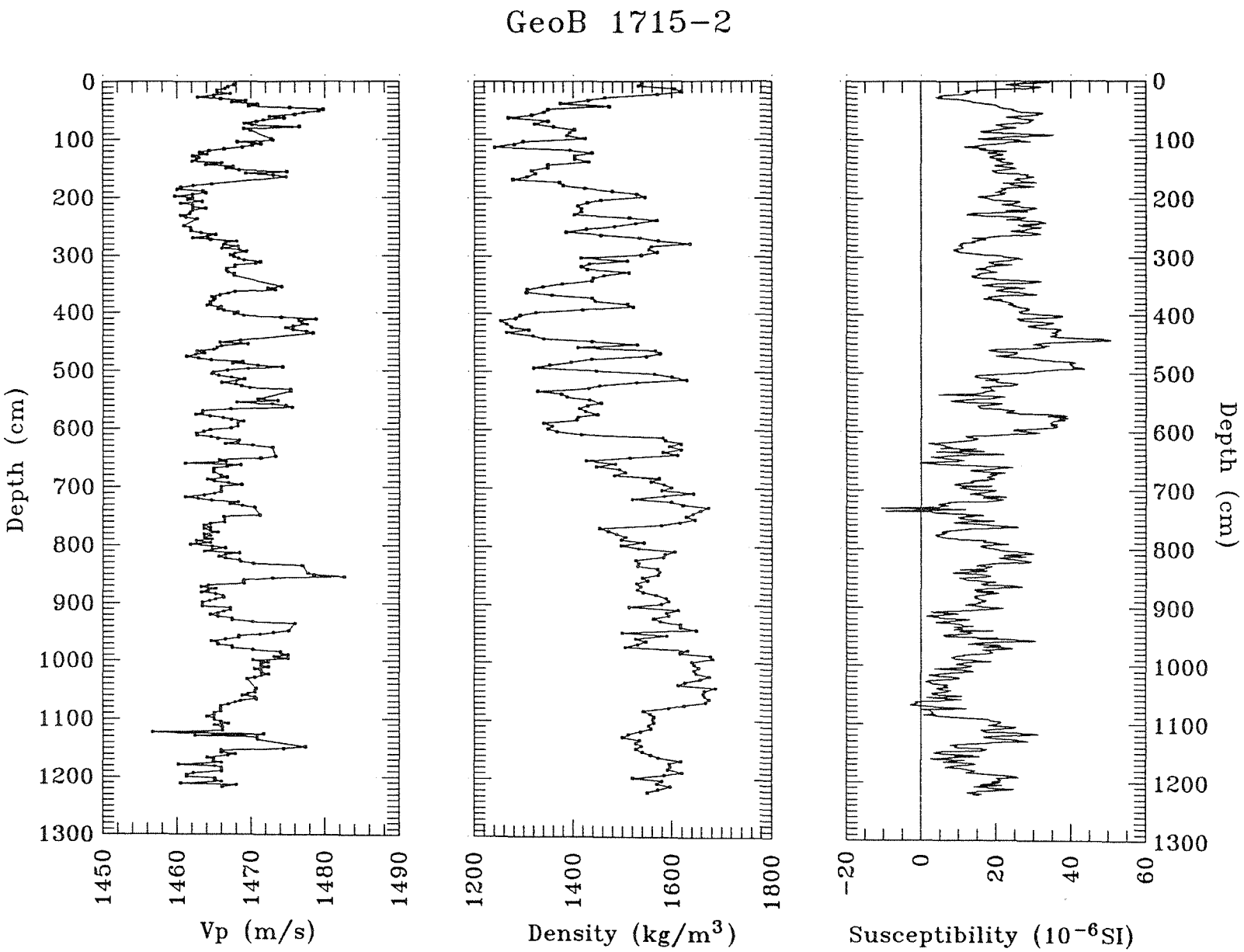


Abb. 82: Sedimentphysikalische Parameter des Schwerelotkerns GeoB 1715-2.

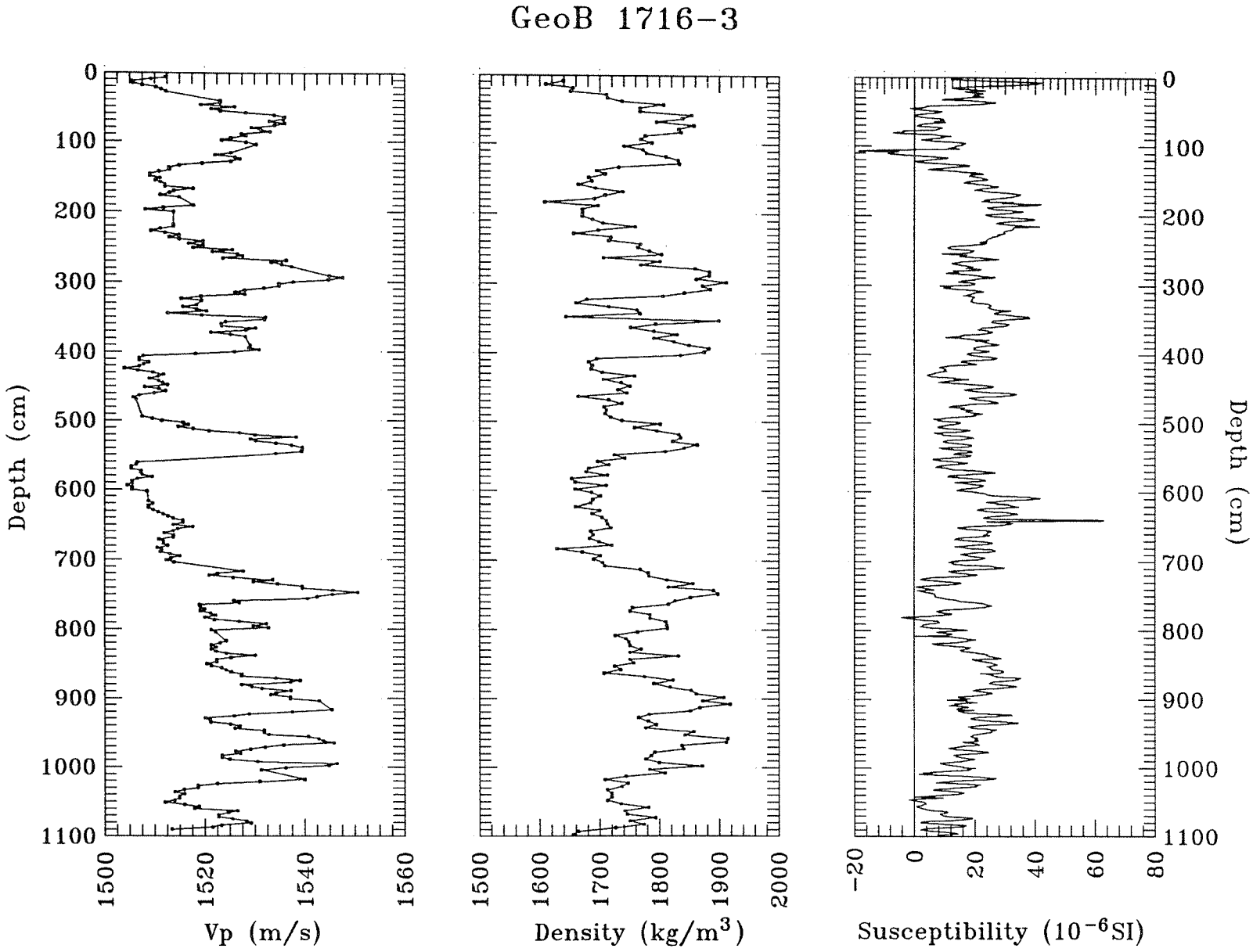


Abb. 83: Sedimentphysikalische Parameter des Schwerelotkerns GeoB 1716-3.

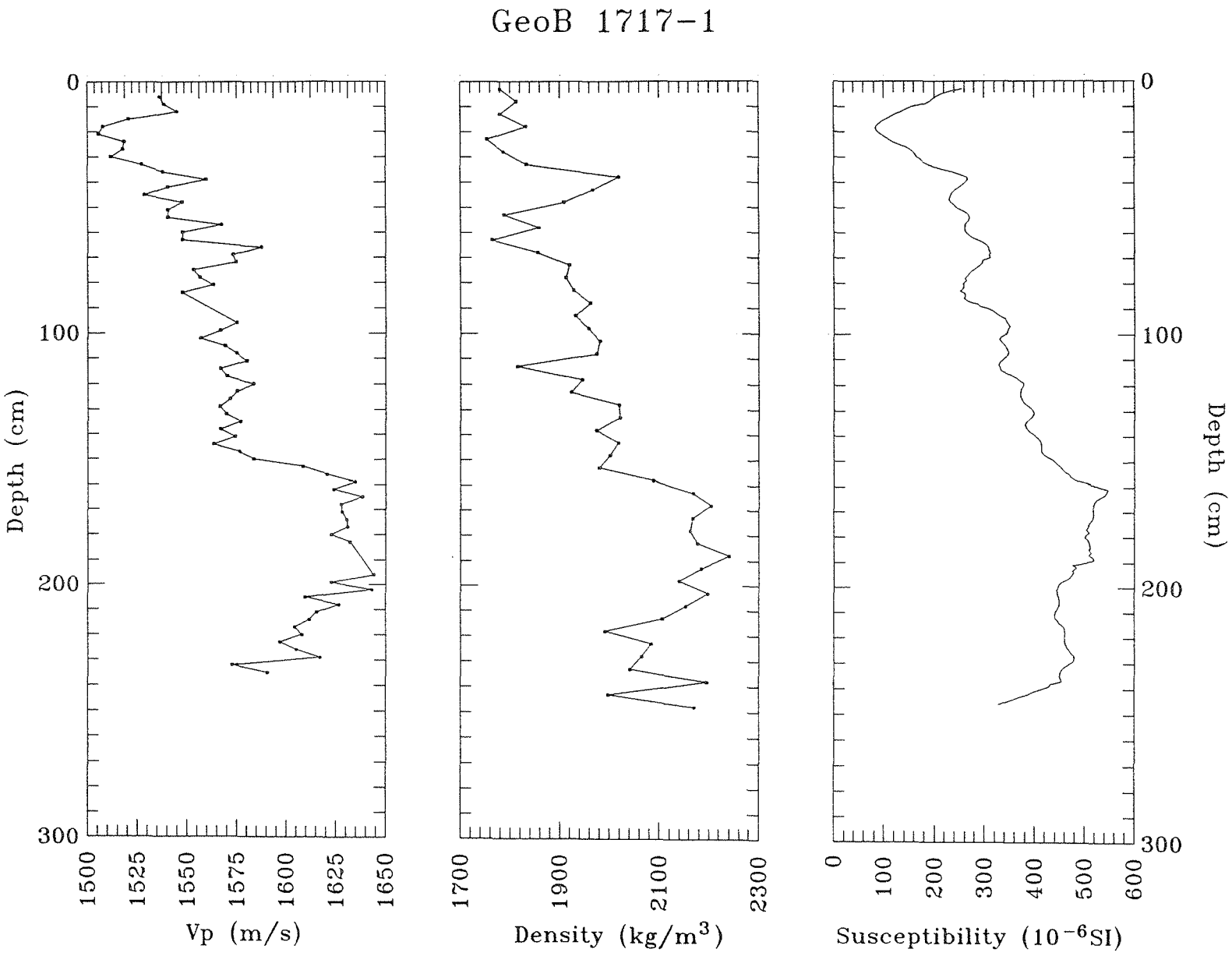


Abb. 84: Sedimentphysikalische Parameter des Schwerelotkerns GeoB 1717-1.

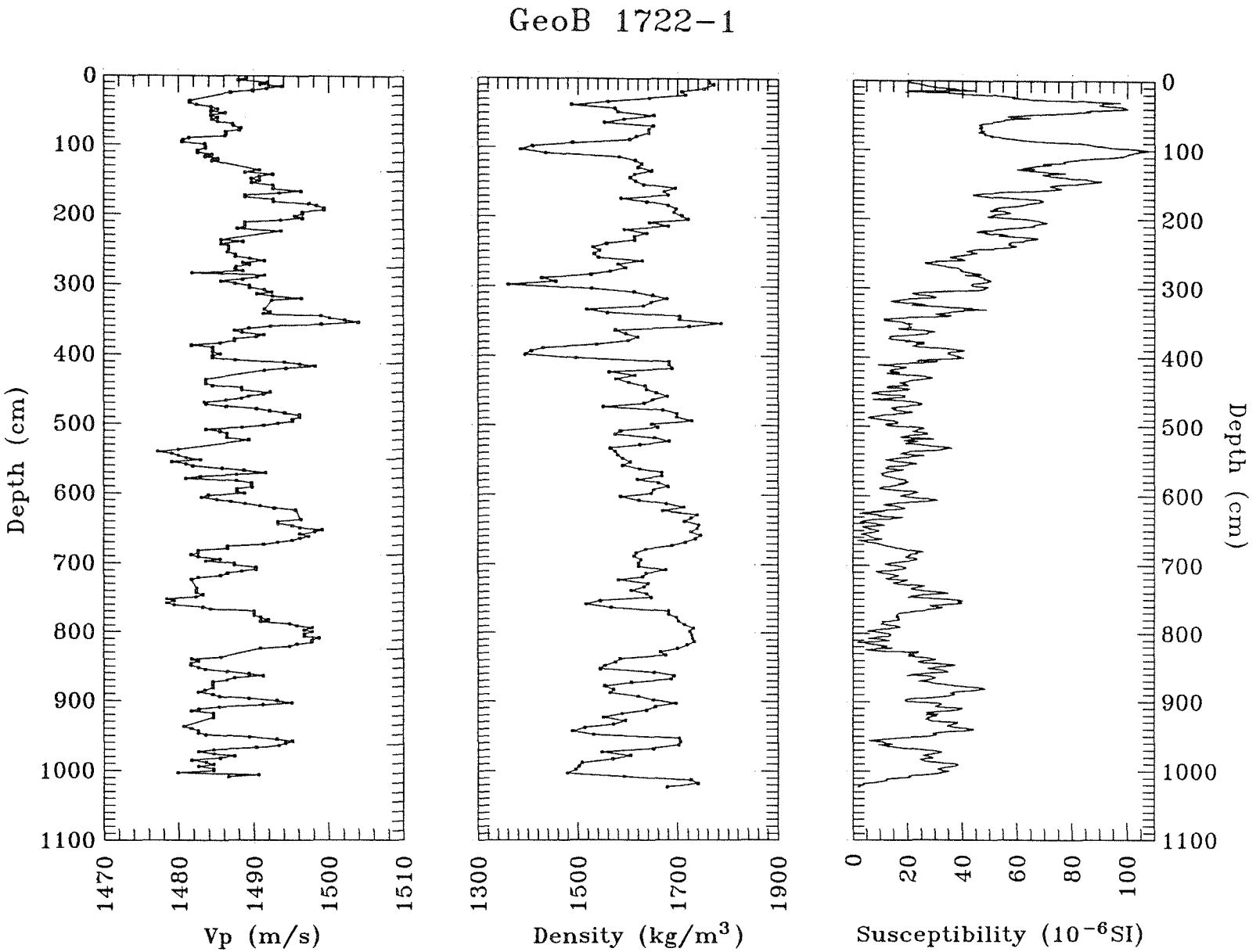


Abb. 85: Sedimentphysikalische Parameter des Schwerelotkerns GeoB 1722-1.

von hoch- zu tieffrequenten Signalen. Eine weitere Gemeinsamkeit dieser vier Kerne sind niedrige Suszeptibilitäten von durchschnittlich $50 \cdot 10^{-6}$.

Die Schwerelotkerne GeoB 1723-1 und GeoB 1724-2 (Abb. 86) aus dem Kap-Becken (~ 5000 m WT) bestehen aus braunem Tiefseeton und weisen die höchsten auf diesem Fahrtabschnitt gemessenen Suszeptibilitätswerte auf, mit einem Maximum bei $700 \cdot 10^{-6}$ SI. Dieses Ergebnis erklärt sich wahrscheinlich aus dem Mangel an biogenen Komponenten in diesen Tiefseekernen, die in anderen Arealen, wie im Auftriebsgebiet vor Namibia, die Konzentration magnetischer Minerale verringern. Unter etwa 250 cm Kerntiefe liegen die Kompressionswellengeschwindigkeiten nahezu konstant bei 1480 m/s, wobei die Amplituden des Kerns GeoB 1723-1 extrem hohe Werte erreichen. Eine ähnliche Konstanz der Werte zeigen die Dichten (um 1580 kg/m^3) und Porositäten (um 67%).

Die Schwerelotkerne GeoB 1728-1 und 1729-3 (Abb. 87) wurden südwestlich des Walfisch-Rückens genommen. Während der Kern GeoB 1728-1 eher geringe Änderungen in den sedimentphysikalischen Parametern aufweist (Kompressionswellengeschwindigkeit 1500 - 1540 m/s, Dichte 1850 - 1950 kg/m^3, Porosität 45 - 55%, Suszeptibilität 0 - $70 \cdot 10^{-6}$ SI), zeigt der Kern GeoB 1729-3 klarere Variationen in allen drei Tiefenprofilen. Zusätzlich ist mit zunehmender Kerntiefe ein allgemeiner Trend im p-Wellengeschwindigkeits- und Dichtelog zu höheren und in den Porositätsdaten zu geringeren Werten festzustellen. Die gemessenen Variationen im Kern GeoB 1729-3 korrelieren mit einer Zu- oder Abnahme der Sandgehalte. Die Korngrößenänderungen beeinflussen auch den Frequenzinhalt und die Amplituden der Transmissionsseismogramme. Hohe Sandgehalte sind durch tieffrequente Signale niedriger Amplitude charakterisiert. Die Suszeptibilitäten sind mit Werten bis zu $160 \cdot 10^{-6}$ SI relativ hoch, wobei das Tiefenprofil weitgehend antiparallel zum Kompressionswellenlog verläuft.

4.8.3 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der sedimentphysikalischen Messungen an den 23 Schwerelotkernen des Fahrtabschnittes M 20/2 lassen sich wie folgt zusammenfassen:
Die Variationen der Kompressionswellengeschwindigkeiten waren in der Regel nur gering und durch Zu- und Abnahmen der Sandgehalte im Sediment gesteuert. Im allgemeinen korrelieren Änderungen der Korngröße positiv mit Dichte und p-Wellengeschwindigkeit. Auch Änderungen im Frequenzgehalt und den Amplituden der Transmissionsseismogramme können häufig mit Variationen der Korngrößen erklärt werden. Bei vielen Kernen war ein Anstieg der Kompressionswellengeschwindigkeit und Dichte (eine Abnahme der Porosität) mit zunehmender Kerntiefe festzustellen. Die Suszeptibilitätswerte lagen zumeist sehr niedrig, teilweise wurden negative Werte gemessen, die auf fast reine Karbonatsedimente hinweisen. In zwei Kernen aus der Tief-

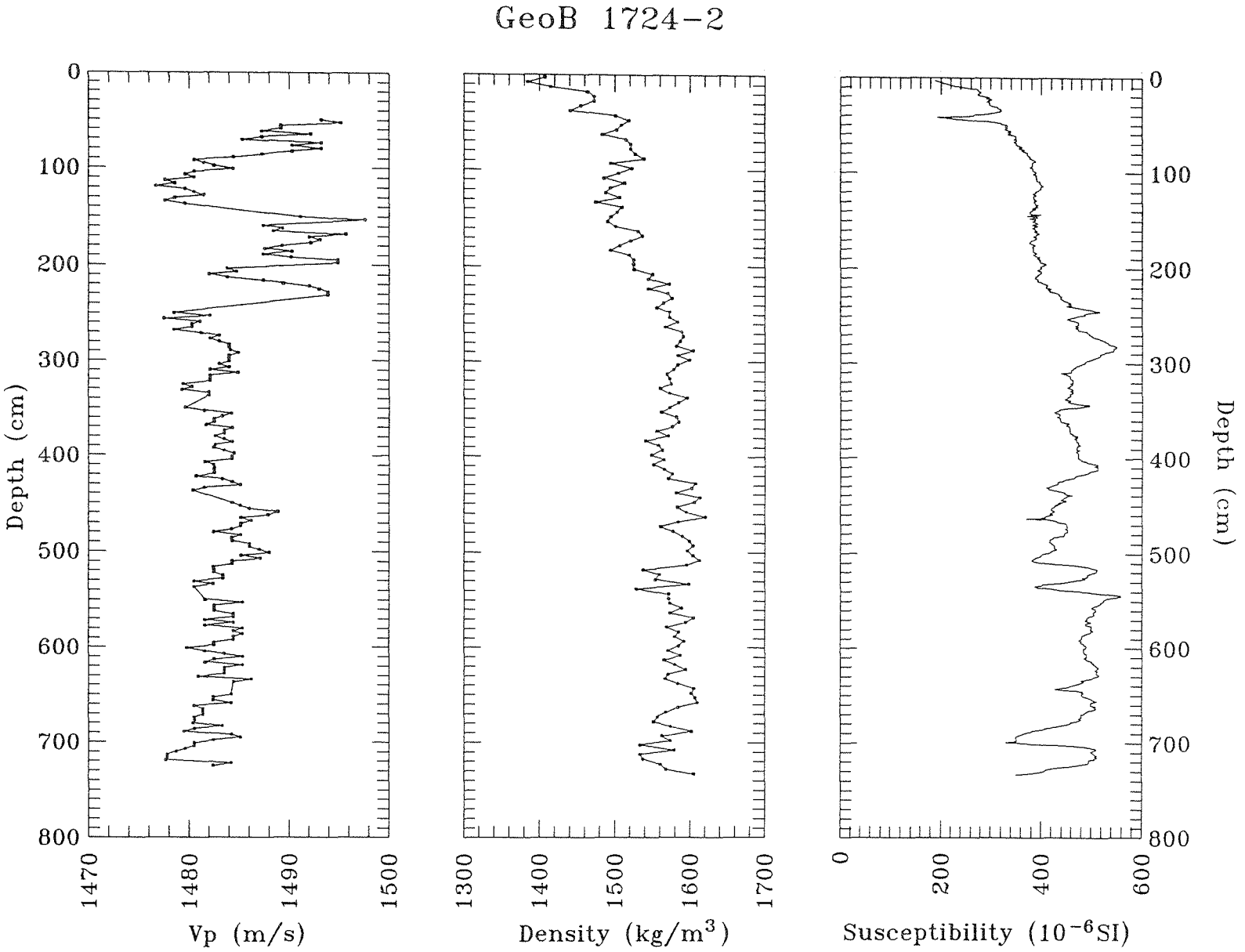


Abb. 86: Sedimentphysikalische Parameter des Schwerelotkerns GeoB 1724-2.

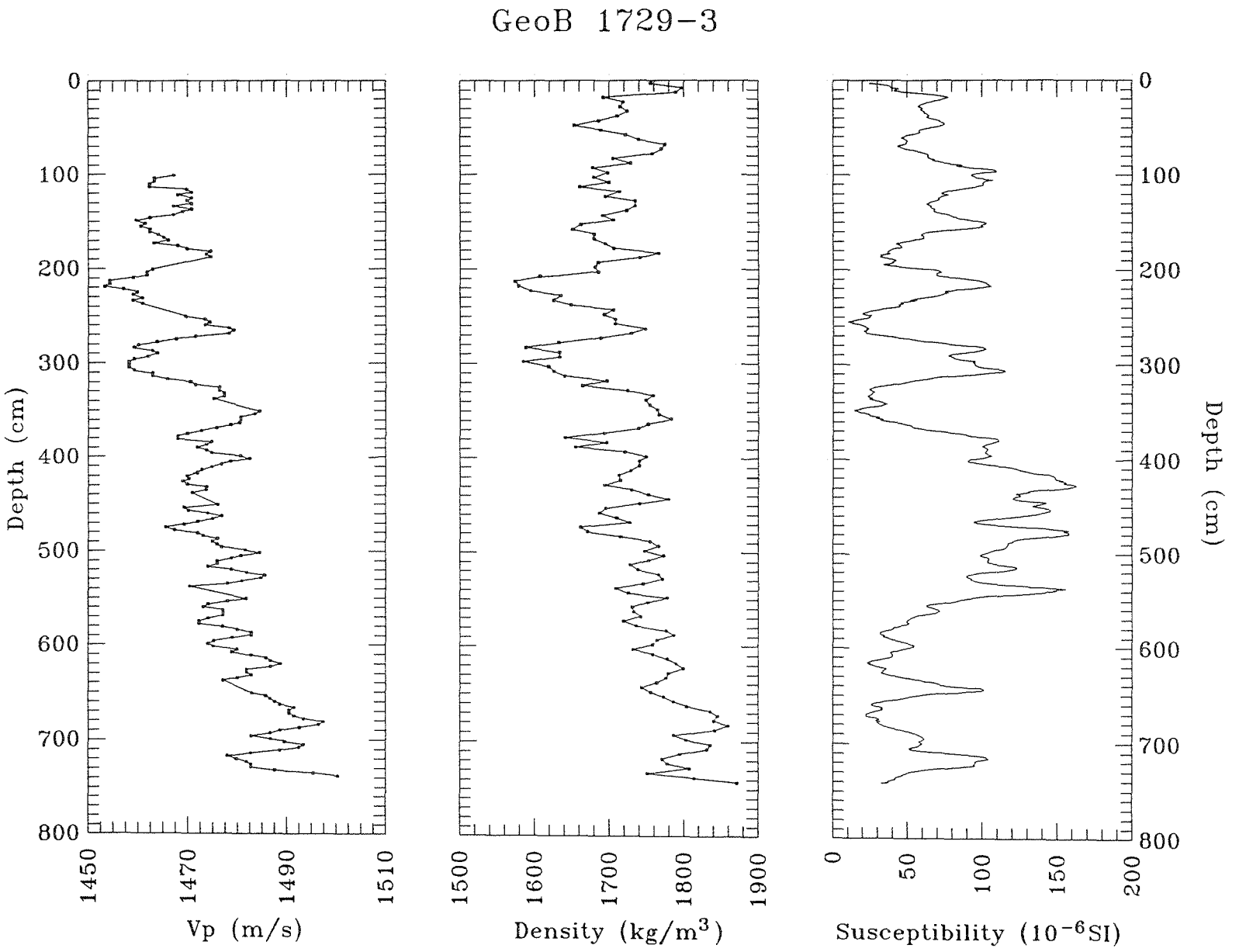


Abb. 87: Sedimentphysikalische Parameter des Schwerelotkerns GeoB 1729-3.

see (WT > 5000 m) sind die höchsten Suszeptibilitätswerte gemessen worden. Die Suszeptibilitätslogs einzelner Kerne korrelieren positiv oder negativ mit anderen physikalischen Parametern, jedoch ergaben sich keine über den gesamten gewonnenen Datensatz konsistente Beziehungen.

4.9 Porenwasserchemie

(A. Dahmke, R. Henning, S. Hinrichs, J. Sagemann, U. Werner, M. Zabel)

Eine zusammenfassende Darstellung der geochemisch bearbeiteten Stationen auf der METEOR Reise M 20/2 gibt Abbildung 88. Zusätzlich sind auf der Karte die geochemisch bearbeiteten Stationen früherer METEOR-Reisen dargestellt. An Bord wurden für die in Kap. 2 aufgeführten Untersuchungsziele folgende geochemischen Arbeiten am Kernmaterial, das mit dem Multicorer (MC), Großkastengreifer (GKG) und Schwerelot (SL) gewonnen wurde, durchgeführt:

- Porenwassergewinnung durch Zentrifugation und Druckfiltration unter Inertgas-Atmosphäre
- ausführliche Beprobung der Festphase ebenfalls unter Inertgas-Atmosphäre für sequentielle Aufschlüsse und weitere Festphasenuntersuchung an der Uni Bremen
- Messungen von pH- und Eh-Werten in der Festphase
- Analytik der Porenwässer auf die Komponenten NH_4^+, NO_3^-, S^{2-}, PO_4^{3-}, F^- sowie Messung der Alkalität
- Konservierung der Porenwasserproben für die weitere Messung der Komponenten SO_4^{2-}, Cl^-, K, Mg, Ca, Sr, Ba, Si, Mn und Fe an der Uni Bremen.

Insgesamt wurden auf der Fahrt M 20/2 11 Schwerelotkerne, 15 Multicorer-Kerne, 8 Stechrohre aus Großkastengreifern sowie 1 Stechrohr aus dem Kastengreifer von ELINOR beprobt und dabei ca. 790 Porenwasserproben gewonnen und analysiert.

4.9.1 Untersuchungsmethodik

Für die Untersuchungen wurden im wesentlichen die bei vorhergehenden METEOR-Fahrten bereits erfolgreich erprobten Porenwassergewinnungstechniken und Analysenmethoden eingesetzt, die im folgenden kurz beschrieben werden.

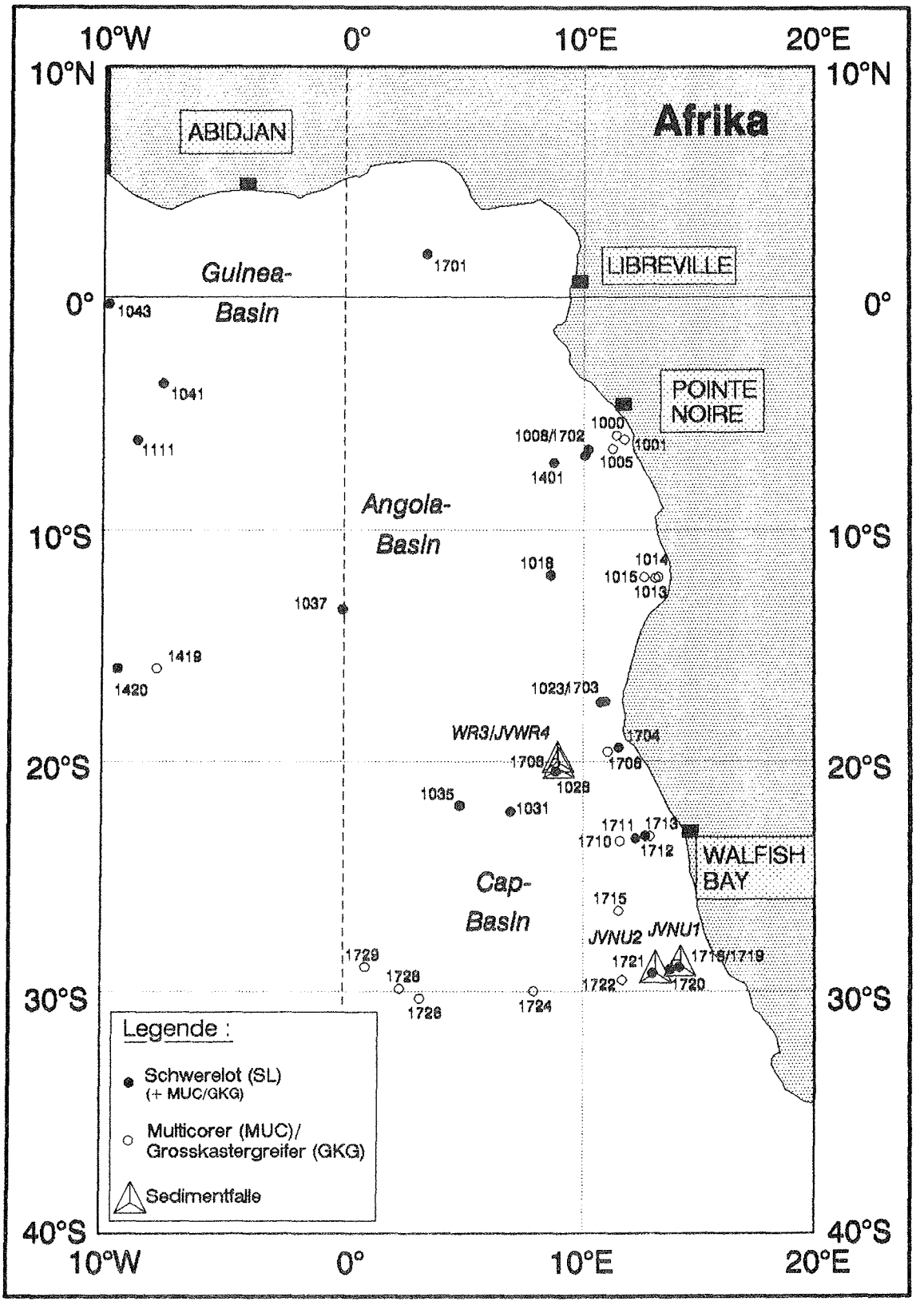


Abb. 88: GeoB-Stationen im SE-Atlantik, an denen chemische Untersuchungen des Boden- und Porenwassers vorgenommen wurden.

Probennahme

Um eine unerwünschte Erwärmung an Deck zu vermeiden, wurde aus dem Großkastengreifer-Kernmaterial sofort nach Absaugen des überstehenden Wasser ein meist 30-40 cm langes Liner-Rohr ausgestochen und im Kühlraum des Schiffes bei ca. 5°C (wie auch die Multicorer-Kerne) meist innerhalb der nächsten 12 Stunden bearbeitet. Die für die Geochemie und Mikrobiologie entnommenen Schwerelotkerne wurden so schnell wie möglich in Meterstücke zersägt und ebenfalls im Kühlraum weiterverarbeitet. Dafür wurden die Meterstücke der Länge nach halbiert, so daß eine Arbeitshälfte für geochemische und mikrobiologische Untersuchungen beprobt werden konnte und eine Archivhälfte erhalten blieb. Eine Ausnahme bildete hier lediglich das Schwerelot GeoB 1703-7, dessen Archivhälften zusätzlich von der Arbeitsgruppe "Marine Geologie" bearbeitet wurden.

Alle anoxischen Kernbereiche wurden in einer Glove-box unter Argon-Atmosphäre beprobt. Die Lagerung der Archivhälften und der Arbeitshälften erfolgt ebenso wie die Lagerung der Sedimentproben bei -10°C, um so den mikrobiellen Abbau insbesondere von Pyrit zu verhindern. Die aus den Arbeitshälften entnommenen Sedimentproben für sequentielle Aufschlüsse wie auch für die Mößbauer-Spektroskopie werden zusätzlich noch in mit Argon gefüllten Glasflaschen aufbewahrt.

Zur Gewinnung des Porenwassers aus den Schwerelot-Kernen wurden in der Regel Pressen aus Teflon mit einem Innenvolumen von 110 cm^3 je Probe verwendet. Da die Proben druckseitig durch eine Gummilage und Parafilm geschützt sind, konnte die schiffsseitig gegebene Preßluft mit einem Druck von max. 5 bar zum Auspressen verwendet werden. Je nach Wassergehalt und Kompressibilität des Sedimentes wurde je Probe zwischen 10 und 50 ml Porenwasser gewonnen. Die Filtration des Porenwassers erfolgte mit 0,2 μm Membranfiltern, die jedoch trotz gegenteiliger Auskunft der Herstellerfirma SARTORIUS einen bedeutenden Anteil eluierbaren Nitrats im Filtergewebe aufwiesen. Auch eine sorgfältige Vorspülung dieser Filter ergab keine befriedigenden Resultate, so daß diese Filter nur für die Nitrat-freien Bereiche der Schwerelotkerne eingesetzt wurden. Eine Erhöhung (oder Verringerung) der Konzentrationen von Phosphat, Ammonium oder der Alkalität durch das Filtermaterial wurde nicht festgestellt. Bei der Druckfiltration von Sulfid-haltigen Proben wurde in der Regel zunächst eine Teilprobe (4-5 ml) gewonnen, die zur Konservierung mit einer NaOH-Vorgabe auf einen pH-Wert um 12 eingestellt wurde. Diese Art der Konservierung der Sulfid-Spezies bewährte sich gut und verhinderte deutlich die sonst häufig zu beobachtende schnelle Entgasung der Probe während der Sulfidmessung.

Aufgrund der oben geschilderten kontaminierten Filter wurden ab Station GeoB 1701 die Porenwässer der oberflächennahen Proben aus dem Multicorer und dem Großkastengreifer durch Zentrifugation gewonnen. Verwendet wurde eine Kühlzentrifuge (Typ: HERAEUS SEPATECH, Minifuge T) mit einer Kühltemperatur von 4°C und 4000 U/min sowie verschraubbare Probenbe-

hälter, um eine Entgasung während der Zentrifugation weitgehend zu vermeiden. Die Kühlzentrifuge war trotz starken Seegangs voll funktionsfähig, die gewonnenen Porenwassermengen sind jedoch verglichen mit der Druckfiltrations-Methode geringer. Das überstehende Wasser der zentrifugierten Proben mußte nachträglich stets über einen Spritzenvorsatz filtriert werden (0,2 µm Filter), um eine, je nach Position, sehr unterschiedliche Menge von suspendiertem Material zu entfernen. Die dafür verwendeten Filter wurden durch mehrmaliges Spülen in verdünnter HCL (0,1 N) und deionst. H_2O vollständig von ebenfalls im Filtermaterial enthaltenem Nitrat gesäubert, was durch Blindproben ständig überprüft wurde.

Für die Schwerelotkerne der Stationen GeoB 1701 und GeoB 1702 wurde ein Methodenvergleich zwischen diesen beiden Porenwassergewinnungstechniken durchgeführt, wobei für die erste Station GeoB 1701 deutliche Unterschiede festgestellt werden konnten. Für die Station GeoB 1702 an der Kongo-Mündung wurden keine signifikanten Unterschiede beobachtet. Dieser Befund deckt sich mit ähnlichen Beobachtungen auf den METEOR-Reisen M 16/1 und M 16/2. Auf diesen beiden Reisen wurden auch nur die mit der Station GeoB 1701 vergleichbaren, durch einen starken terrigenen Eintrag bestimmten Sedimente des Amazonas-Mündungsbereiches signifikant durch die Porenwassergewinnungsmethodik in ihrem Chemismus beeinflußt.

Neben der Porenwassergewinnung wurden die Sedimente der Multicorer-, der Großkastengreifer- und der Schwerelotkerne, soweit notwendig auch unter Argon-Atmosphäre, in hoher Auflösung beprobt. Aus den Multicorer- und Großkastengreiferkernen wurden in der Hauptsache Proben für sequentielle Bindungsformanalysen entnommen, so daß demzufolge die Lagerung dieser Proben bei -10°C und unter Argonatmosphäre in Glasflaschen erfolgen muß. Entsprechend werden die Proben für sequentielle Bindungsformanalysen aus den Schwerelotkernen gelagert. Die Arbeitshälften der Schwerelotkerne wurden zudem noch für mikrobiologische Untersuchungen (Kap. 4.11), Möß-bauer-spektroskopischen Untersuchungen und C_{org}-Messungen in engen Abständen beprobt.

Analytik

Die folgenden Parameter wurden sofort an Bord gemessen: pH-Wert, Eh-Wert, NO_3^-, NH_4^+, PO_4^{3-}, S^{2-}, Alkalität und F^-. Der pH-Wert und der Eh-Wert wurden jeweils mit Einstichelektroden im Sediment vor dem Auspressen gemessen. Bei den anoxischen und suboxischen Sedimenten erfolgte die Messung von pH und Eh unter Argonatmosphäre.

Sofort im Anschluß an die Gewinnung des Porenwassers wurden die Bestimmungen auf S^{2-}, Alkalität, NO_3^-, PO_4^{3-} und NH_4^+ durchgeführt, so daß zwischen der Porenwassergewinnung und der

Sulfidbestimmung meist nur wenige Minuten lagen und die Ammoniumbestimmung meist innerhalb der nächsten 6 Stunden erfolgte.

NO_3^-, NH_4^+, S^{2-} und PO_4^{3-} wurden fotometrisch nach Standardverfahren mit einem Autoanalyzer durchgeführt. Die Alkalität wurde aus einer Vorgabe von 1 ml nach Zugabe einer bestimmten Menge 0,01 m HCl aus dem danach erreichten pH-Wert berechnet. Zusätzlich wurde noch durch abermalige Zugabe von einer bestimmten Menge HCl eine Zweipunkttitration durchgeführt, deren Auswertung jedoch noch aussteht. Die Bestimmung des F^- erfolgte mit einer ionensensitiven Elektrode in Direktmessung, wobei für die Kerne aus dem Benguela-Auftriebgebiet die Porenwässer im Verhältnis 1:2 verdünnt werden mußten, um sinvolle Messungen zu erhalten.

Ein Teil des restlichen Porenwassers (bei den Schwerelotkernen meist zwischen 10-20 ml, bei den Großkastengreifer- und Multicorer-Kernen meist nur 5-10 ml und weniger) wurde mit HNO_3^- (suprapur) für die Analytik der Kationen auf einen pH-Wert kleiner 2 angesäuert und bis zur Messung mit der ICP bzw. AAS an der Uni Bremen bei 4°C gelagert. Ein anderer Teil wurde für die Messung der SO_4^{2-}-Konzentrationen im Verhältnis 1:20 mit deionst. H_2O verdünnt und eingefroren. Stark S^{2-}-haltige Proben wurden vor der Verdünnung zunächst mit HCl angesäuert und leicht geschüttelt, um das Entgasen von H_2S zu beschleunigen und so eine bedeutende Reoxidation zu SO_4^{2-} zu verhindern.

4.9.2 Erste Ergebnisse

Station GeoB 1701

An der Station GeoB 1701 im Einflußbereich des Niger-Mündungsgebietes wurden ein Multicorer-, ein Großkastengreifer- und ein Schwerelotkern geochemisch untersucht. Die Untersuchungen ergaben in den oberflächennahen Sedimenten eine ausgeprägte Nitrifikationszone innerhalb der obersten 3-4 cm und darauffolgend einen Nitratabbau in den obersten 20 cm (Abb. 89). Die Alkalität und auch die Phosphatkonzentrationen zeigen in diesem Bereich nur geringe Konzentrationsgradienten, die auch nur einen entsprechend geringen, diffusiven Austrag dieser Komponenten aus dem Sediment belegen (Abb. 89). Ein Vergleich zwischen Konzentrationsprofilen aus dem Großkastengreifer- und dem Multicorer-Kern ergibt eine Übereinstimmung im Verlauf der Gradienten, wobei die Werte aus dem Großkastengreiferkern jedoch etwas höher liegen. Ob kleinräumige Unterschiede in der Konzentrationsverteilung oder die Porenwassergewinnungstechnik für diese Unterschiede verantwortlich sind, läßt sich zur Zeit aus den Daten noch nicht ableiten. Überraschend erscheint uns die relativ enge Abfolge der frühdiagenetischen Zonen, was auf bedeutende Umsatzraten bei dem Abbau von C_{org} schliessen läßt, obwohl die biologische Primärproduktion in diesem

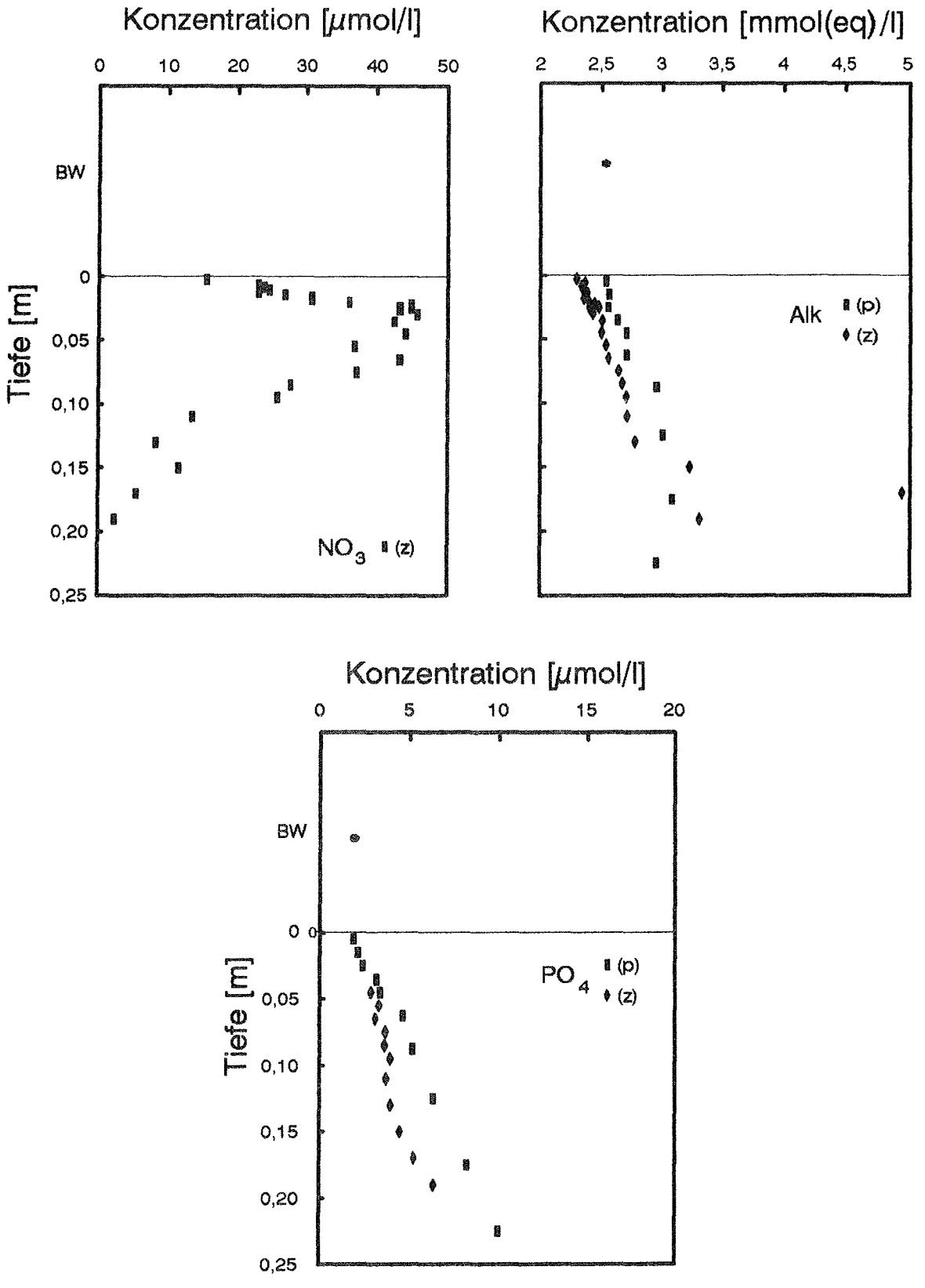


Abb. 89: Poren- und Bodenwasser Konzentrationsprofile der Station GeoB 1701.
(Probengewinnung: 'p' = durch Pressen, 'z' = durch Zentrifugieren)

Gebiet gering sein soll. Wir gehen deshalb davon aus, daß die Hauptmenge des organischen Materials terrigenen Ursprungs ist, diese Vermutung wird auch durch den Fund einer Lage von Holzstückchen im Großkastengreiferkern unterstützt.

Bei dem Schwerelotkern deutet der Verlauf der NH_4^+- (Abb. 90), PO_4^{3-}- und Alkalitätskonzentrationsprofile auf hohe Abbauraten von C_{org} auch in den tieferen Bereichen der Sedimente dieser Station. Das Fehlen von S^{2-} im Porenwasser weist auf die starke Beeinflussung dieses Gebietes durch terrigenen Eintrag, wahrscheinlich mit einem hohen Anteil reaktiver Fe(III)-Phasen hin. Die hohen Pyritgehalte (20%), die in diesem Kern durch "smear-slide" Untersuchungen festgestellt wurden (Kap. 4.3) unterstützen diesen Befund zusätzlich. Analog zur Situation am Amazonas führen an dieser Station wahrscheinlich größere Mengen reaktiver Fe-Minerale zu einer sofortigen Festlegung des S^{2-} als Pyrit.

Station GeoB 1702

An der Station GeoB 1702 im Einflußbereich der Kongo-Mündung wurden ein Multicorer-, ein Großkastengreifer- und ein Schwerelotkern geochemisch bearbeitet. Auf dieser Station war bereits beim METEOR-Fahrtabschnitt M 6/6 Schwerelotkerne auf der Station GeoB 1008 entnommen worden, die interessante paläozeanographische und geochemische Daten lieferten. Leider durchteuften die damaligen Schwerelotkerne nicht die Sulfatreduktionszone, so daß auf dieser Fahrt erneut der Versuch unternommen wurde, tiefere Kernbereiche zu gewinnen. Dies gelang jedoch nicht, trotzdem konnten an dem Kernmaterial eine Reihe neuer Daten gesammelt sowie eine Reihe von Proben für die Festphasenuntersuchungen gewonnen werden.

Die Untersuchungen der oberflächennahen Sedimente ergaben wie erwartet hohe Umsatzraten in den obersten cm. Die Nitrifikationszone liegt nach dem Nitratkonzentrationsprofil in den obersten 2 cm (Abb. 91), was auch in guter Übereinstimmung zu den O_2-Messungen von J. Gundersen und R. Glud (Kap. 4.10.) steht. Die Denitrifikationszone reicht bis zu einer Tiefe von annähernd 10 cm. Nachgezeichnet wird die oben angesprochene Zonierung auch durch den Verlauf der pH-Werte (Abb. 91), die ein Minimum in 3-4 cm aufweisen und die Oxidation von C_{org} und/oder von reduzierten anorganischen Spezies wie z.B. Mn^{2+}, Fe^{2+} oder Sulfid aus der Festphase anzeigen. Der zur Tiefe hin folgende Anstieg steht möglicherweise im Zusammenhang mit der Reduktion von Fe(III)- bzw. Mn(IV)-Oxidhydraten. Der Verlauf der PO_4^{3-}-Konzentrationsprofile und der Alkalität sind in Abbildung 92 dargestellt und zeigen nur geringe Konzentrationsgradienten.

Aufgrund der hohen C_{org}-Gehalte, die in diesem Gebiet zwischen 1-4 Gew.% variieren, ist auch das Porenwasserprofil des Schwerelotkerns durch niedrige Eh-Werte und einen starken Anstieg der

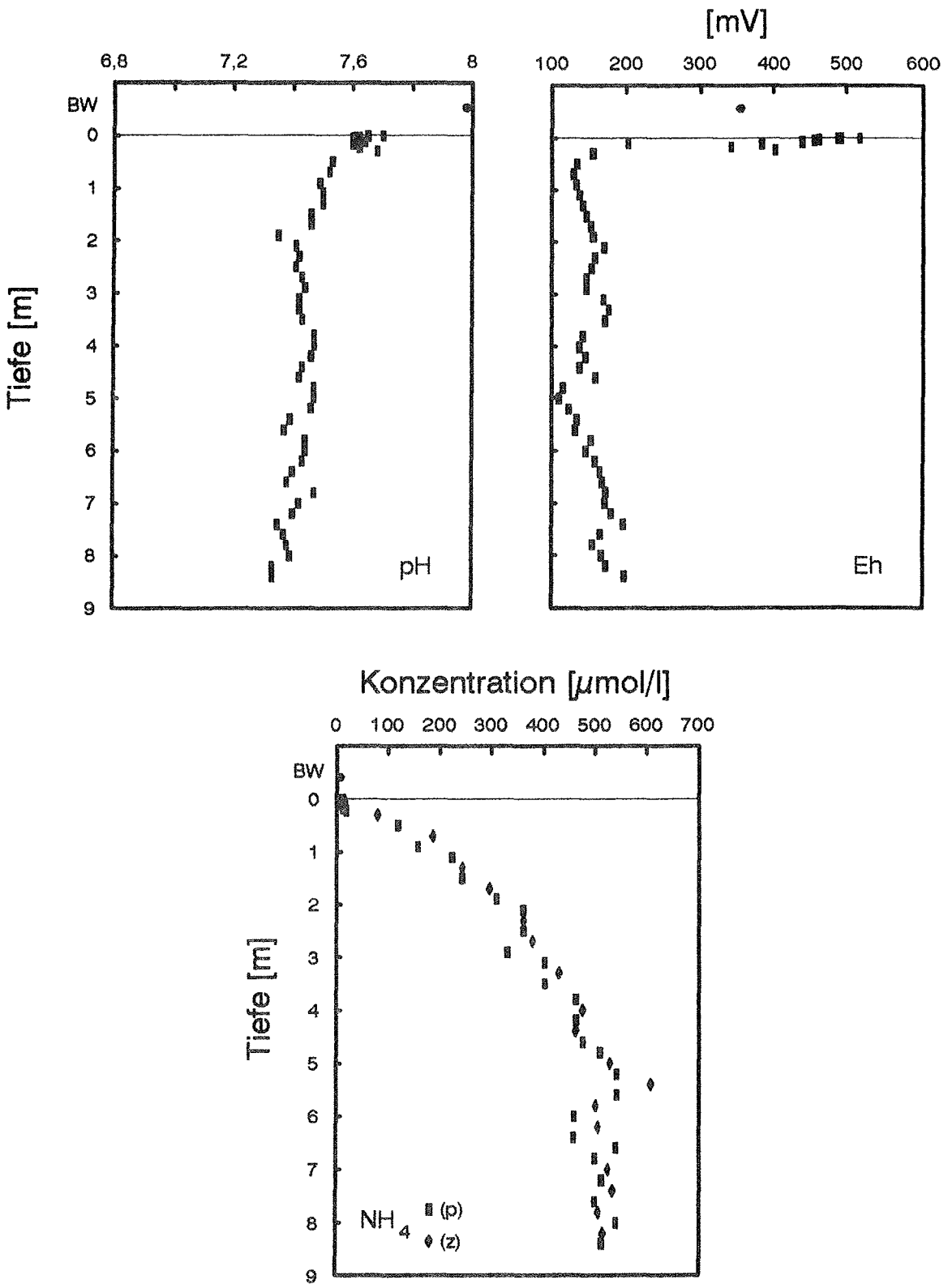


Abb. 90: Poren- und Bodenwasser Konzentrationsprofile der Station GeoB 1701.
(Probengewinnung: 'p'= durch Pressen, 'z' = durch Zentrifugieren)

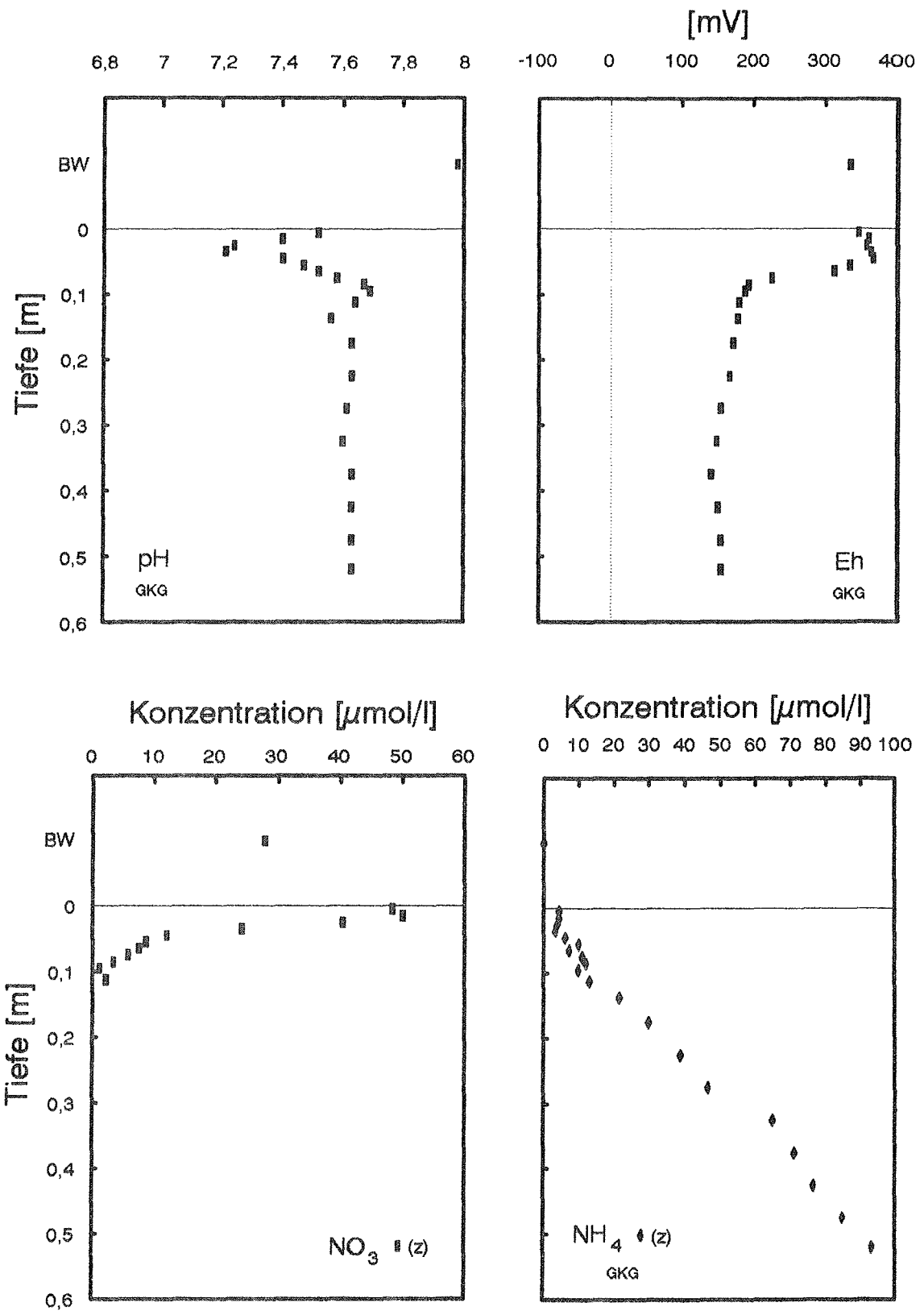


Abb. 91: Poren- und Bodenwasser Konzentrationsprofile der Station GeoB 1702.
(Probengewinnung: 'p' = durch Pressen, 'z' = durch Zentrifugieren)

Mineralisationsprodukte PO_4^{3-}, NH_4^+ und der Alkalität gekennzeichnet (Abb. 92, 93). Dabei ist ab einer Sedimenttiefe von ca. 10 m eine Versteilung der Konzentrationsgradienten (insbesondere von PO_4^{3-} und der Alkalität) zu beobachten. Diese Veränderung der Konzentrationsgradienten korreliert gut mit dem starken Anstieg der Sulfidkonzentration unterhalb dieser Tiefe. Nach unseren bisherigen Vorstellungen müßte unterhalb dieser Zone auch die Sulfatkonzentration im Porenwasser deutlich abnehmen und oberhalb dieser Zone einen wesentlich geringeren Konzentrationsgradienten aufweisen. Für Kerne mit ähnlichen Konzentrationsprofilen postulieren wir eine S^{2-} Reoxidation zu SO_4^{2-}, ohne jedoch eine ausreichende Menge von geeigneten Festphasenproben zu besitzen, um unsere Hypothesen zu den entsprechenden Prozesse durch z.B. sequentielle Aufschlüsse überprüfen zu können. Mit diesem Kern und insbesondere Kernen vom Benguela-Auftriebsgebiet stehen jedoch nun eine hoffentlich ausreichende Anzahl von entsprechenden Festphasenproben zu Verfügung.

Ein Vergleich der Porenwasserprofile zwischen der Station GeoB 1702 und der oben schon erwähnten Station GeoB 1008 zeigt trotz prinzipiell ähnlicher Porenwasserprofile interessante Unterschiede. So besitzt der längere Kern (14,75 m) von Station 1008 bei gleicher Sedimenttiefe deutlich geringere PO_4^{3-}, NH_4^+-Konzentrationen und Alkalitäten als der kürzere Kern (12,07 m) von der Station GeoB 1702. Zur Zeit kann aufgrund fehlender stratigraphischer Informationen nicht beurteilt werden, inwieweit eine Kernstauchung bei der Probenahme als Ursache für diesen ungewöhnlichen Befund anzunehmen ist. Die oben beschriebene Versteilung der Konzentrationsgradienten läßt sich jedoch unserer Meinung nach nicht allein auf eine Kernstauchung zurückführen. Erstens weist das NH_4^+-Profil keinen entsprechenden "Knick" auf, und zweitens erscheint uns auch der aus den Konzentrationsgradienten abschätzbare, potentielle Stauchbetrag von mehr als 4 m bei einer gesamten Kernlänge von 12 m sehr hoch.

Station GeoB 1703

Auf der Station GeoB 1703 im Einflußbereich des Kunene wurden ein Multicorer-, ein Großkastengreifer- und zwei Schwerelotkerne geochemisch bearbeitet. Diese Station lag ca. 30 km nördlich von der Station GeoB 1023 (M 6/6), die ein sehr interessantes Porenwasserprofil aufwies, von der aber leider keine unter Argonatmosphäre entnommenen und gelagerten Sedimentproben existieren.

Die NO_3^-- und NH_4^+-Konzentrationsprofile belegen für den obersten cm die Lage der Denitrifikationszone. Nach den Bodenwasserdaten wäre es sogar denkbar, daß ein Teil der Nitrifikationsprozesse oberhalb der Sedimentoberfläche innerhalb der Wassersäule abläuft. Dementsprechend niedrig ist auch die Sauerstoffeindringtiefe (Kap. 4.10.), was ebenfalls auf sehr hohe Umsatzraten in diesen Sedimenten aus den nördlichen Bereichen des Benguela-Auftriebs deutet. Der NH_4^+-

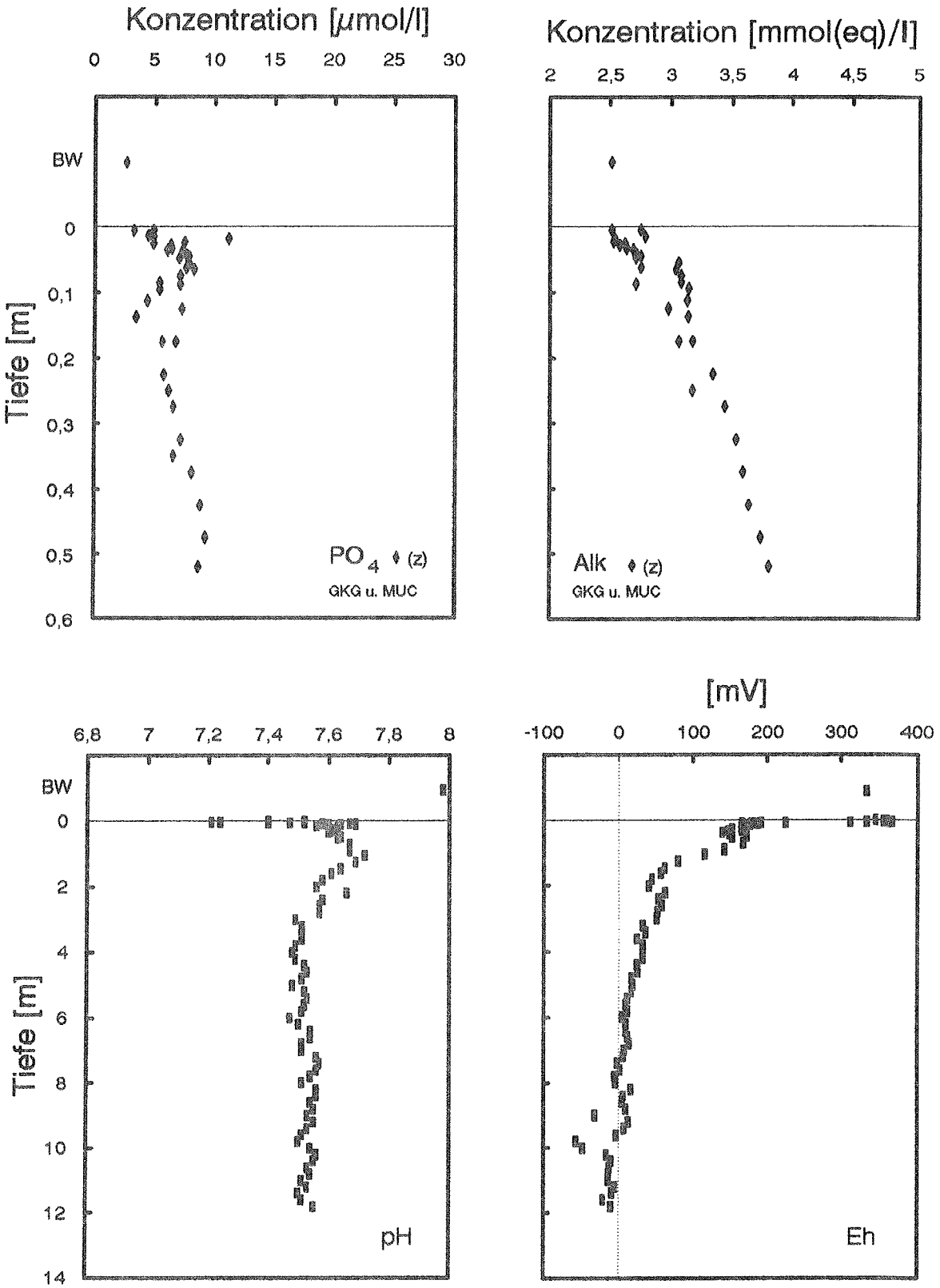


Abb. 92: Poren- und Bodenwasser Konzentrationsprofile der Station GeoB 1702.
(Probengewinnung: 'p'= durch Pressen, 'z' = durch Zentrifugieren)

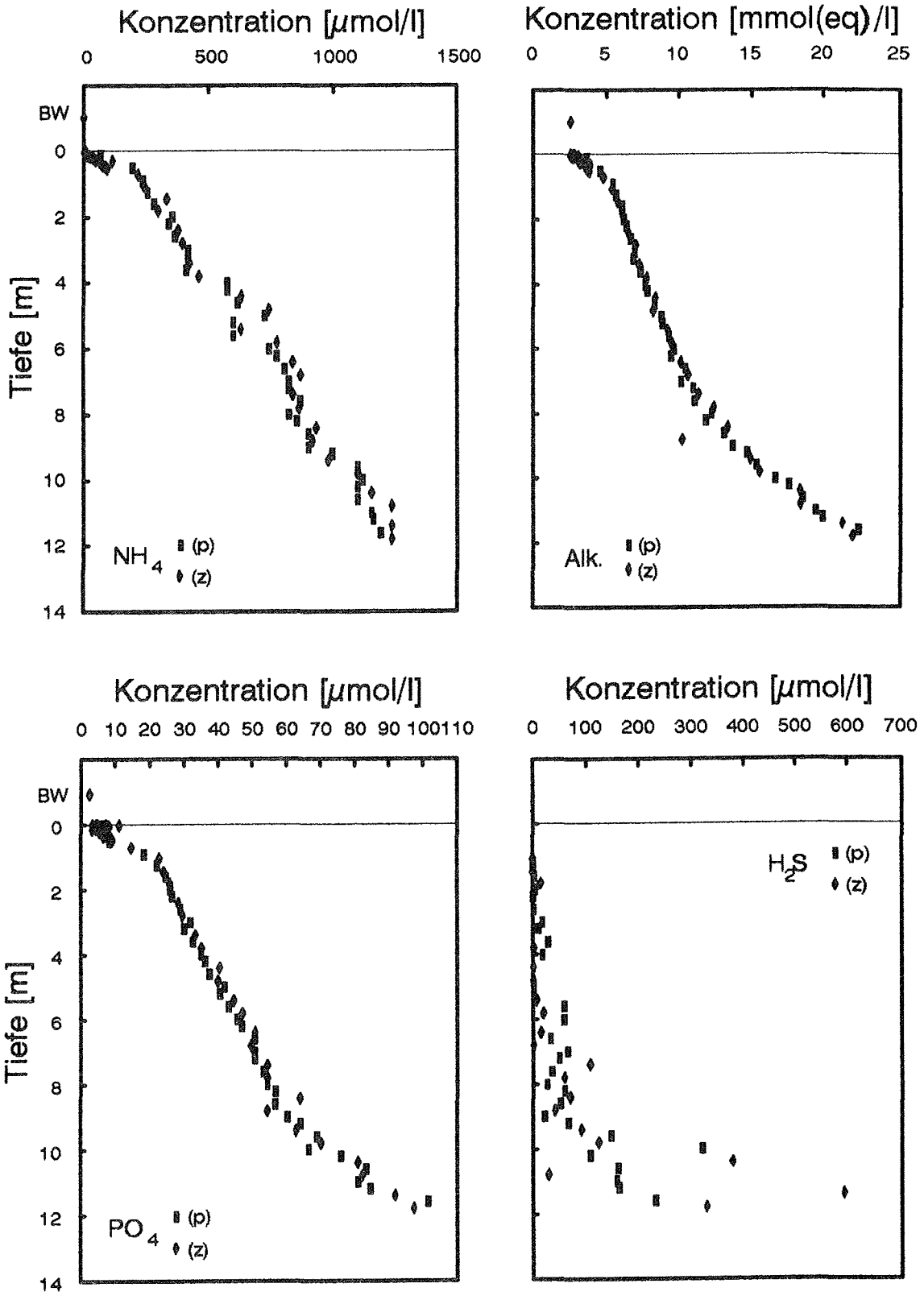


Abb. 93: Poren- und Bodenwasser Konzentrationsprofile der Station GeoB 1702.
(Probengewinnung: 'p' = durch Pressen, 'z' = durch Zentrifugieren)

Konzentrationsgradient belegt einen großen Fluß in die obersten cm dieser Sedimente, wo NH_{4+} wahrscheinlich durch O_2 wieder zu N_2 oder zu NO_3^- reoxidiert wird. Die Phosphatkonzentrationsprofile zeigen in den obersten 5 cm zwei Maxima, die von der Lage her möglicherweise die Reduktionszone von Mn(IV)-Oxidhydraten und Fe(III)-Oxidhydraten, als bedeutende PO_4^{3-}-Adsorbenten kennzeichnen. Interessant ist weiterhin, daß trotz der hohen Umsatzraten in diesen Sedimenten sich oberflächennah keine signifikanten Alkalitätsgradienten ausbilden. Möglicherweise spielen hierbei Prozesse wie der Aufbau von neuem organischen Material, Karbonatfällungs- und Lösungsprozesse und/oder eine stark verminderte Freisetzung von HCO_3^- bei der Oxidation (z.B. bedeutende Reoxidation von anorganischen reduzierten Spezies) eine Rolle.

Überraschende Konzentrationprofile im Porenwasser zeigten die Schwerelotkerne dieser Station. Nach den Ergebnissen der 34 km nördlich gelegenen Station GeoB 1023 wurden sehr hohe Konzentrationen und starke Konzentrationsgradienten der Alkalität und von PO_4^{3-}, NH_4^+ und H_2S im Porenwasser erwartet. Beide Schwerelotkerne zeigten jedoch für C_{org}-reiche Sedimente aus biologischen Hochproduktionsgebieten nur geringe Konzentrationsgradienten, die zudem zwischen den beiden Schwerelotkernen dieser Stationen variierten. Die erwarteten großen Konzentrationsgradienten deuten sich allenfalls im untersten Meter des Schwerelotkernes GeoB 1703-7 an. Für eine weitere Beurteilung dieser Kern sollten stratigraphische Untersuchungen sowie die während der Stationsarbeit erstellte HYDROSWEEP-Karte herangezogen werden.

Profil A

Auf dem Profil A wurden die Stationen GeoB 1704 (SL, GKG), GeoB 1706 (GKG) und GeoB 1708 (Kastengreifer von ELINOR) geochemisch bearbeitet. Es zeigte sich in diesem Profil wie erwartet, daß mit zunehmender Wassertiefe und damit zunehmender Entfernung vom Auftriebsgebiet die Umsatzraten der frühdiagenetischen Prozesse abnahmen. Leider sind die Sedimente an der flachsten Station GeoB 1704 (400 m WT) z.T. noch sehr grobkörnig (grober Muschelschill), so daß die Porenwassergewinnung schwierig war. Deswegen wurde an dieser Station, wie auch an anderen Stationen auf den Profilen B, C und D mit ähnlich geringer Porenwasserausbeute, auf die NH^{4+}-Bestimmung verzichtet.

Die Station GeoB 1704 ist geprägt durch sehr hohe Umsatzraten an der Sedimentoberfläche. So ist Nitrat innerhalb der obersten 5 mm zur Hauptsache abgebaut, entsprechend gering ist auch die O_2-Eindringtiefe. Unterhalb dieser Nitratreduktionszone bestehen große PO_4^{3-}-Gradienten, die sowohl einen bedeutenden PO_4^{3-}-Fluß zur Oberfläche als auch etwas geringeren PO_4^{3-}-Fluß in einen Bereich um 12 cm Sedimenttiefe belegen. Der oben skizzierte Verlauf der Phosphatkonzentrationen im Porenwasser konnte auch auf den anderen Profilen an den flacheren Stationen (GeoB 1706,

GeoB 1711, GeoB 1712, GeoB 1713, GeoB 1719, GeoB 1720 und GeoB 1721) beobachtet werden und erscheint uns typisch für die Sedimente im Benguela-Auftrieb. Interessanterweise besitzen diese Sedimente auch häufig bedeutende Mengen an Phosphoriten, und wir hoffen, in Verbindung mit Sedimentanalysen eventuell die heutigen Bildungsraten von Phosphoriten abschätzen zu können.

Die Konzentrationsprofile des Schwerelotkernes zeigen die erwartete Zunahme der Alkalität mit der Tiefe, wobei die Gesamtkonzentration für derart C_{org}-reiche Sedimente niedrig ist. Nach der Alkalität ist nicht zu erwarten, daß die Sulfatreduktionszone vollständig mit diesem Kern durchteuft wurde. Die Phosphatkonzentrationen bilden zwischen 1-2 m ein zweites Maximum, das uns von entsprechend C_{org}-reichen Kernen aus anderen Gebieten nicht bekannt ist. Möglicherweise können sich auch hier in Verbindung mit Sedimentanalysen interessante Daten für Phosphoritneubildungsraten ergeben.

Auch für die Station GeoB 1706 sind relativ hohe frühdiagenetische Umsatzraten nach dem steilen Verlauf der Nitratgradienten zu erwarten. Im Prinzip ähnelt diese Station im geochemischen Milieu sehr der Station GeoB 1704, wenn auch an dieser tieferen Station geringere Umsätze stattfinden.

An der Station GeoB 1708 konnte wegen des Ausfall des Schiebebalkens nur das Sediment im Kastengreifer von ELINOR beprobt werden. Es ergaben sich dabei ausgesprochen interessante Konzentrationsprofile, die deutlich den immer schwächer werdenden Einfluß des Auftriebgeschehens für diese Sedimente belegen. Noch nicht vollständig verstanden ist dabei zur Zeit das ausgeprägte NH_4^+-Maximum innerhalb der Nitratreduktionszone. Da ähnliche NH^{4+}-Konzentrationsprofile noch bei verschiedenen Stationen (GeoB 1710, GeoB 1715, GeoB 1720, GeoB 1721, GeoB 1722) in den Profilen B und C auftreten, ist eine Kontamination dieses Probenmaterials als Ursache für diese Profile eher unwahrscheinlich.

Profil B

Auf dem Profil wurden die Stationen GeoB 1710 (GKG), GeoB 1711 (GKG, MC, SL), GeoB 1712 (MC, SL) und GeoB 1713 (MC, SL) geochemisch bearbeitet. Aufgrund der relativ geringen Zeitabstände zwischen den einzelnen Stationen auf diesem Profil, konnte der Schwerelotkern der Station GeoB 1713 erst nach mehreren Tagen untersucht werden und weist deshalb, trotz kühler Lagerung, einen möglicherweise schon veränderten Porenwasserchemismus auf.

Das Profil B quert den zentralen Teil des heutigen Benguela-Auftriebgebietes, so daß alle Kerne durch hohe frühdiagenetische Umsatzraten gekennzeichnet sind. Auch zeigt sich natürlich, daß die

flachen Stationen die höchsten frühdiagenetischen Umsatzraten aufweisen. Zum einen wird mit zunehmender Entfernung von der Küste der Auftrieb des Benguela-Stromes und damit auch die biologische Produktivität geringer, zum anderen wird mit zunehmender Tiefe die Mineralisation in der Wassersäule immer bedeutender, so daß eine geringere Menge reaktiver, organischer Substanz zur Sedimentoberfläche gelangt. Die geringsten frühdiagenetischen Umsätze sind nach Lage der Nitrifikationszone so auch bei der Station GeoB 1710 zu beobachten, obwohl das Nitratprofil wahrscheinlich durch Kontamination durch die Nylon-Filter (Kap. 4.9.2) beeinflußt ist. Die Nitratprofile der anderen Stationen auf diesem Profil belegen nur noch die Nitratreduktion in den obersten cm der Sedimente (z.B. Abb. 94), wobei die Befunde gut mit den O_2-Eindringtiefen korrelieren (Kap. 4.10.). Die PO_4^{3-}-Konzentrationsprofile dieser Stationen weisen alle die zuvor schon beschriebenen großen Gradienten in den obersten cm auf und lassen auch interessante Daten in Bezug auf etwaige Phosphorit-Neubildungen erwarten (Abb. 95).

Die Schwerelotkerne der Stationen GeoB 1711 (Abb. 96) und GeoB 1712 weisen Konzentrationsprofile für die Mineralisationsprodukte auf, die nach unserer Meinung typisch sind für die Auftriebssedimente im östlichen Südatlantik. Im Prinzip ähneln diese Profile den zuvor beschriebenen Konzentrationsprofilen von Station GeoB 1702. Die maximalen Konzentrationen z.B. von der Alkalität erreichen an diesen beiden Stationen jedoch nicht so hohe Werte, wie an anderen Stationen (GeoB 1401, Kongo-Mündungsbereich oder GeoB 1023, Kunene-Mündungsbereich), die nicht zentral im Hauptauftriebsgebiet liegen. Der Profilverlauf ist durch einen oberen Bereich gekennzeichnet, in dem nur geringe Konzentrationsgradienten auftreten. Unterhalb dieses Bereiches ist eine starke Versteilung der Konzentrationsgradienten zu beobachten, wobei der Ort der Gradientenänderung stets auch mit einem starken S^{2-}-Eintrag verbunden ist. Da für diese Kerne sicherlich ein stationärer Zustand angenommen werden kann, müssen die großen Gradientenänderungen Quellen- bzw. Senkenprozesse repräsentieren. Wir hoffen, durch Analyse der hier gewonnenen Sedimentproben entsprechendes Datenmaterial zu erhalten, um diese Prozesse quantifizieren zu können.

Profil C

Im Profil C, das den südlichen Randbereich des Benguelastrom-Auftriebgebietes quert, wurden die Stationen GeoB 1716 (MC), GeoB 1719 (MC, SL), GeoB 1720 (MC, SL), GeoB 1721 (MC, SL), GeoB 1722 (MC) und 1724 (MC) geochemisch untersucht. Im Prinzip gelten für diese Stationen die gleichen Aussagen, wie sie für die Stationen der Profile A und B bisher schon mehrfach genannt wurden. In den Abbildungen 97 bis 99 sind als Beispiel für diese geochemischen "Typen" die Konzentrationsprofile der Station GeoB 1721 dargestellt. Die Raten der frühdiagenetischen Prozesse erscheinen in den tieferen Kernbereichen für dieses Profil etwas geringer zu sein, als für vergleichbare

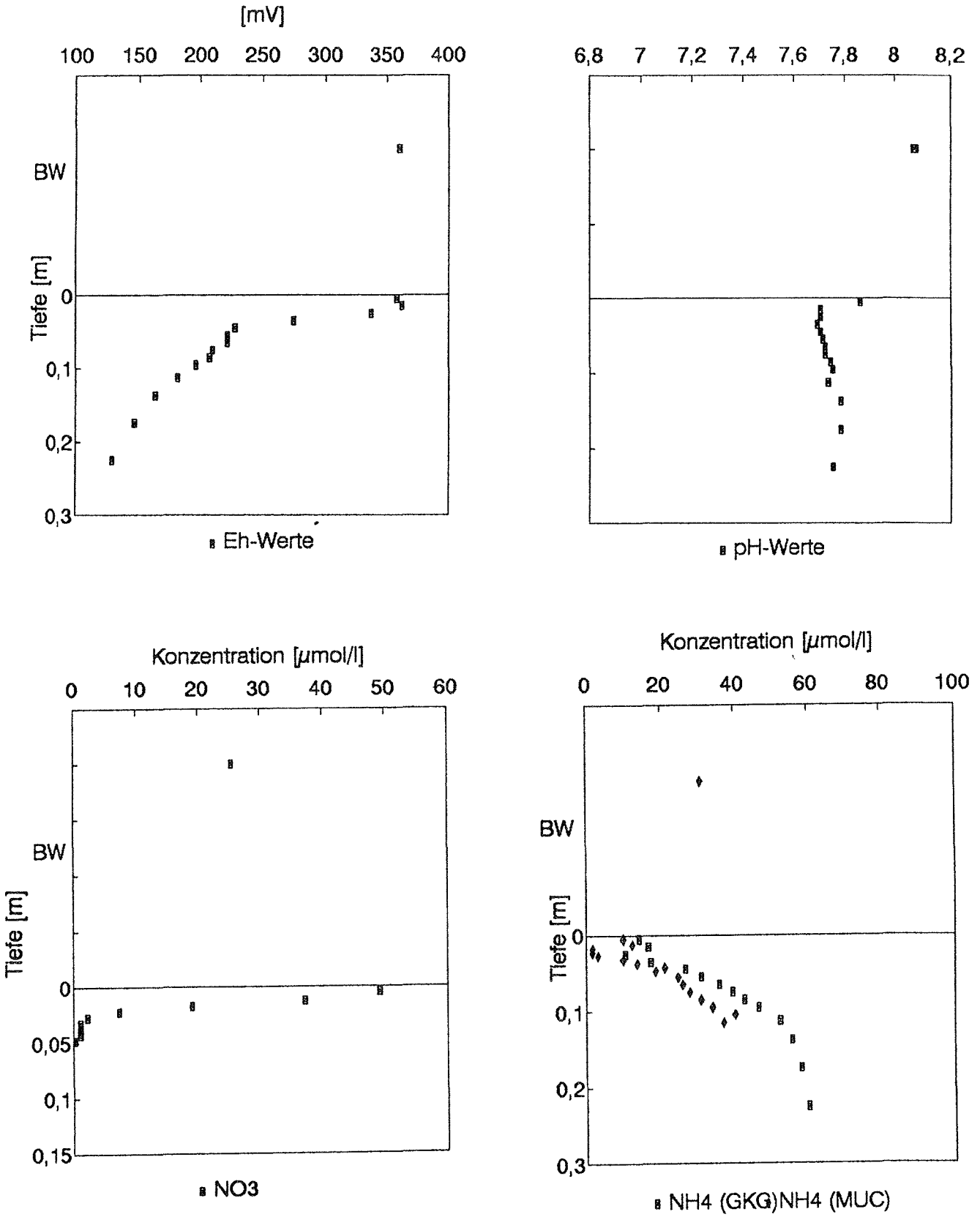


Abb. 94: Poren- und Bodenwasser Konzentrationsprofile der Station GeoB 1711.

GeoB 1711

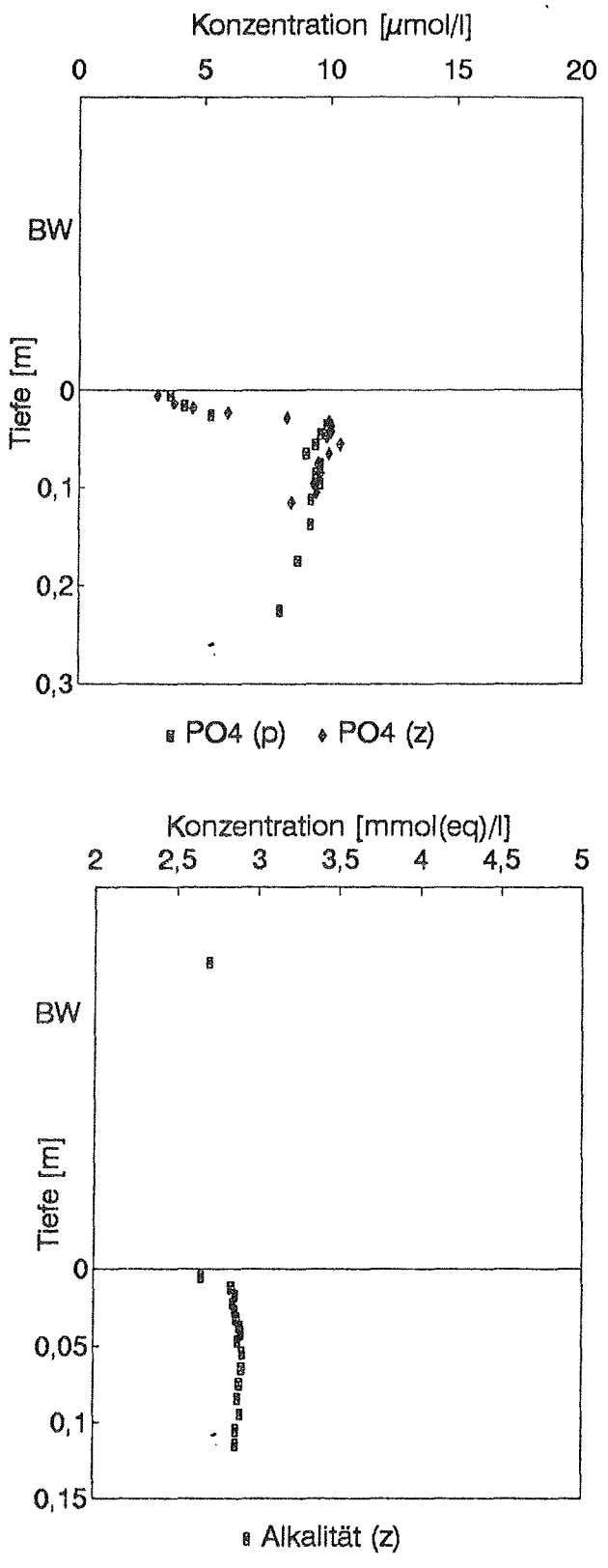


Abb. 95: Poren- und Bodenwasser Konzentrationsprofile der Station GeoB 1711.

GeoB 1711

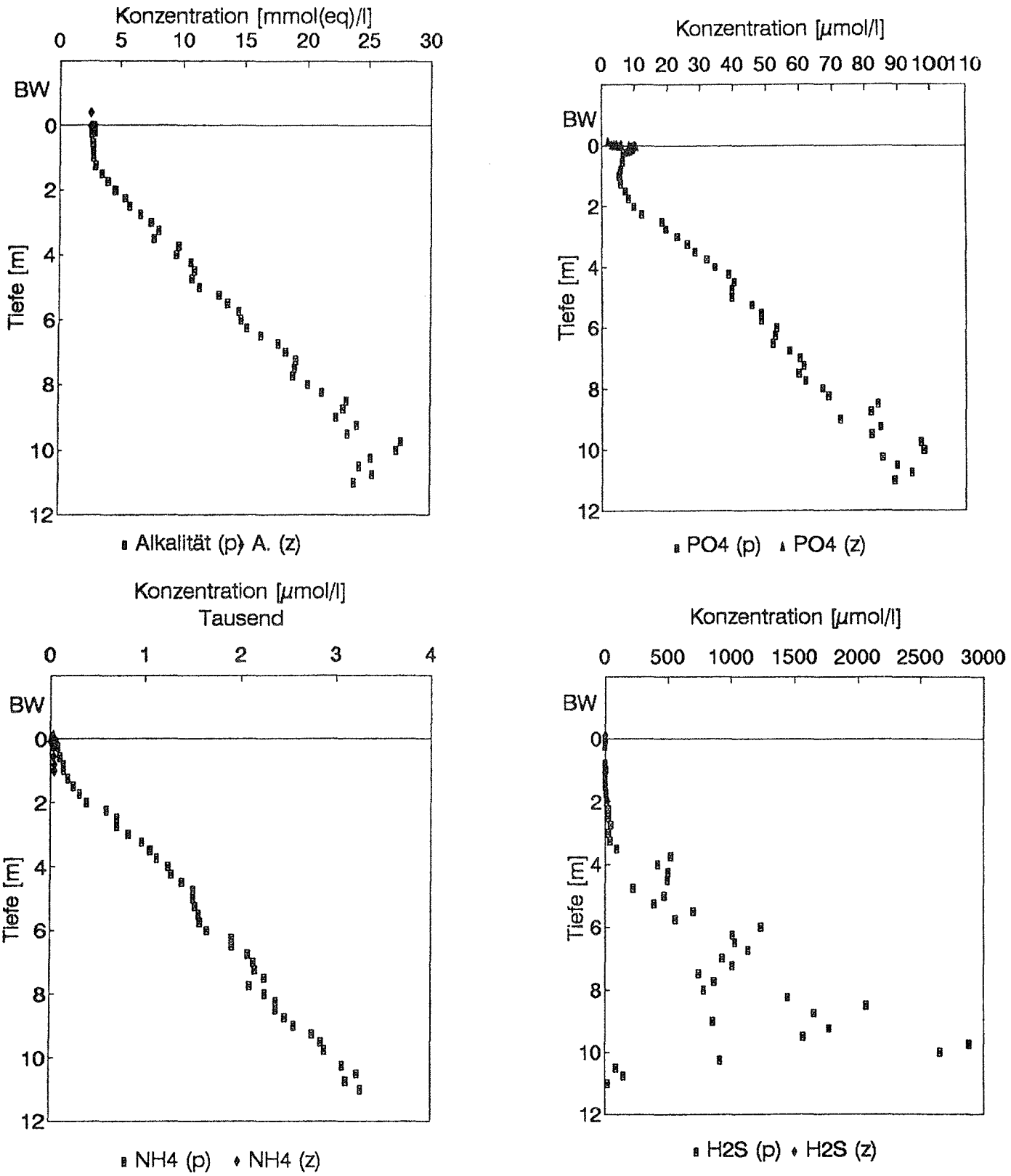


Abb. 96: Poren- und Bodenwasser Konzentrationsprofile der Station GeoB 1711.

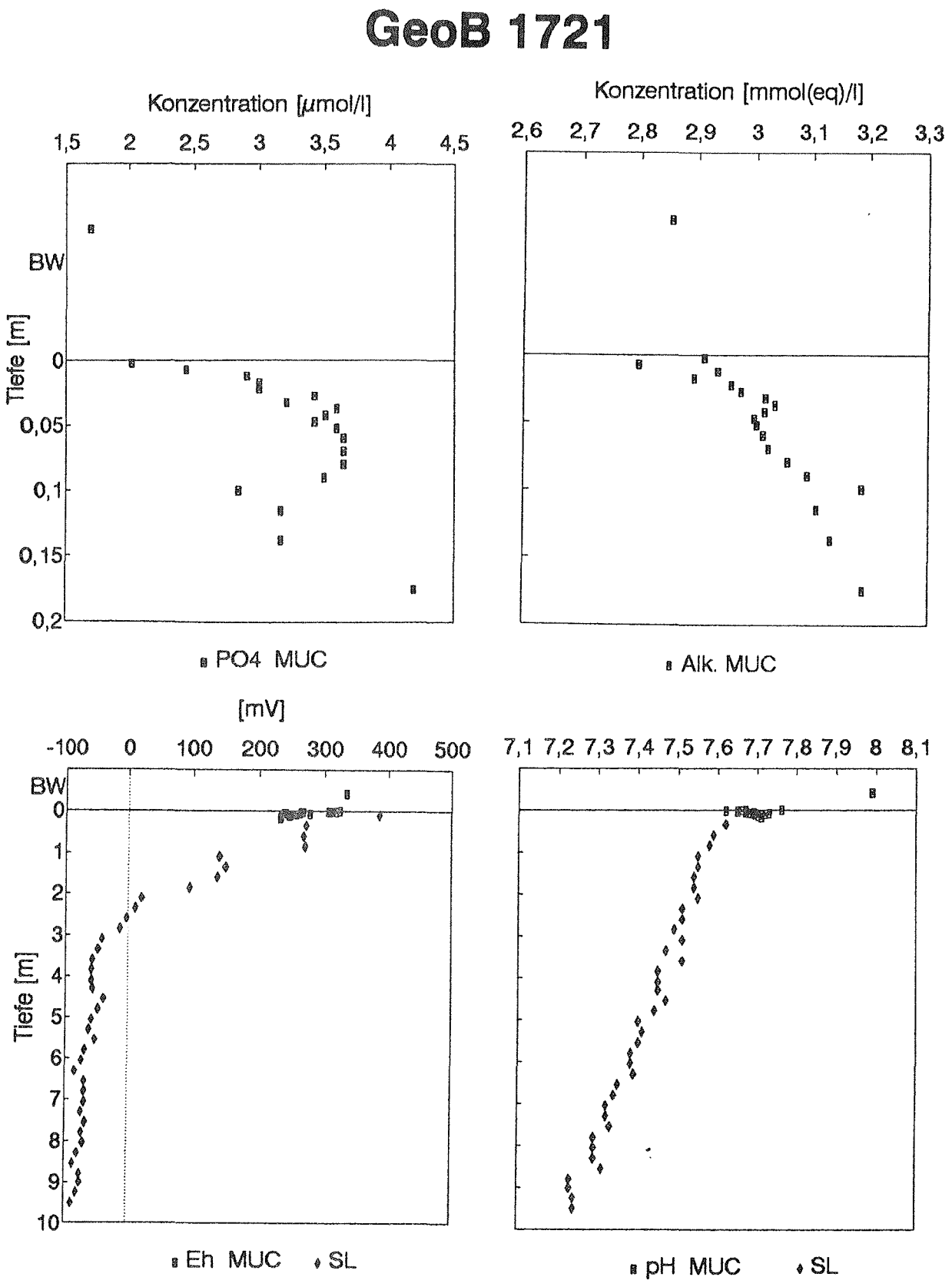


Abb. 97: Poren- und Bodenwasser Konzentrationsprofile der Station GeoB 1721.

GeoB 1721

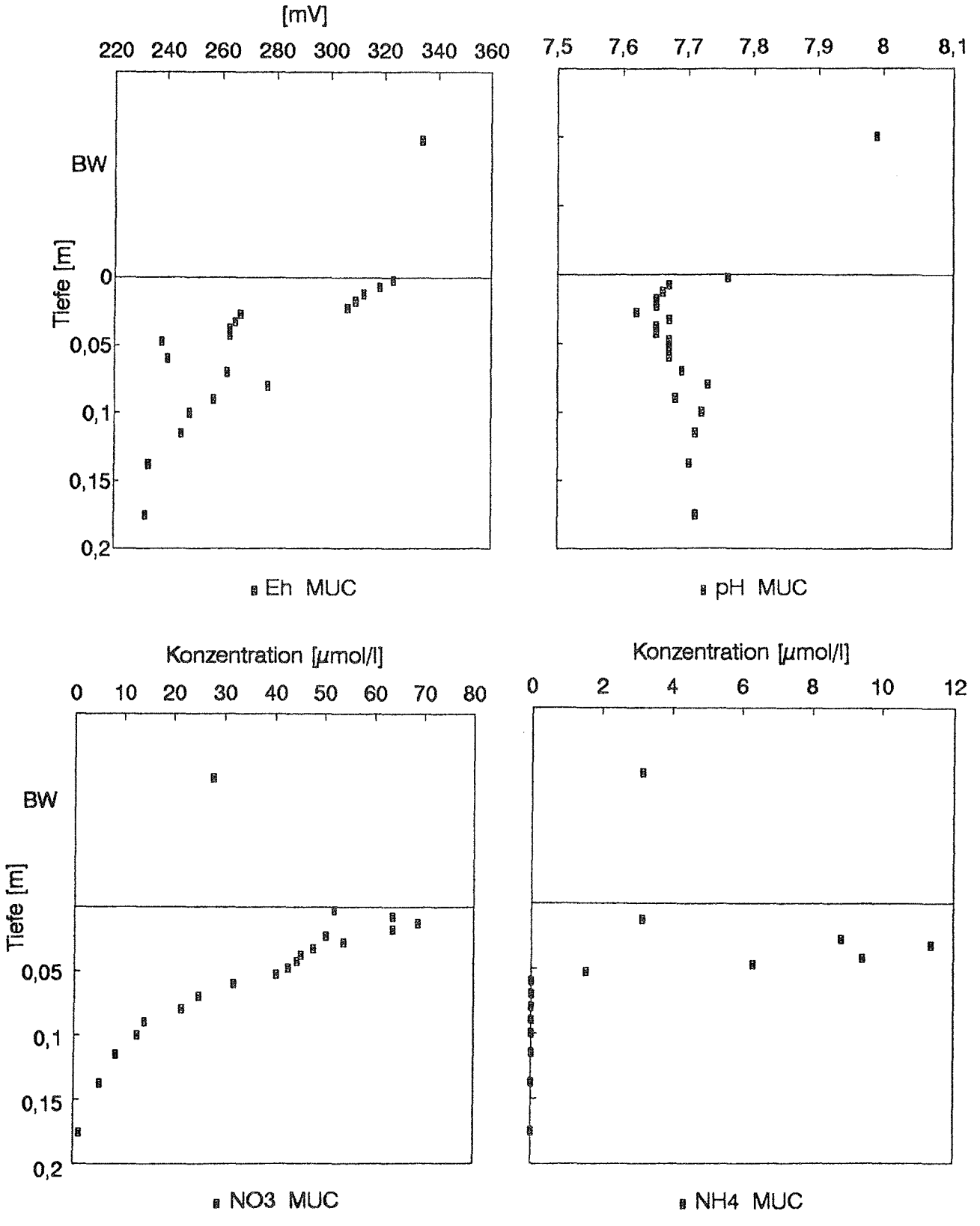


Abb. 98: Poren- und Bodenwasser Konzentrationsprofile der Station GeoB 1721.

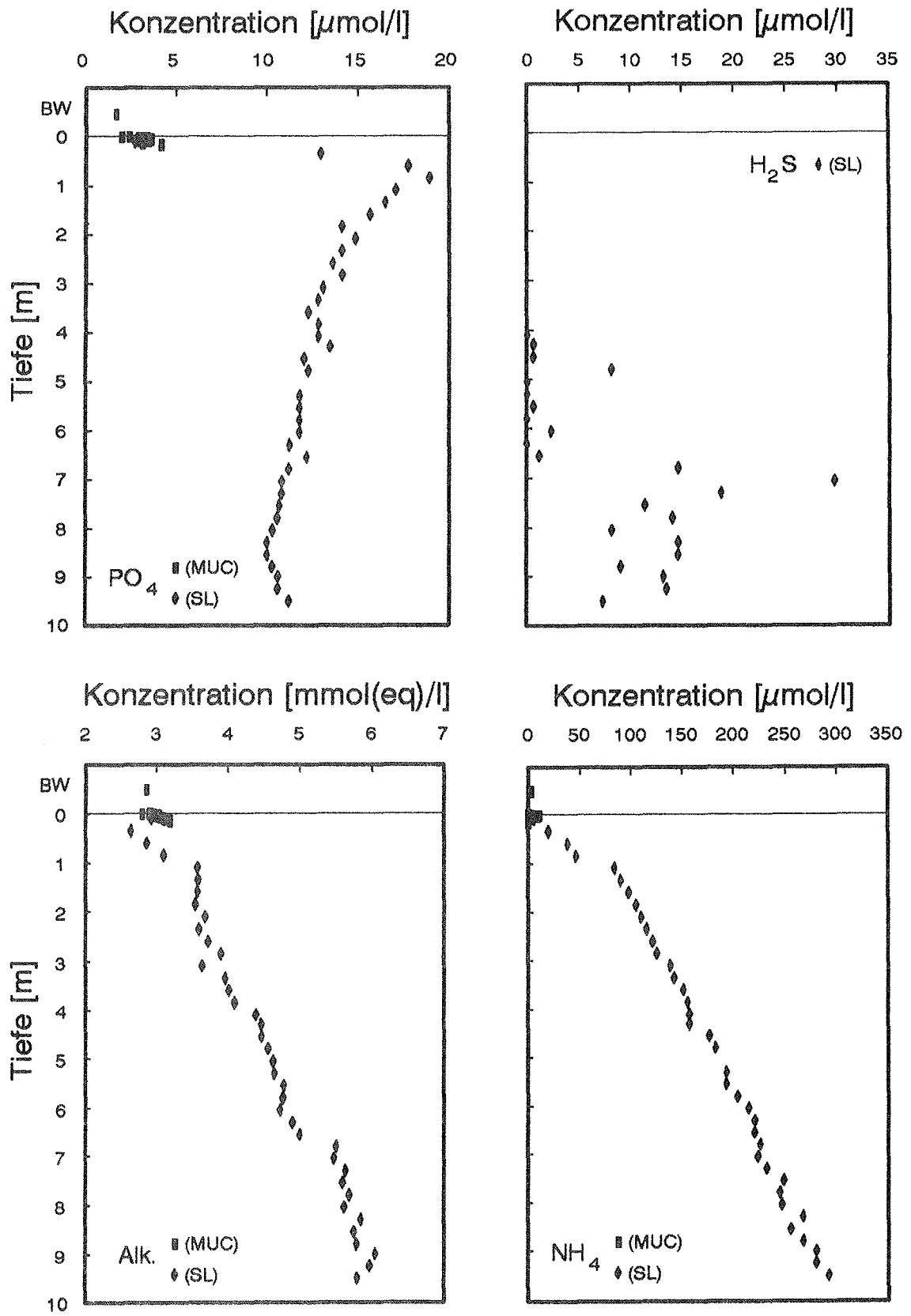


Abb. 99: Poren- und Bodenwasser Konzentrationsprofile der Station GeoB 1721.
(Probengewinnung: 'p'= durch Pressen, 'z' = durch Zentrifugieren)

Stationen auf dem Profil B. Eine vollständige Auswertung der Umsatzraten steht jedoch noch aus. Möglicherweise steht dieser Befund mit der etwas randlicheren Lage zum Hauptauftriebsgebiet in Verbindung.

Eine Ausnahme bildet lediglich die Station GeoB 1724 (Wassertiefe: 5102 m), deren geochemisches Milieu typisch ist für Tiefseeton. So sind z. Bsp. im Nitratprofil keine signifikanten Gradienten zur Tiefe zu erkennen, was die sehr geringen Umsatzraten in diesen Sedimenten anzeigt.

Profil D

Vom Profil D wurden die Stationen GeoB 1726 (MC), GeoB 1728 (MC) und Geob 1729 (MC, GKG) untersucht. Aufgrund des verdichteten, stark sandigen Sedimentes (GeoB 1726, GeoB 1728) konnten nur sehr geringe Porenwassermengen gewonnen werden, die z.T. selbst für einen reduzierten Analysenumfang nicht ausreichten und deshalb allenfalls Abschätzungen des Stoffflusses ermöglichen. Lediglich von den Sedimenten der Station GeoB 1729 konnten ausreichende Mengen Porenwasser extrahiert werden, jedoch auch hier zeigen die Analysendaten zum Teil große Streuungen. Nach den stark streuenden, aber insgesamt relativ hohen NO_3^--Konzentrationen ist davon auszugehen, daß die frühdiagenetischen Umsatzraten nur gering sind.

4.10 Biogeochemistry: Oxygen and pH-measurements in the sediment

(R.N. Glud, J.K. Gundersen)

4.10.1 Background

Oxygen plays an absolutely key role in the mineralization of organic material in the sediment. Since oxygen is the best electron acceptor available, it is the first oxidator to be depleted in a sediment profile. The oxygen is consumed partly by heterotrophic processes mediated by microorganisms or by the benthos, and partly by the reoxidation of solutes that have been active in redox processes or have been released in deeper parts of the sediment. The oxidation of such substances as sulfide, ammonia, reduced manganese and iron conplexes, etc., can be both biologically and chemically mediated.

The oxygen transport to the sediment can be expressed in terms of two processes using a simple equation:

Total oxygen transport = Benthos mediated transport + Diffusive transport

The total oxygen consumption (TOT) simply refers to the rate at which oxygen is transported to the sediment. Benthos mediated transport (BET) is the part of the oxygen consumption that is related to the activities of animals living in the sediment or on the seafloor; for example, the pumping of oxygenated water into the sediment by tube-living polychaets. The diffusive transport (DIT) is the amount of oxygen transported to the sediment by simple diffusion. From measurements of TOT and DIT it is possible to derive an estimate of BET.

In an open body of water, phase turbulence results in an equal distribution of solutes. Near the sediment surface, however, viscous forces of the water along with adhesion result in the presence of a more or less stagnant film of water called the diffusive boundary layer (DBL) , as solutes are transported through this layer by diffusion. In other words, very close to the sediment surface the transport of oxygen will be dominated by diffusion.

4.10.2 Methods

Since the consumption of oxygen takes place in the uppermost part of the sediment, and since the oxygen profile is very sensitive to changes, it is absolutely necessary to work with an undisturbed sediment surface under in-situ conditions.

The cores from this cruise were taken with a multicorer. After recovery (10-50 min) the cores were placed in a water bath under in-situ conditions (meaning in-situ temperature, salinity, pH and oxygen concentration). The in-situ pH and the in-situ oxygen content were measured in the water phase overlying the sediment in the recovered cores. Temperature was measured by the lander ELINOR. The values were compared to the CTD-data, which also gave us the correct salinity. In each core we placed a small rotating magnet to mimic the natural waterflow. The cores were left to equilibrate in the water bath until a steady-state oxygen profile was established.

To measure TOT the water volume above the sediment was isolated using a gas-tight stopper. A small hole in the stopper allowed an oxygen microelectrode to be placed in the water phase. The hole was filled with paraffin oil which, due to its high viscosity, acted as a barrier to the oxygen between the water and the surroundings. In addition, gas-tight PVC tape was wrapped around the cores to prevent the exchange of oxygen through the plexiglas tubes. The electrode in the water then continuously measured the decrease of the oxygen concentration in the isolated water volume. From time to time the electrode was moved into the surrounding water bath to test for drift. The oxygen concentration in the cores was allowed to decrease 10-15% before measurement procedure was halted.

After measuring TOT, the stopper was removed and the DIT was determined, using oxygen profiles measured by the microelectrode. The electrode was moved in small steps (50-100 μm) through the water phase, the DBL, and into the sediment to a depth where oxygen was no longer detectable. This was accomplished automatically using a small-stepping motor and a computerized system for the data collection. From such profiles it is possible to determime DIT, the oxygen penetration depth and the oxygen consumption rate in different layers of the sediment (see later section).

The electrodes had a 90% response time of less than 1 sec and a stirring effect less than 1%. In some cores pH profiles were measured with pH microelectrodes using the same setup, but the spatial resolution was often less (0.2 - 1 mm).

After the measurements where completed, the sediment was investigated for faunal content and structures of biologic origin in order to relate biologic activity to the estimated BET (TOT-DIT). This was done by sieving the sediment through a 1 mm sieve. As a first attempt to quantify the degree of bioturbation, each station thus far investigated has been assigned to one of four categories, depending on the amount of faunal evidence observed (I: category with lowest activity; IV: category with highest activity).

On this cruise the oxygen transport was also measured in-situ using two landers: PROFILUR (Fig. 100) and ELINOR which, among other things, are able to determime DIT and TOT in situ. Both landers are capable of sinking independently through the water column and settling on the seafloor with a mimimum of disturbances to the sediment. There they conduct a preprogrammed series of measurements. After the measurements they drop their ballast and return to the surface, where they can be located by means of a radiotransmitter and a flash.

PROFILUR

When PROFILUR is resting on the sediment surface it begins to move a central cylinder stepwise (in 25-100 μm increments) down towards the sediment. Different sensors can be mounted on the cylinder: pH electrodes, sulfide electrodes, oxygen electrodes, resistivity probes, flow sensors, temperature sensors, etc. In this way PROFILUR can measure the chemical profiles and the physical environment just above and in the sediment without creating any disturbance. On this cruise the oxygen profiles were measured (Fig. 101).

ELINOR

In ELINOR, a titanium respiration chamber which is coated on the inside with a plastpolymer, is centrally located. When the instrument alights, the open chamber is inserted into the sediment, encompassing a cross-sectonal area of 894 cm^2. After a while a lid is closed isolating the water volume and the sediment. In the lid an impeller rotates creating a calibrated flow inside the chamber, partly

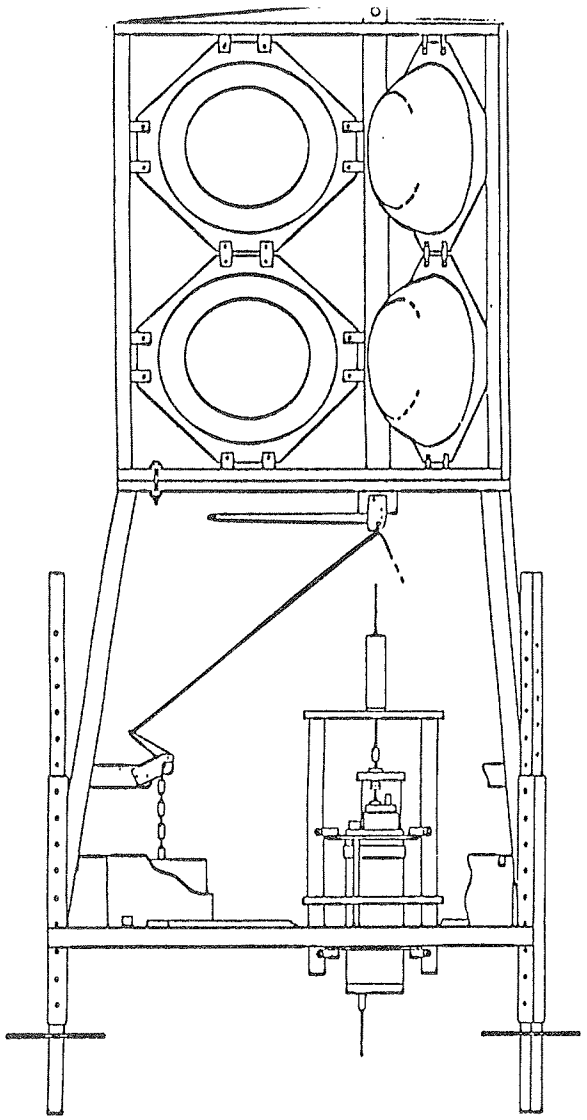


Fig. 100: PROFILUR, a lander system to measure oxygen transport in situ.

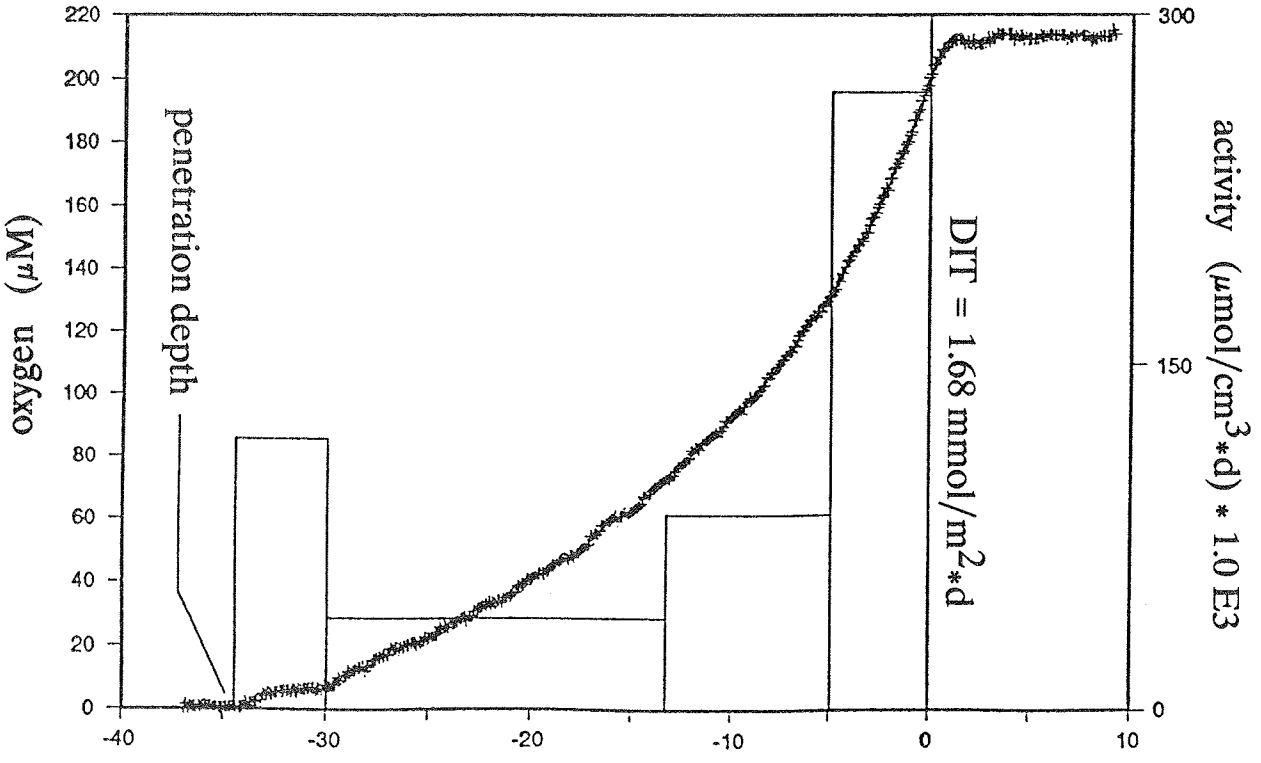


Fig. 101: Oxygen profile measured by PROFILUR.

to mix the water volume amd partly to stimulate a natural DBL. Two oxygen electrodes are also located in the lid, continuously measuring the oxygen concentration in the isolated water. From the rate at which oxygen is decreasing in the chamber (Fig. 102) it is possible to calculate the TOT. Water samples (up to 10·50 ml) are also taken from the chamber at a preprogrammed interval. These samples can be used to calibrate the electrodes and can be analyzed for any solute of interest. Therefore, the flux of any solute can be measured. After the measurements are taken, a scoop closes beneath the chamber, catching the sediment just before the ballast is dropped. The sediment can be further studied (for example, for any benthic activity) after the return of the lander.

Examples of measurements:

Figure 101 shows the kind of data which is obtained from an oxygen microprofile (measured at station 1702). DIT is calculated from the concentration gradient in the DBL. This is very simple because porosity is defined to be 1 and the diffusion coefficient of the water phase is known. In this case the DIT was 1.68 mmol/m^2·d. This calculation is only a one-dimensional calculation on a surface that must be described in three dimensions. The error resulting from this calculation depends upon the topography of the sediment surface, but in the type of sediments investigated on this cruise the error is probably negligible. The penetration depth of oxygen can be seen directly on the graph and in this case is 34 mm. By a fairly simple modelling process, it is further possible to calculate at what depth and at what rate the oxygen in the profile is consumed. In this case, four distinct layers of activity could be modeled (Fig. 101). It can be seen that the activity is highest in the upper part of the profile, where the newly-deposited material is of the best quality, and in the bottom of the profile, where reduced compounds are reoxidated. Integrated over the depth the total value is 1.49 mmol/m^2·d.

Figure 102 shows the direct measurements obtained by ELINOR on station 1702, and the times of the different actions of the lander are indicated. From the curve the TOT of the sediment is calculated to be 1.79 mmol/m^2·d. The mean diffusive uptake at this station was measured to be 1.55 ± 0.16 mmol/m^2·d leaving only about 0.24 mmol/m^2·d to be interpreted as BET. This is in good agreement with the fact that evidence of only minimal benthic activity was observed at this station (category I).

4.10.3 First results

We have worked on multicores from 13 stations; from 8 of these we have data from PROFILUR, while ELINOR has obtained data from 6 stations. Table 7 shows the rates of oxygen transport and

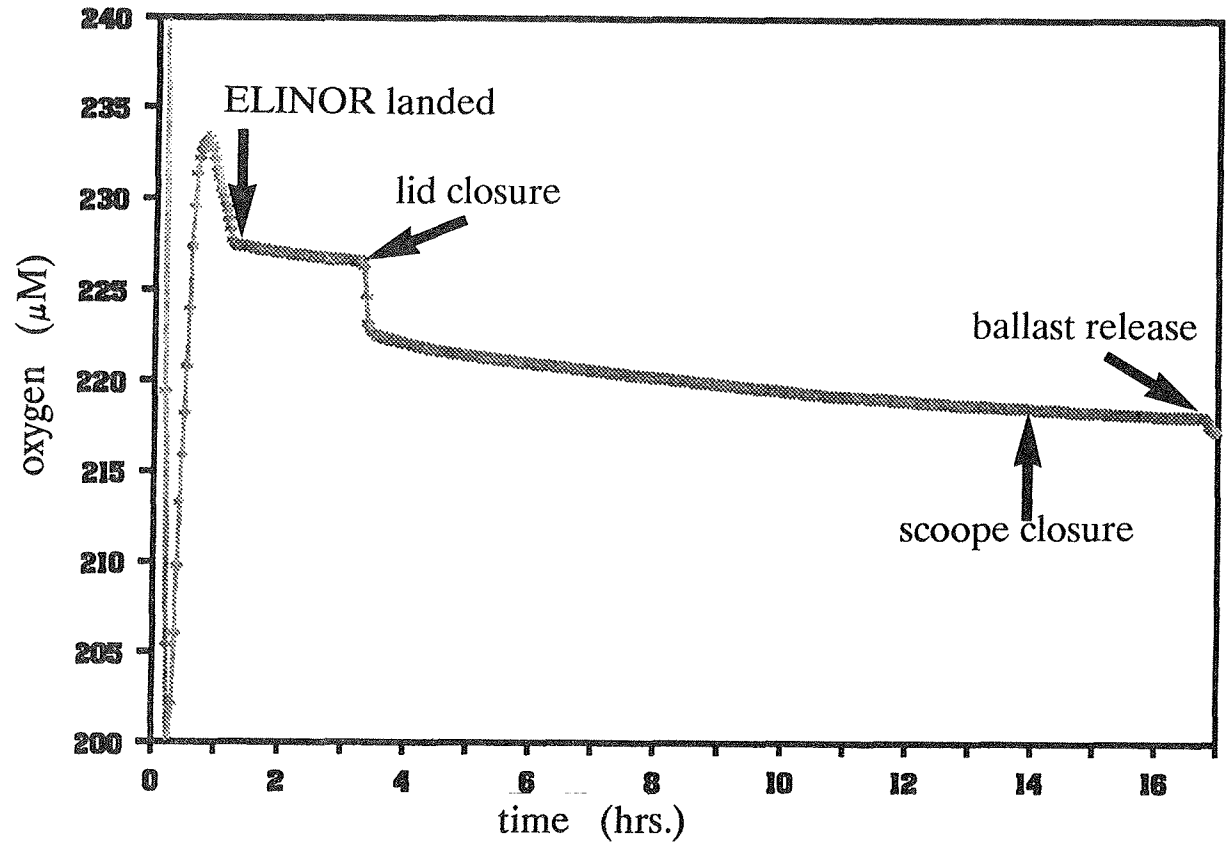


Fig. 102: Decrease of oxygen content in isolated water measured by ELINOR.

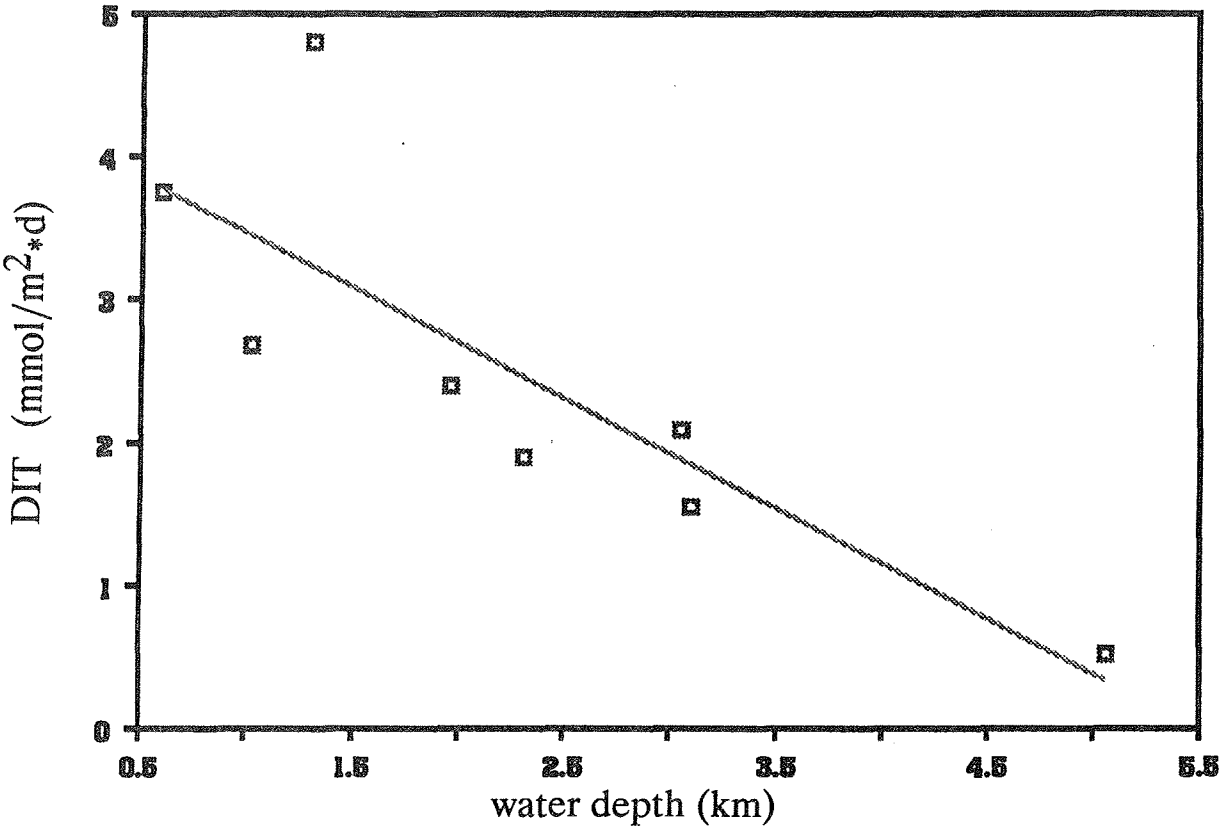


Fig. 103: Diffusive oxygen transport (DIT) measured in situ as a function of depth.

oxygen penetration depths that were measured in situ and in the lab for the 13 stations. Below some of our main results are presented and briefly discussed.

		IN SITU			IN LAB		
Station	Depth	DIT	TOT	Penetration	DIT	TOT	Penetration
1701	4163	-	-	-	3.59	-	16.2
1702	3100	1.55	1.79	33.0	2.55	3.59	26.7
1703	1300	4.80	15.53	10.0	7.18	12.91	8.6
1704	400	-	-	-	1.88	2.40	5.8
1708	2305	1.90	-	25.0	3.74	3.91	9.0
1711	1960	2.40	3.01	22.3	4.35	4.68	9.1
1712	992	-	-	-	5.34	5.56	6.9
1713	600	3.75	9.15	5.6	4.00	5.49	5.9
1719	1023	2.68	11.29	12.9	3.83	5.61	11.5
1720	2000	-	-	-	4.06	5.99	8.5
1721	3054	2.09	4.18	55.0	3.71	4.82	41.0
1722	4000	-	-	-	3.29	3.91	25.0
1723	5059	0.52	-	200.0	1.78	2.90	50.0

DIT = diffusive transport ($mmol/m^2 \cdot d$) TOT = total transport ($mmol/m^2 \cdot d$)
Penetration = Oxygen penetration depth (mm)

Table 7: Rates of oxygen transport and penetration depths.

Figures 103-105 show the DIT, TOT and the oxygen penetration measured in situ as a function of the water depth. There is obviously a general trend toward lower rates of oxygen uptake and deeper oxygen penetration with increasing depth. This is in accordance with the fact that less organic material reaches the seafloor at greater depths, and that which does is often of low quality (C/N ratio). Since some of the measurements were teaken in an upwelling area, one would expect a stronger correlation with the organic content of the sediment than with water depth. That comparison will be made when measurements of the organic content of the sediment are completed.

At all stations the TOT measurements of ELINOR (Fig. 105) are higher than the DIT measurements of PROFILUR. The difference is interpreted to be the result of the activity of the benthos. The difference is especially large at water depths between 600-1300 m, where bioturbation is most

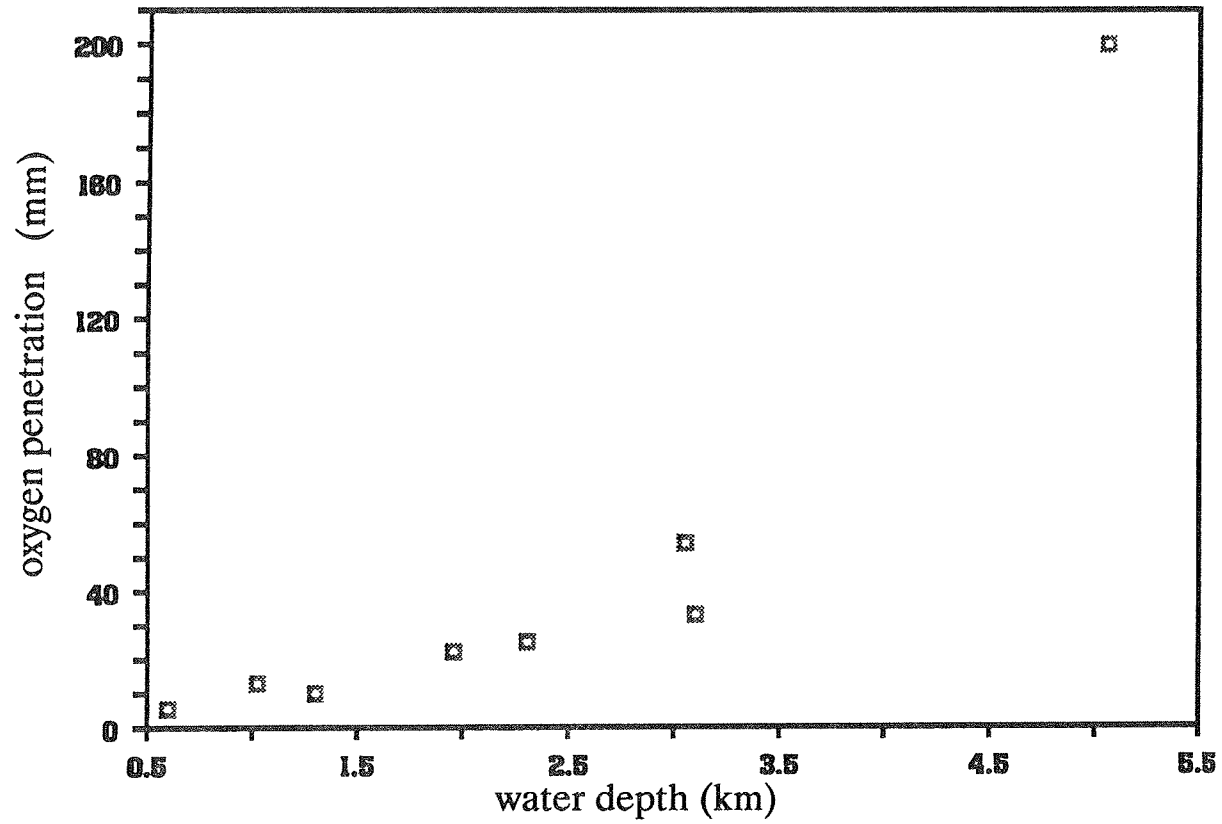


Fig. 104: Oxygen penetration measured in situ as a function of depth.

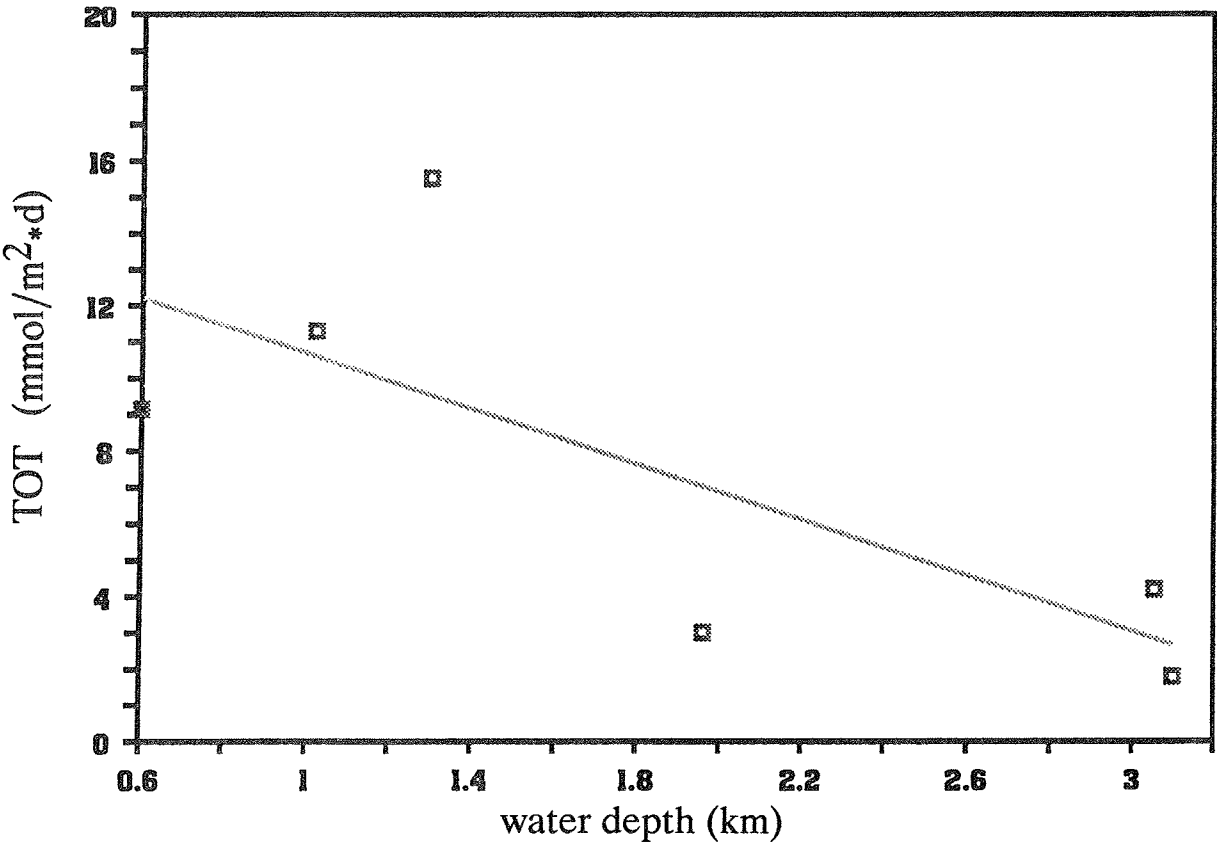


Fig. 105: Total oxygen transport (TOT) measured in situ as a function of depth.

intense. Here DIT only accounts for about 20-30% of the TOT. At the deeper stations DIT accounts for about 80-90%. The effect of the benthos on oxygen transport becomes obvious when the ratio of TOT to DIT is plotted against the degree of bioturbation (Fig. 106).

A heterogenous sediment surface, resulting from the activity of benthos or sedimentation of aggregates, does effect the oxygen dymamics dramatically. Figure 108 shows data obtained from a transect of oxygen microprofiles through an animal mound. The measurements were obtained from multicores taken at station 1713 (600 m depth). The mean DIT measured in the lab was 4.00 $mmol/m^2 \cdot d$ and TOT was 5.49 $mmol/m^2 \cdot d$. The figure reflects how much the porewater chemistry might vary in microscale, and how important it is to measure both TOT and oxygen microprofiles to get a more complete picture of the oxygen dynamics in the sediment. Figure 107 shows a further example of how animal burrows can effect oxygen transport in the sediment.

The laboratory data show the same trends as the data obtained in situ. However, the ratio of in-situ data to laboratory data plotted against water depth shows that there are significant differences between the data obtained by the two methods (Fig. 109, 110).

With increasing water depth DIT measured in the laboratory underestimates to a larger and larger extent the actual DIT as measured in situ. The reason for that must be the effect of decompression of the multicores brought to the surface. The decompression will to some degree extrude porewater from the core, resulting in a change in the structure and length of the core. The extrusion of porewater will result in a higher DIT, while an increased core length should decrease the DIT. Any disturbances that might occur during coring are more difficult to evaluate. From our data it does appear that extrusion of porewater is the most plausible explanation for the differences observed between the data obtained in the laboratory and the in-situ values. The extent of the effect must be dependent upon the sediment structure. The sediment at 3000 m water depth contained abundant calcite and was very hard. This might help to explain why the decompression effect seems to be smaller than expected based on the other datapoints. The depth of the oxygen penetration is also clearly decreased in the laboratory compared to measurements obtained in situ (Table 7), and again the effect is more dramatic at greater depths.

The TOT at relatively shallow depths (600-1300 m) is greatly underestimated in the laboratory compared to data obtained in situ (Fig. 110, Table 7). This is simply due to the fact that with a larger sampling area (894 cm^2) the activities of larger animals have a greater influence on the measurements than when a smaller area is used (core area 30 cm^2). Further, fewer animals and burrows will be damaged using a larger box than a small tube. This effect easily outweighs the decompression effect at lower depths. But at greater depths where bioturbation is less influential, the pattern seen in figure 109 is repeated.

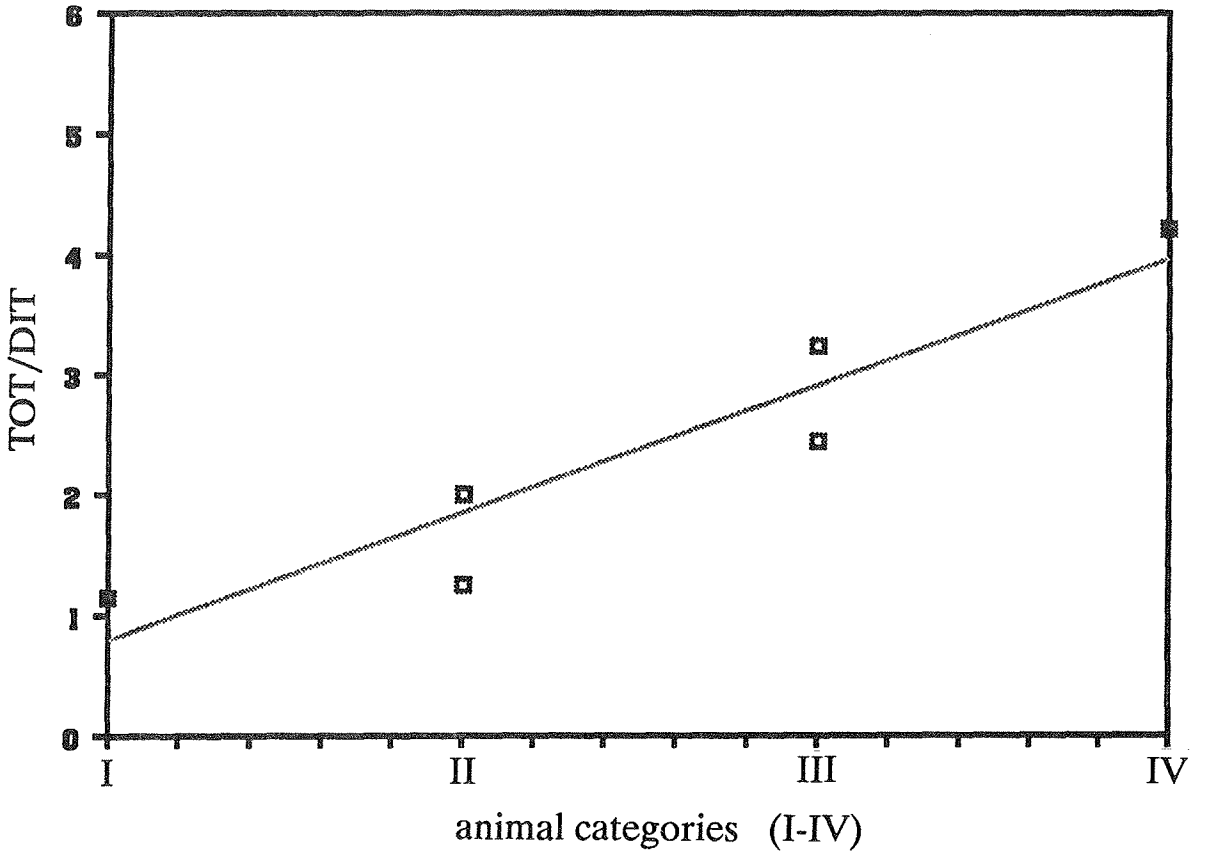


Fig. 106: Total/diffusive oxygen transport (TOT/DIT) in relation to benthic activity (= degree of bioturbation).

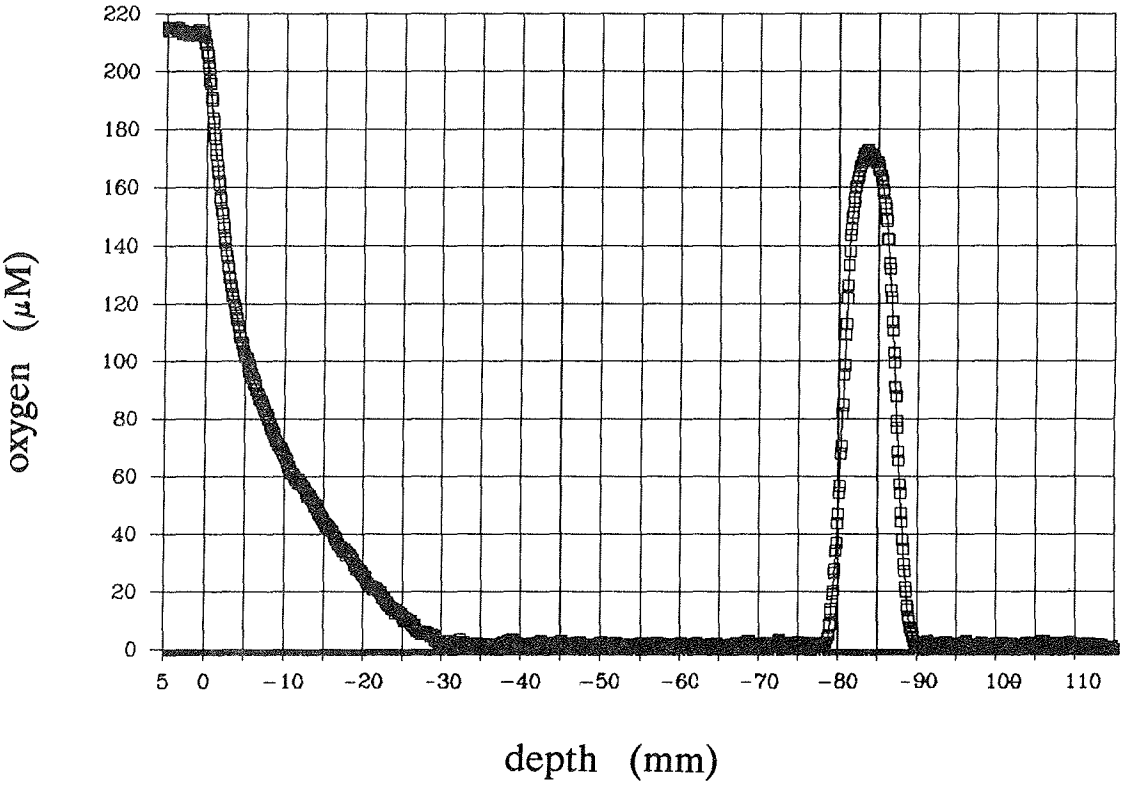


Fig. 107: Effect of animal burrows on oxygen transport in the sediment.

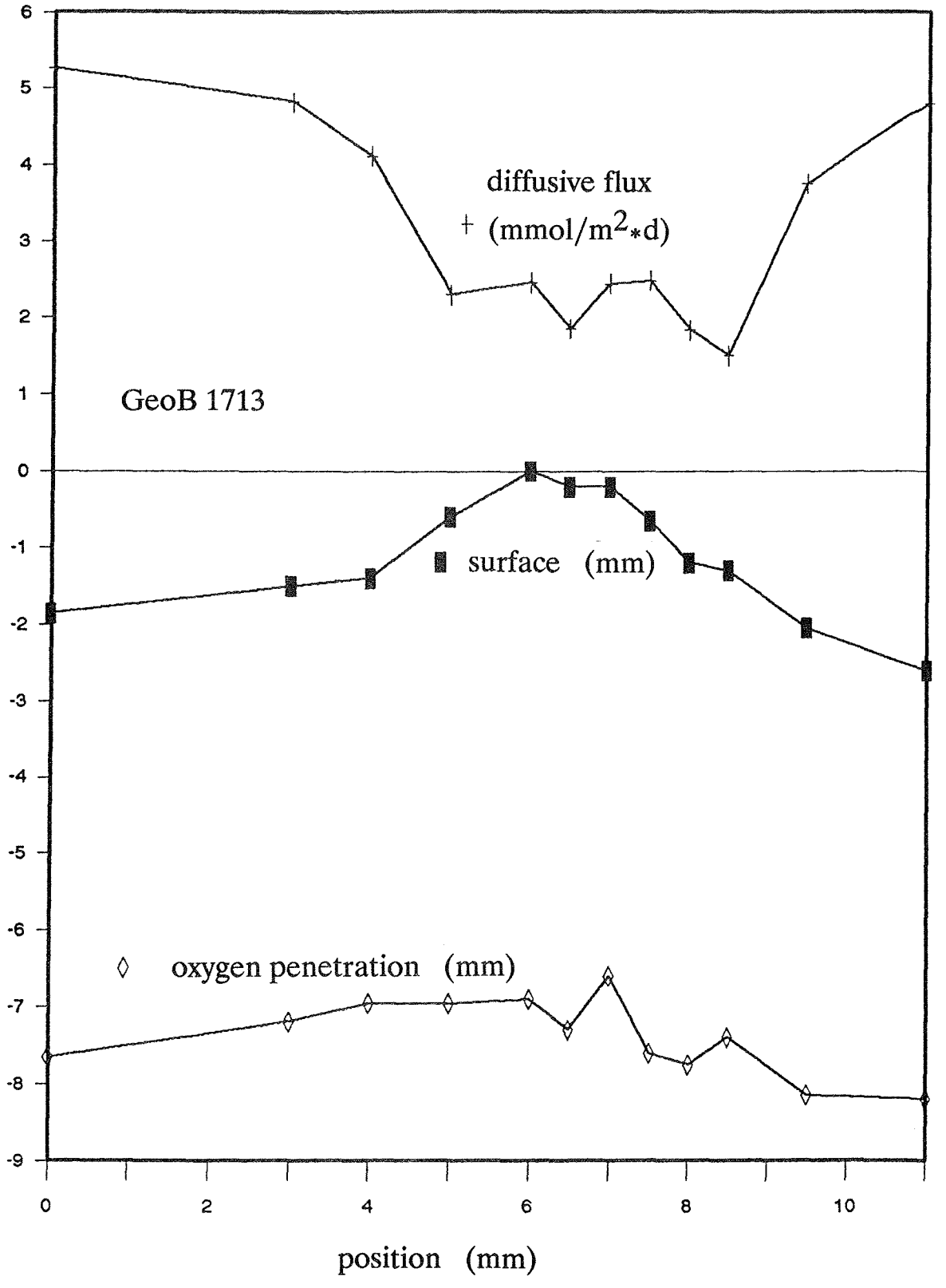


Fig. 108: Diffusive flux data, surface formation and oxygen penetration obtained from a transect of oxygen mikroprofiles through an animal mouth.

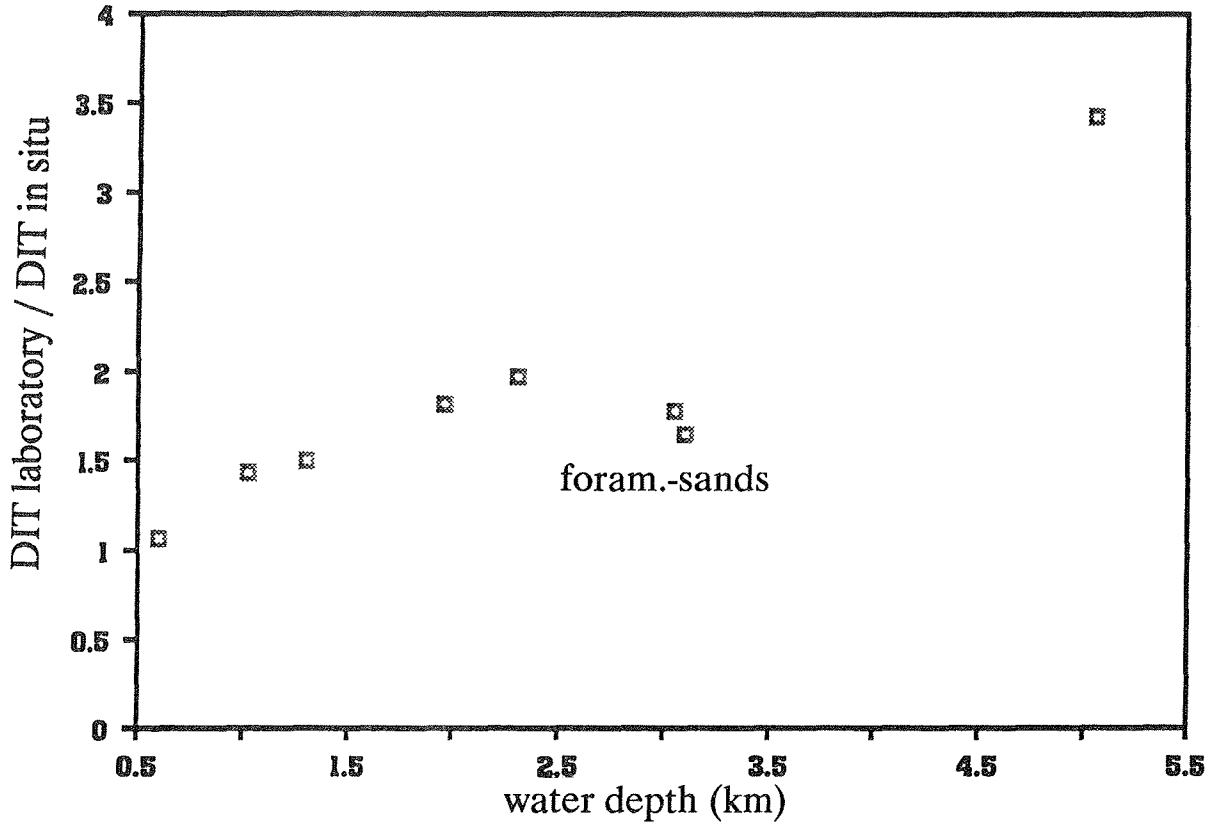


Fig. 109: Laboratory/in-situ data in relation to water depth: diffusive oxygen transport.

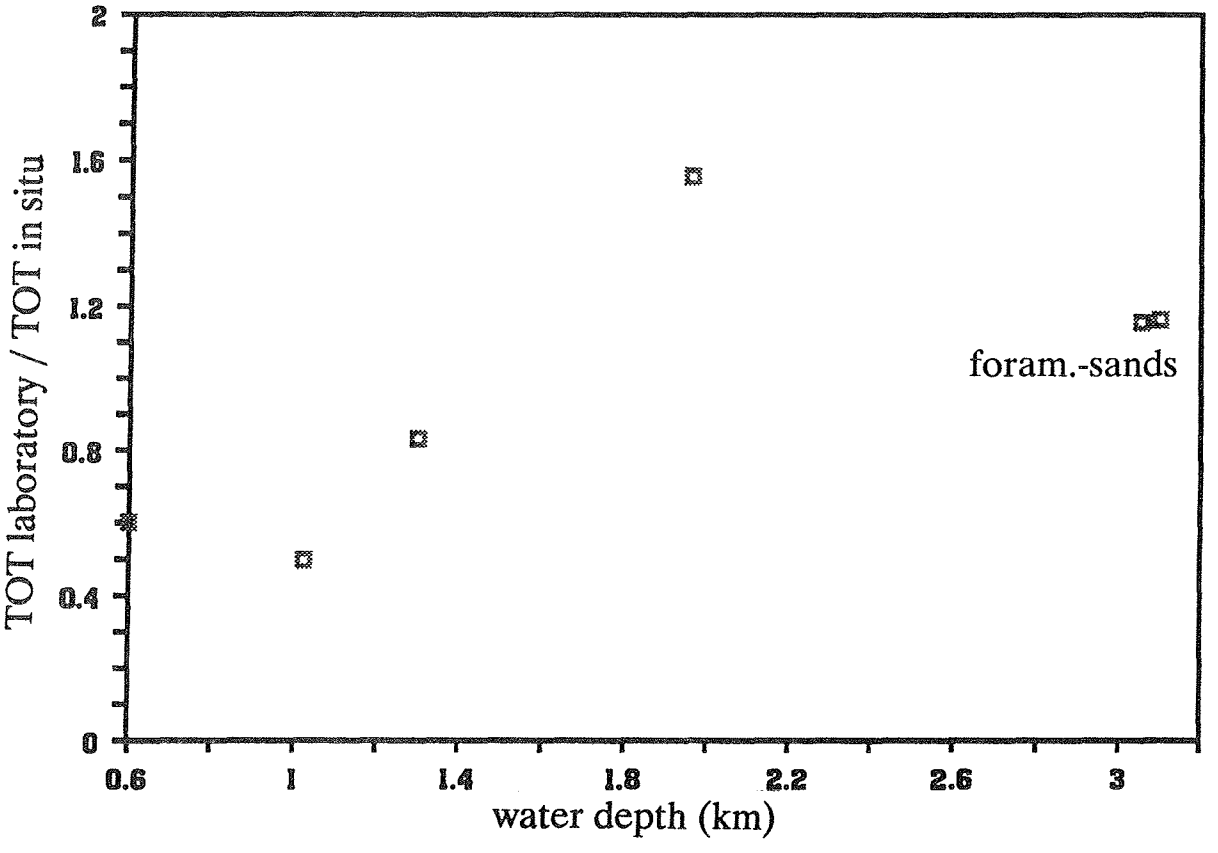


Fig. 110: Laboratory/in-situ data in relation to water depth: total oxygen transport.

4.11 Mikrobielle Aktivitäten

(H. Gerlach, R. Gumprecht)

4.11.1 Probenaufbereitung

Auf diesem Fahrtabschnitt wurden die Sedimente der Stationen GeoB 1701, 1702, 1703, 1704, 1711, 1719, 1721, 1724 und 1726 auf mikrobiologische Parameter (s.u.) hin untersucht.
Aus Großkastengreifer, Schwerelot und z.T. Multicorer (zwecks Gewinnung ungestörter Sedimentoberflächen) der oben genannten Stationen wurden mittels abgeschnittener, steriler Einmalspritzen Sedimentproben entnommen. Die Kastengreifer wurden innerhalb der obersten 20-30 cm im Abstand von ca. 5 cm, die Schwerelote ab ca. 50 cm in 50 cm-Abständen beprobt. Abweichungen von diesem Schema sind auf Sedimentbesonderheiten zurückzuführen. Die Proben wurden entweder sofort nach der Probenahme oder nach Lagerung bei 4°C innerhalb von 24 h bearbeitet.

Zur Erfassung der **Besiedlungsdichte** wurden die koloniebildenden Einheiten auf Seewasseragar und die Gesamtzellzahlen bestimmt. Die fluoreszensmikroskopische Auszählung der Gesamtzellzahlen und die Bestimmung des DNA- und Proteingehaltes der Lipide erfolgen an formalinfixierten oder gefrorenen Proben im Labor der Universität. Die Proben zur Bestimmung des Phosphatgehalts der Lipide sollen ferner auf den Gehalt an Polyestern von Buttersäure und seinen Derivaten untersucht werden, da diese von zahlreichen Bakterien zumindest unter aeroben Bedingungen bei Nährstoffmangel intrazellulär als Speicherstoffe gebildet werden. Weiterhin sind Proben für rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen fixiert worden, um Aufschluß über die Besiedlungsdichte von Sedimentpartikeln zu erhalten. Zur Bestimmung bestimmter physiologischer Gruppen innerhalb der Mikroorganismen-Gesellschaften wird die MPN-Methodik (most probable number) angewendet.

Der Erfassung der **allgemeinen mikrobiellen Aktivität** diente die Messung von Phosphatase-, Sulfatase-, Dehydrogenase- und Esteraseaktivitäten. Zur Bestimmung der Phosphatase- bzw. Sulfataseaktivität wurde den mit sterilfiltriertem Seewasser angesetzten Sedimentsuspensionen 4-Methylumbelliferyl-Phosphat bzw. -Sulfat (fluorimetrische Methode) zugegeben und diese 4, 6 oder 8 h bei 4°C inkubiert. Als Nachweisreagenz für die Dehydrogenaseaktivität wurde der Elektronenakzeptor Resazurin zugesetzt. Nach einer Inkubationszeit von 6 h bei 20°C wurde das gebildete Resorufin fluorimetrisch quantifiziert. Die Esteraseaktivität wurde fluorimetrisch über die Umsatzrate von Fluoresceindiacetat bestimmt.

Spezifische Aktivitätsparameter stellen die gemessenen Peptidase-, Cellulase-, Glucosidase- und Chitinaseaktivitäten dar, die mit dem N- bzw. C- Kreislauf in Verbindung stehen. Die Sedimentsus-

pensionen wurden mit den entsprechenden Methylumbelliferylsubstraten versetzt und bei 4°C inkubiert. Der Substratumsatz wurde ebenfalls fluorimetrisch bestimmt.

Ferner wurde der Kohlehydrat- und Proteingehalt der Sedimentproben bestimmt, um die gemessenen Enzymaktivitäten mit dem Gehalt an organischen Verbindungen korrelieren zu können.

4.11.2 Erste Ergebnisse

Im folgenden sollen anhand der Stationen GeoB 1721, 1703 und 1711 exemplarisch bisher vorliegende Ergebnisse dargestellt und erläutert werden. Erste Ergebnisse der übrigen Stationen sind lediglich als graphische Darstellungen aufgeführt (Abb. 111-125). Die Enzymaktivitäten sind in µmol Substrat bzw. Produkt pro ml Sediment und h angegeben.

Station GeoB 1721

Diese Station befindet sich im Randbereich des durch den Benguela-Strom beeinflußten Auftriebsgebietes (ca. 3000 m WT).

Hohe enzymatische Aktivitäten sind auf die oberen Sedimentzentimeter beschränkt und fallen darauffolgend rasch ab. Unterhalb 10 cm zeigen nur noch die Esterasen, Sulfatasen und Chitinasen meßbare Substratumsätze (Abb. 113, 118, 124). Cellulase-, Glucosidase- und Phosphatasereaktionen konnten in diesem Tiefenbereich nicht mehr nachgewiesen werden. Die erhaltenen Tiefenprofile deuten darauf hin , daß das sedimentierte organische Material zum überwiegenden Teil bereits in den oberen Sedimentzentimetern abgebaut wird. Die von der dänischen Arbeitsgruppe bestimmte Sauerstoffeindringtiefe von 5,5 cm spricht zusammen mit den hier vorliegenden Ergebnissen zudem für die Dominanz eines aeroben mikrobiellen Abbaus organischer Substanz im Sediment dieser Station.

Station GeoB 1703

Diese Station liegt sowohl im Auftriebsgebiet des Benguela-Stroms, als auch im Sedimentfächer des Kunene (ca. 1800 m WT).

Im oberen Sedimentbereich dieser Station sind mit Ausnahme der Phosphatasen die höchsten Enzymaktivitäten bestimmt worden. Unterhalb von ca. 20 cm konnten keine Cellulase-, Chitinase- und

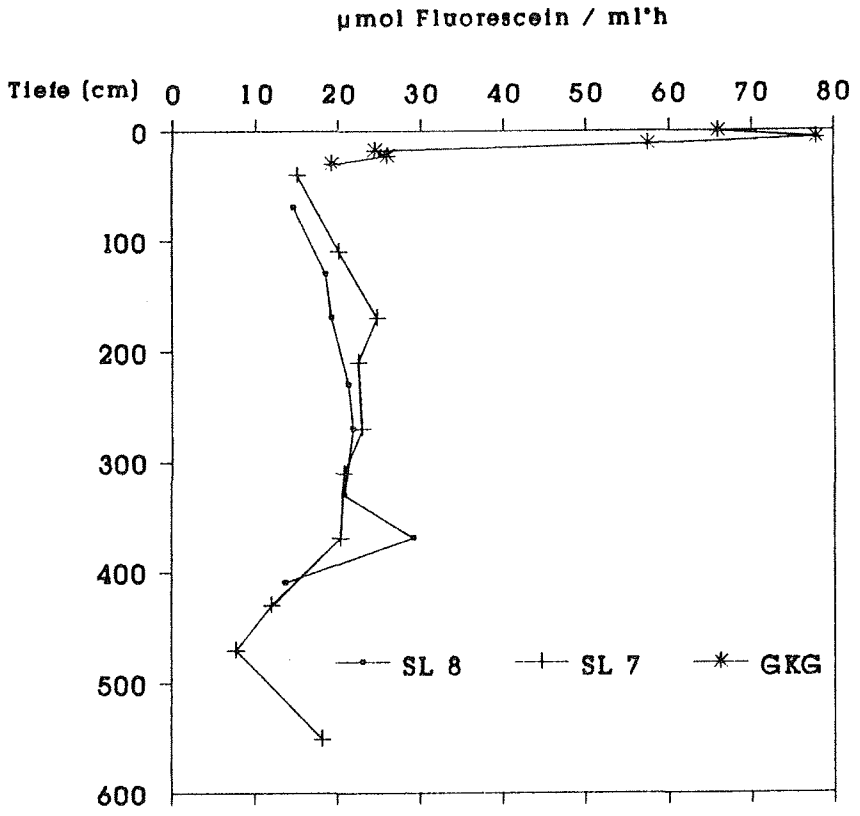


Abb. 111: Esterase-Aktivitäten an der Station GeoB 1703.

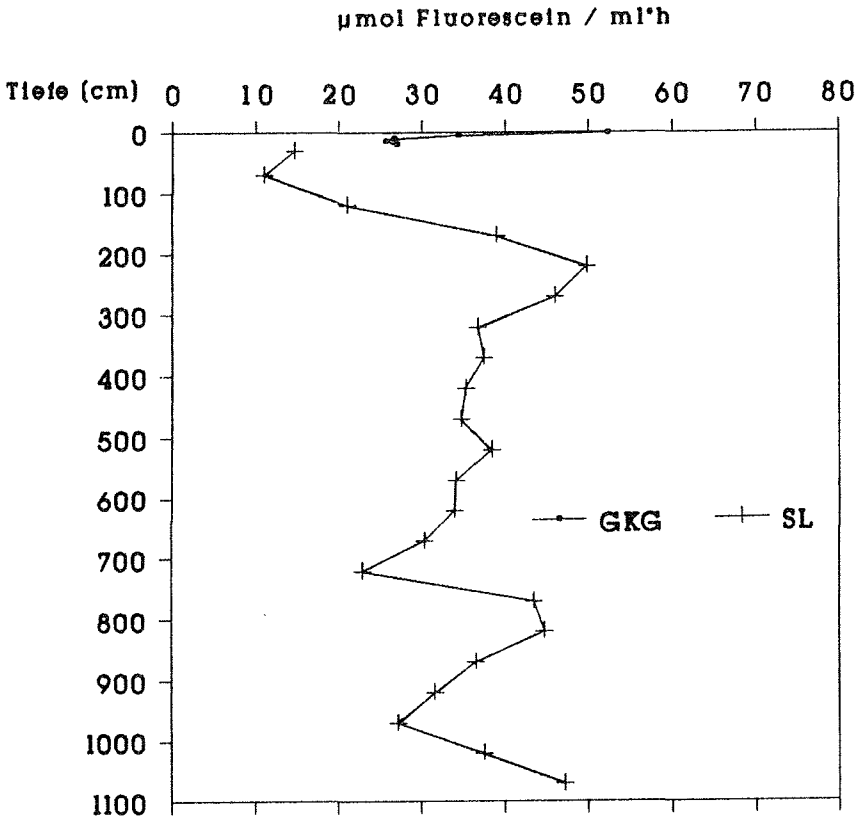


Abb. 112: Esterase-Aktivitäten an der Station GeoB 1711.

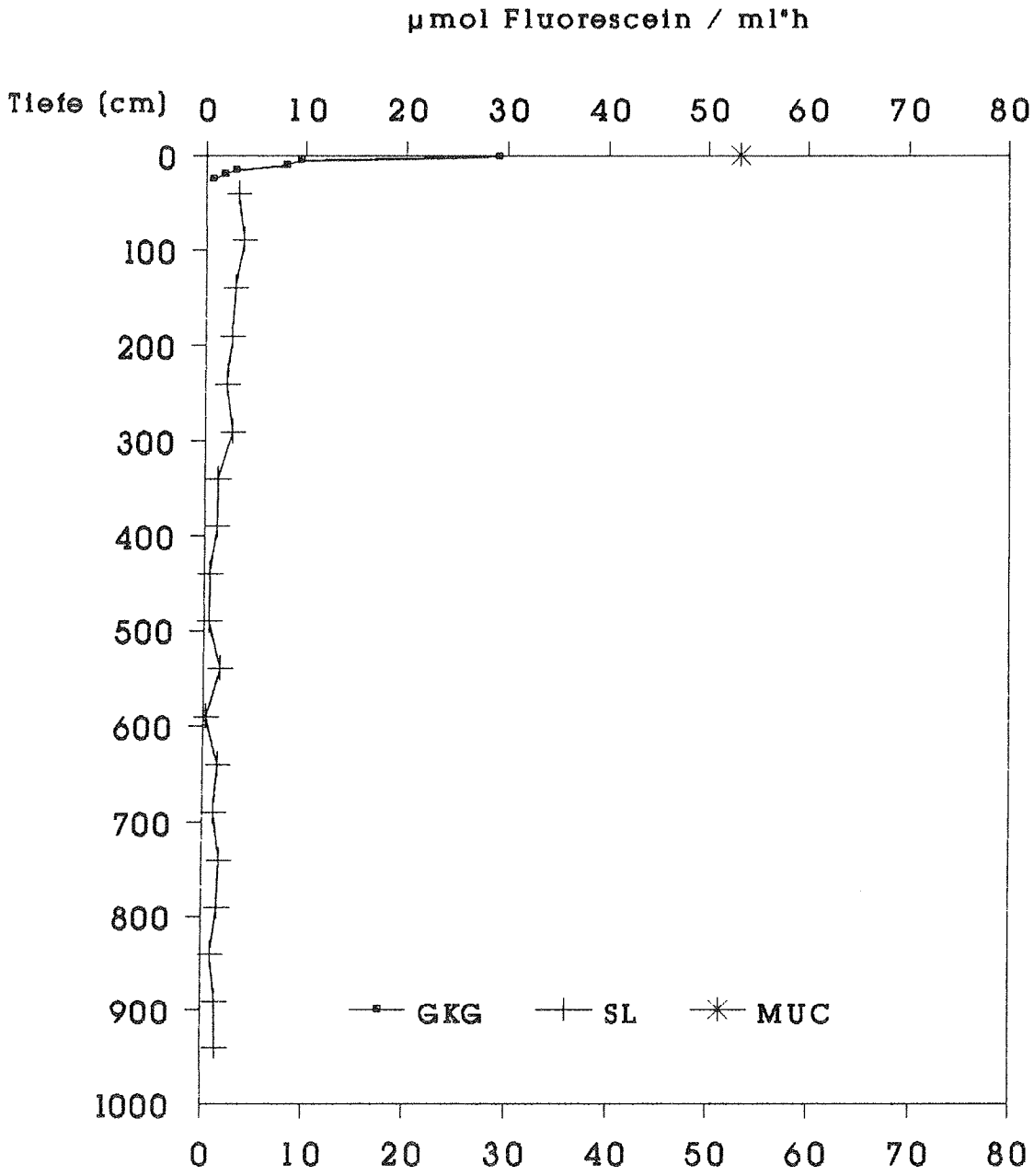


Abb. 113: Esterase-Aktivitäten an der Station GeoB 1721.

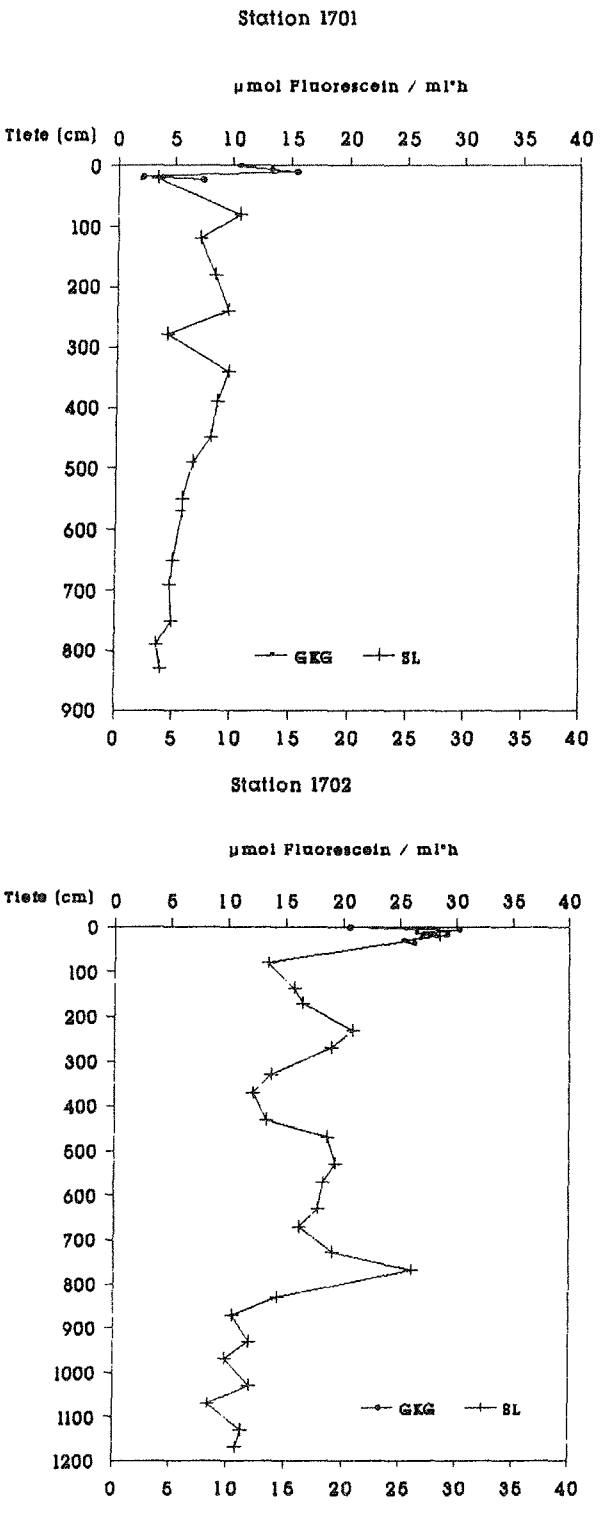


Abb. 114: Esterase-Aktivitäten an den Stationen GeoB 1701 und GeoB 1702.

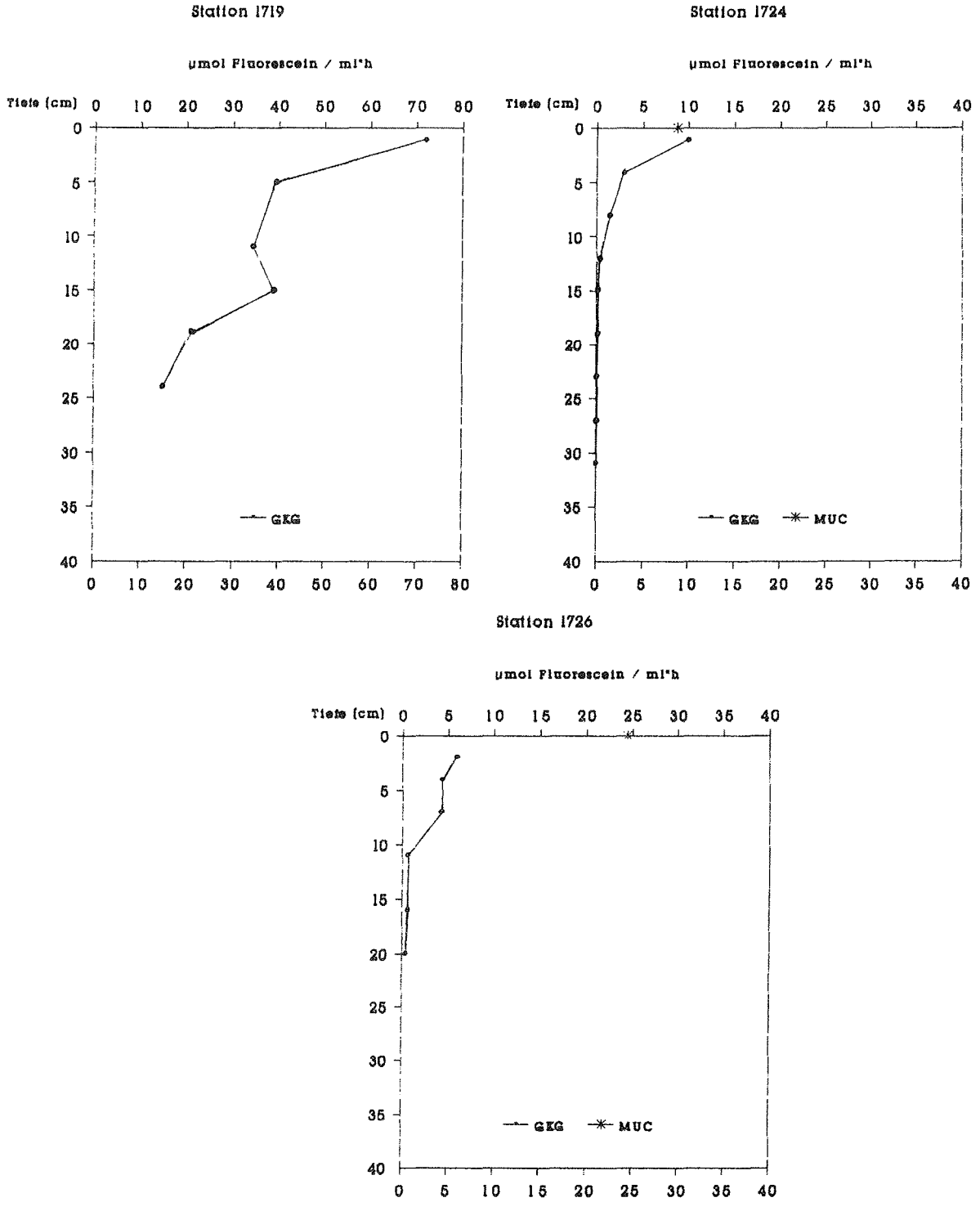


Abb. 115: Esterase-Aktivitäten an den Stationen GeoB 1719, GeoB 1724 und GeoB 1726.

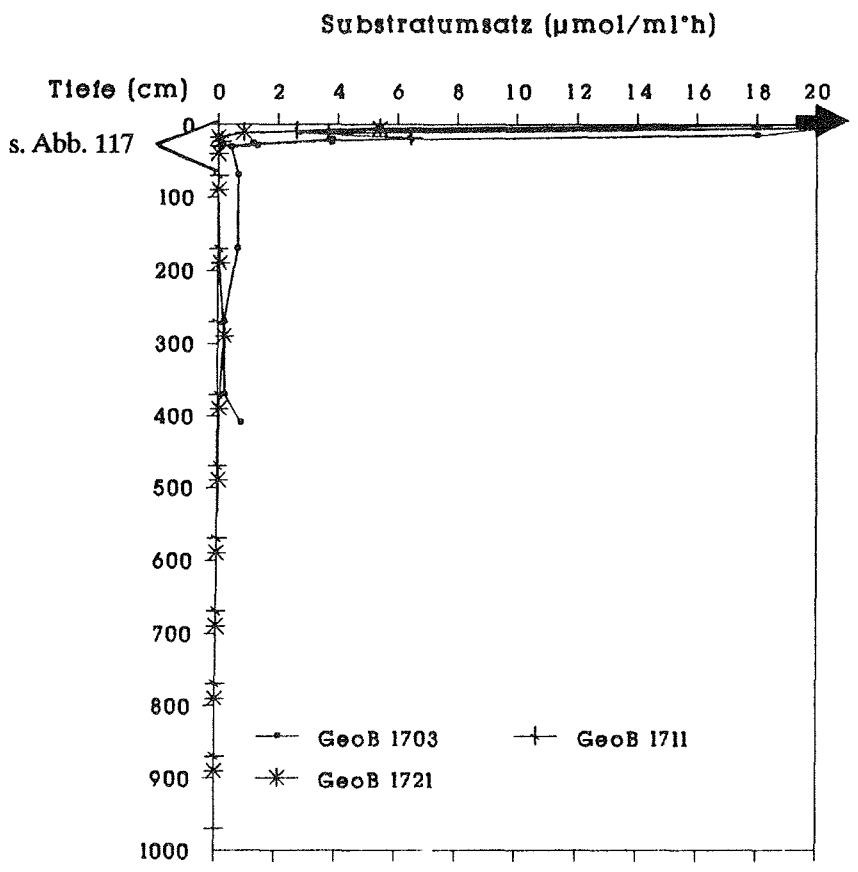


Abb. 116: Phosphatase-Aktivitäten an den Stationen GeoB 1703, GeoB 1711 und GeoB 1721.

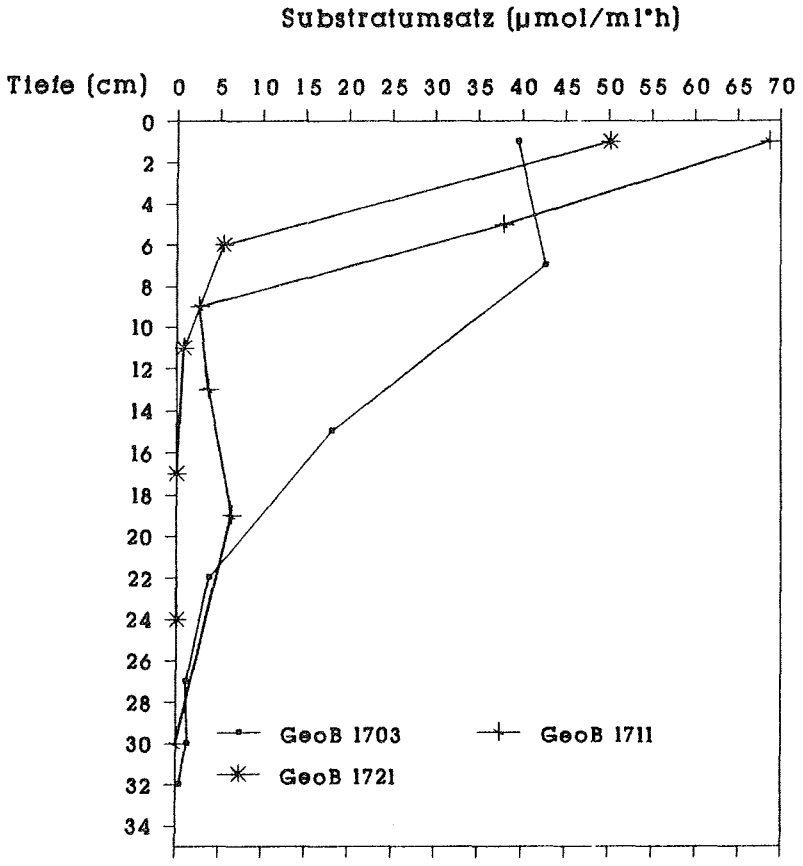


Abb. 117: Phosphatase-Aktivitäten an den Stationen GeoB 1703, GeoB 1711 und GeoB 1721.

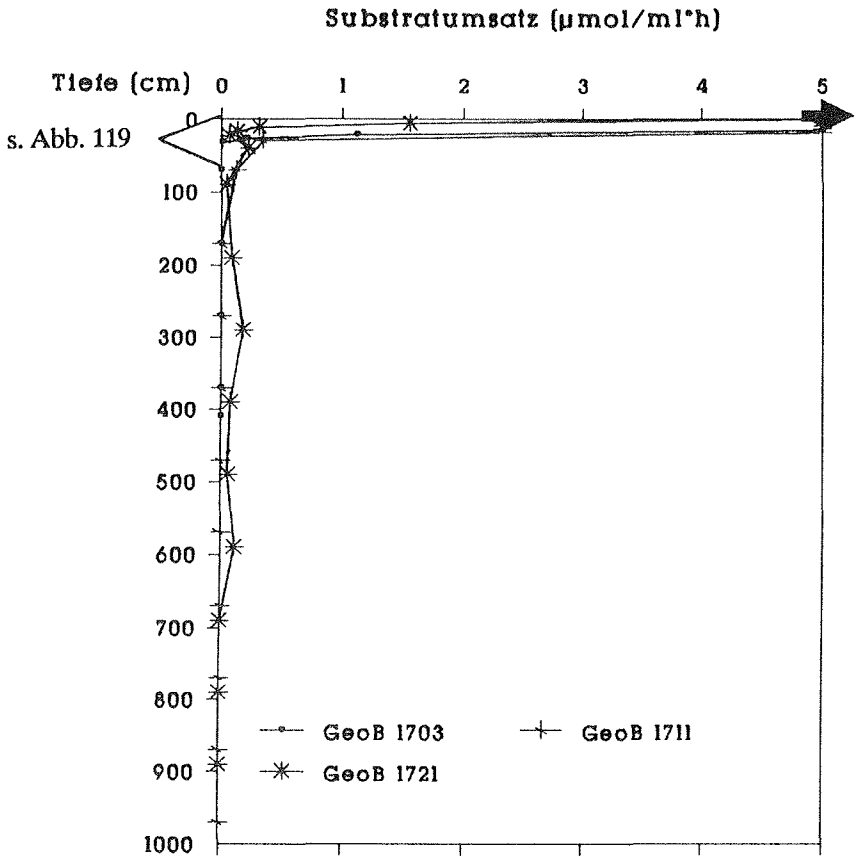


Abb. 118: Sulfatase-Aktivitäten an den Stationen GeoB 1703, GeoB 1711 und GeoB 1721.

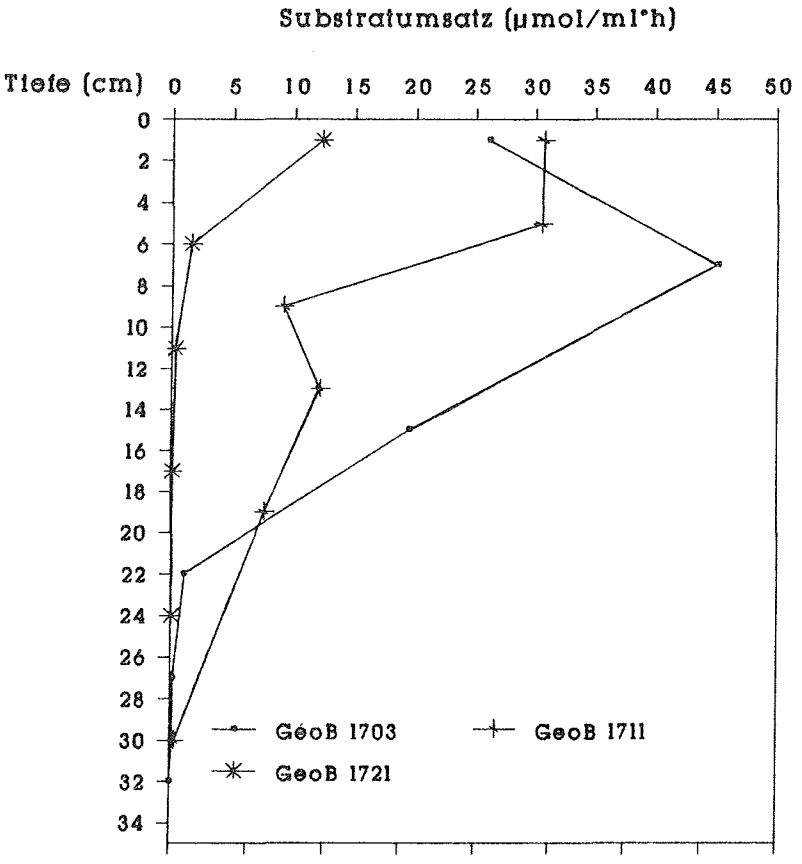


Abb. 119: Sulfatase-Aktivitäten an den Stationen GeoB 1703, GeoB 1711 und GeoB 1721.

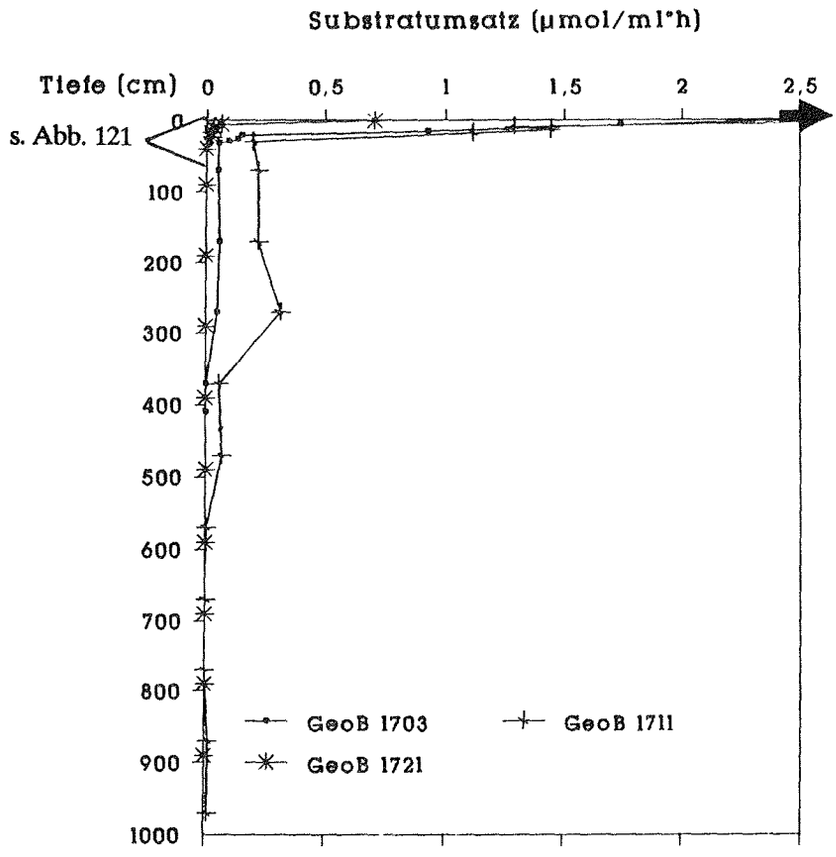


Abb. 120: Glukosidase-Aktivitäten an den Stationen GeoB 1703, GeoB 1711 und GeoB 1721.

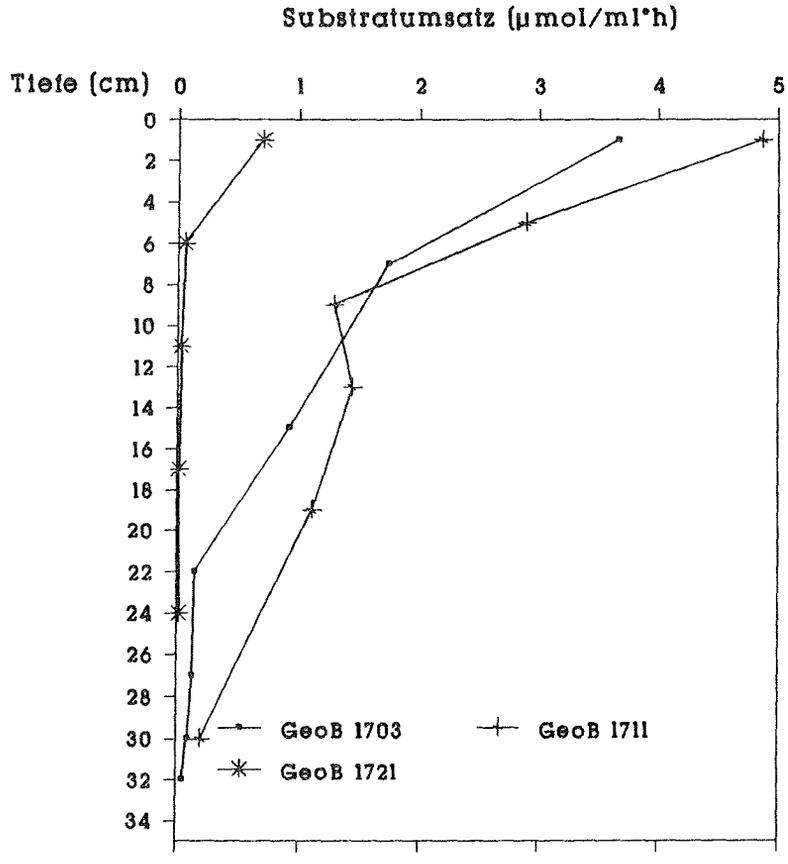


Abb. 121: Glukosidase-Aktivitäten an den Stationen GeoB 1703, GeoB 1711 und GeoB 1721.

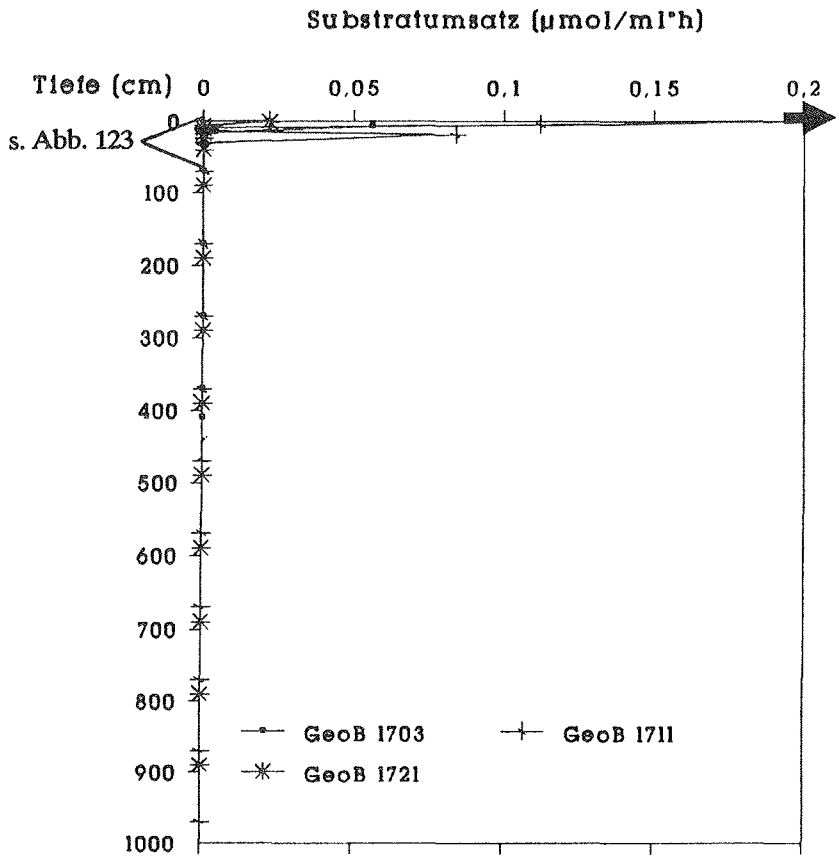


Abb. 122: Cellulase-Aktivitäten an den Stationen GeoB 1703, GeoB 1711 und GeoB 1721.

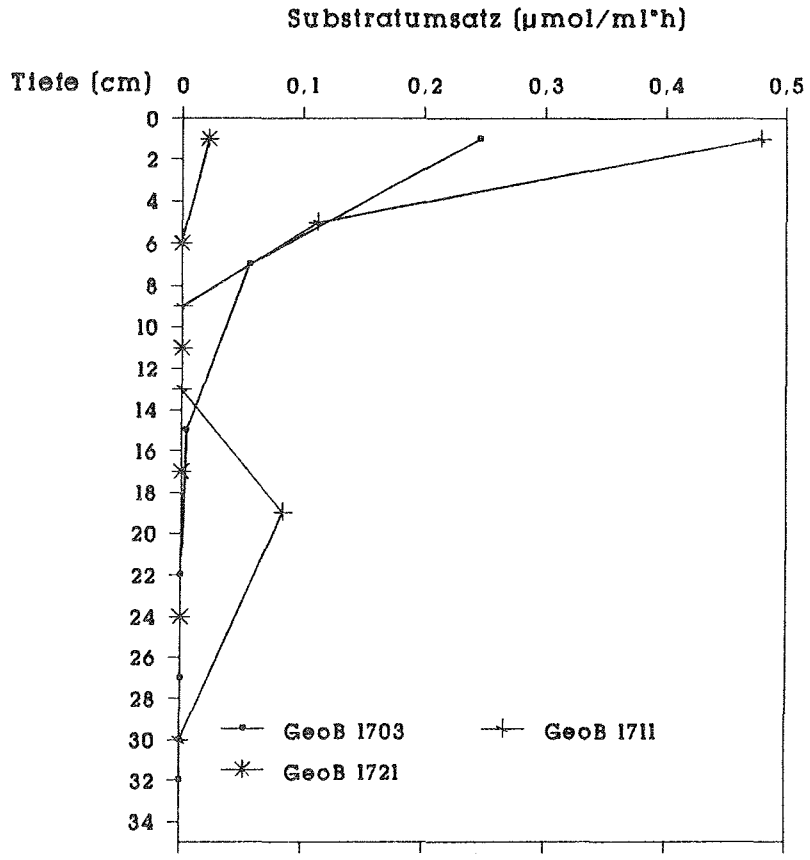


Abb. 123: Cellulase-Aktivitäten an den Stationen GeoB 1703, GeoB 1711 und GeoB 1721.

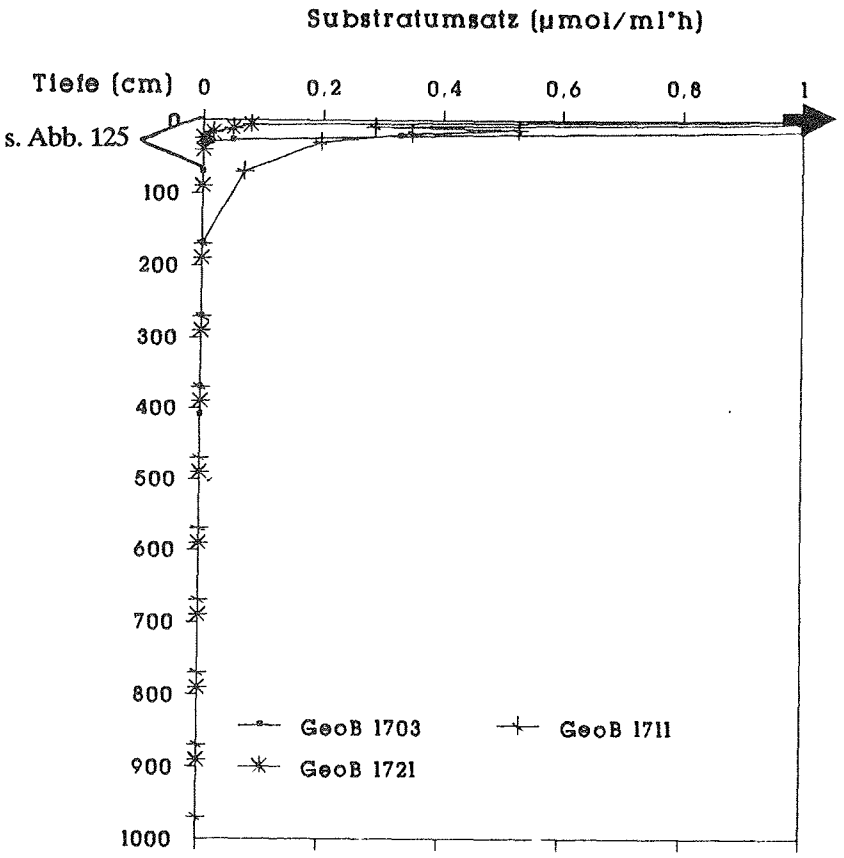


Abb. 124: Chitinase-Aktivitäten an den Stationen GeoB 1703, GeoB 1711 und GeoB 1721.

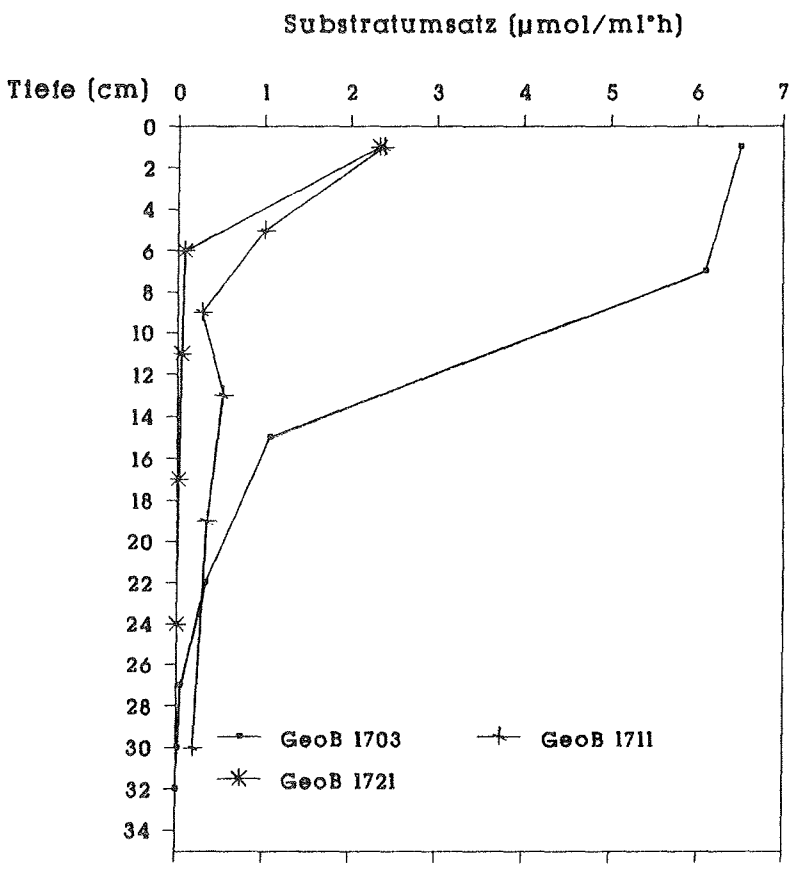


Abb. 125: Chitinase-Aktivitäten an den Stationen GeoB 1703, GeoB 1711 und GeoB 1721.

Sulfataseaktivitäten gemessen werden (Abb. 111, 118, 122, 124). Auffällig ist die Nachweisbarkeit von Glucosidaseaktivitäten bis 270 cm Sedimenttiefe und das über die gesamte Kernlänge recht hohe Niveau von Esteraseaktivitäten. Der erneute Anstieg dieser Aktivität ab ca. 5 m Sedimenttiefe geht einher mit Gradientenänderungen einiger geochemischer Parameter (Alkalität, Phosphat und Ammonium im Porenwasser). Die Esteraseaktivitäten der hier gezogenen Schwerelote GeoB 1703-7 und GeoB 1703-8 stimmen im Tiefenprofil recht gut überein. Dies deutet daraufhin, daß dicht beieinanderliegende Standorte keine großen Aktivitätsdifferenzen aufweisen.

Station GeoB 1711

Diese Station ist ebenfalls im Auftriebsgebiet des Benguelastroms gelegen (ca. 2000 m WT).

Bezüglich der Esterasen fällt das über die gesamte Kernlänge hohe Aktivitätsniveau auf (Abb. 112). Diese bis in große Tiefen hohe allgemeine mikrobielle Aktivität drückt sich auch in den von der geochemischen Arbeitsgruppe bestimmten hohen Sulfidkonzentrationen im Porenwasser aus. Anschließend an den Rückgang der Esteraseaktivität im Bereich von 1 - 70 cm wird bei ca. 2 m Sedimenttiefe das an der Oberfläche herrschende Aktivitätsniveau wieder annähernd erreicht. In diesem Tiefenbereich konnten ebenfalls geochemische Gradientenänderungen bzgl. Alkalität, Phosphat- und Sulfidgehalt des Porenwassers bestimmt werden. Diese sind offenbar mikrobiell bedingt. Phosphataseaktivitäten konnten zwar auch über die gesamte Kernlänge nachgewiesen werden, jedoch waren die Substratumsätze in den oberen 10 cm deutlich höher als in den darauffolgenden Horizonten, in denen die Aktivität auf einem niedrigen Niveau relativ stabil blieb (Abb. 116, 117). Selbst Glucosidase- und Chitinaseaktivitäten waren bis in Tiefen von 470 bzw. 170 cm nachweisbar; auch die Cellulasen setzten in diesem Sediment noch bis zu einer Tiefe von 20 cm das angebotene Substrat um (Abb. 120 - 125).

4.12 Magnetische Bakterien

(H. Petermann)

4.12.1 Einleitung

Die intrazellulär gebildeten Magnetitkristalle (= Magnetosome) magnetischer Bakterien sind meist in Ketten angeordnet und haben eine sehr enge Korngrößenverteilung von etwa 40 bis 120 nm. Gestreckte Magnetosome werden bis zu 200 nm lang, dabei aber selten breiter als 50 nm. Magnetite dieser Korngrößen sind sogenannte magnetische Einbereichsteilchen, in denen die atomaren magnetischen Momente des gesamten Kristalls eine einheitliche Richtung besitzen. Magnetische

Einbereichsteilchen haben eine hohe Magnetisierung (es sind starke Magnete) und eine hohe Koerzitivfeldstärke (sie können nur schwer umgepolt werden).

Magnetische Bakterien nutzen diese Magnete zur Orientierung im Erdmagnetfeld; sie stellen schwimmende Kompaßnadeln dar. Auf der nördliche Hemisphäre sind die meisten Magnetbakterien nordsuchend, auf der südlichen Hemisphäre verhält es sich gerade umgekehrt. Die Magnetbakterien schwimmen deshalb parallel zu den Magnetfeldlinien auf beiden Hemisphären nach unten ins Sediment, wo das Nährstoffangebot reicher ist und sie ein geeignetes chemisches Milieu finden. Durch diese Orientierung im Erdmagnetfeld haben sie gegenüber anderen Bakterien den Vorteil, direkt und ohne Umwege in eine optimale Umgebung zu gelangen. Im Sediment verharren sie in ihrem Milieu und bewegen sich offensichtlich erst dann, wenn ihre Lebensbedingungen ungünstig geworden sind.

Nach dem Absterben der Bakterien bleiben die Magnetosome erhalten und tragen zur Sedimentmagnetisierung bei. Aufgrund ihrer hohen Koerzitivfeldstärke werden sie als die wesentlichen Träger der stabilen magnetischen Remanenz in Sedimenten diskutiert. Magnetosome konnten bereits in den spätquartären Sedimenten des Südatlantiks nachgewiesen werden (M 16/2, SCHULZ et al. 1991). Der Nachweis lebender magnetischer Bakterien in der Tiefsee blieb jedoch aus und sollte hier neu angegangen werden.

4.12.2 Probennahme und Probenbearbeitung

Beprobung der Großkastengreifer

- Oberflächenproben 25 cm^2; 0 - 0,5 cm Tiefe.

Diese Proben wurden unmittelbar an Bord auf magnetische Bakterien untersucht und anschließend bei 4°C gelagert.

- Spritzenproben 10 ml; Tiefenabstände 5 cm.

Aus diesen Proben sollen in Bremen magnetische Partikel extrahiert werden. Dazu wird das Sediment mit Ultraschall aufgeschlämmt und die Suspension mit einer Umwälzpumpe längere Zeit an einem starken Magneten vorbeigeführt.

Beprobung der Multicorer

Es stand jeweils ein Rohr (Innendurchmesser 5,9 cm) zur Verfügung. Das Sediment wurde bei Raumtemperatur mit einem Stempel so weit hochgeschoben, daß es von oben mit einer Kolbenpi-

pette (Typ Transferpettor) beprobt werden konnte. Der Kolben der Pipette verhindert, daß beim Einstechen ins Sediment Material höherer Schichten beprobt wird. In verschiedenen Tiefen wurden so Proben zu 50 µl entnommen und auf Magnetbakterien untersucht. Nach der Beprobung wurde das Multicorerrohr in ein Archivrohr umgedrückt und bei 4°C gelagert.

Anreicherungskulturen

400 ml Sediment wurden mit etwas Bodenwasser in eine Kautex-Flasche gefüllt und bei 4°C gelagert. Das Bodenwasser stammt aus den Multicorerrohren derselben oder einer benachbarten Station. Damit soll versucht werden, lebende Magnetbakterien für elektronenmikroskopische Aufnahmen und Züchtungsversuche nach Bremen zu bringen. (Sowohl der Transport, als auch die elektronenmikroskopischen Aufnahmen sind mittlerweile gelungen). Konnten in den Oberflächenproben eines Kastengreifers Magnetbakterien nachgewiesen werden, so wurden die oberen 5 cm beprobt, konnten keine Magnetbakterien nachgewiesen werden, so wurde ein Sedimentprobe über die gesamte Tiefe des jeweiligen Kastengreifers abgefüllt.

Die Proben aus Großkastengreifern und Multicorern wurden an Bord unter dem Lichtmikroskop untersucht. Dazu diente ein Zeiss Axiovert 10 Mikroskop mit drei zueinander orthogonalen Spulenpaaren, mit denen ein beliebig gerichtetes homogenes Magnetfeld einer Stärke von bis zu $3 \cdot 10^{-4}$ Tesla in der Ebene der Präparate erzeugt werden kann. Dies entspricht etwa der zehnfachen Erdmagnetfeldstärke im Beprobungsgebiet. Über eine selbstkonstruierte Stromquelle wurden, nachdem zunächst das Erdmagnetfeld kompensiert war, alternativ rotierende Magnetfelder einstellbarer Frequenz und Stärke oder mit einem Joystick auch beliebig variable Magnetfelder angelegt.

Magnetische Bakterien schwimmen immer parallel zu den Feldlinien, im rotierenden Magnetfeld werden sie deshalb auf Kreisbahnen gezwungen. Ebenso folgen sie einer beliebigen Feldrichtung, die durch den Joystick vorgegeben wird. Lebende, sich aktiv bewegende Magnetbakterien lassen sich so unter dem Mikroskop relativ einfach und sicher identifizieren. Die Methode, das Feld konstant in eine Richtung wirken zu lassen und die am Rand ankommenden Magnetbakterien zu beobachten hat sich besonders gut bewährt. Damit wurde jeweils die Dichte der Magnetbakterien in den beprobten Tiefen abgeschätzt. Zur Dokumentation wurden diese mikroskopischen Beobachtungen mit einem handelsüblichen Videorekorder aufgezeichnet.

Unbewegliche, inaktive oder abgestorbene Magnetbakterien werden ohne translatorische Bewegung nur in die Richtung eines äußeren Magnetfeldes gedreht. In einer dichten Sedimentsuspension sind die meist kugelförmigen Magnetbakterien dann kaum auszumachen. Die Brownsche Molekularbe-

wegung sowie die Schiffsbewegung erschweren zusätzlich die Unterscheidung von nicht belebter Materie oder unmagnetischen Bakterien.

4.12.3 Ergebnisse

Der Nachweis von lebenden magnetischen Bakterien in der Tiefsee gelang erstmalig.

Abbildung 126 zeigt die geographische Verteilung der Probenahmestationen. Kreise bezeichnen Stationen, an denen viele Magnetbakterien (über 100 bis 30 000 pro 50 μl), Quadrate Stationen, an denen wenige Magnetbakterien (1 bis 100 pro 50 μl) und Dreiecke Stationen, an denen keine Magnetbakterien nachgewiesen werden konnten. Bei der Anzahl an Magnetbakterien handelt es sich um Schätzwerte. Sie unterliegen insbesondere bei schnellbeweglichen Magnetbakterien noch nicht näher quantifizierbaren Unsicherheiten.

Bei Voruntersuchungen wurde festgestellt, daß sich Magnetbakterien im Watt der Nordsee in einer eng begrenzten Schicht unterhalb der Sauerstoffeindringtiefe konzentrieren. Dort wo im Südatlantik Magnetbakterien nachgewiesen werden konnten, wurden sie in aller Regel auch direkt in der Sedimentoberfläche, nicht aber in der Wassersäule beobachtet. Abbildung 127 zeigt für vier Stationen, an denen in-situ Sauerstoff-Profile vorliegen (Kap. 4.10), die Tiefenverteilung der Magnetbakterien, sowie die O_2 und die NO_3 Eindringtiefen. Einschränkend muß betont werden, daß eine mögliche Veränderung der Tiefenverteilung der Magnetbakterien durch die Kernnahme in situ, während des Transports des Sedimentmaterials an Bord sowie durch die Probennahme nicht völlig ausgeschlossen werden kann.

Nach den in Abbildung 127 dargestellten Befunden halten sich die Magnetbakterien zwar bevorzugt in der sauerstofffreien Zone, zum Teil aber auch in der sauerstoffhaltigen Schicht auf. Die bisher isolierten Magnetbakterien sind anaerob bis mikroaerophil. Die an der Sedimentoberfläche vorkommenden Magnetbakterien sollten aerotolerant sein und sauerstoffhaltige Verbindungen abbauen können (H_2O_2 und O_2^-), müßten dann also die Enzyme Katalase (zum Abbau von H_2O_2) und Superoxid-Dismutase (zum Abbau von O_2) enthalten.

Ein Vergleich des diffusiven Eintrags von Sauerstoff ins Sediment mit der Konzentration von Magnetbakterien ergibt eine in der Tendenz eindeutig positive Korrelation. Diese Korrelation erscheint für die Messungen der Sauerstoff-Profile an Kernmaterial im Labor durch eine größere Streuung beeinträchtigt (Abb. 128) als für die in-situ Messungen (Abb. 129).

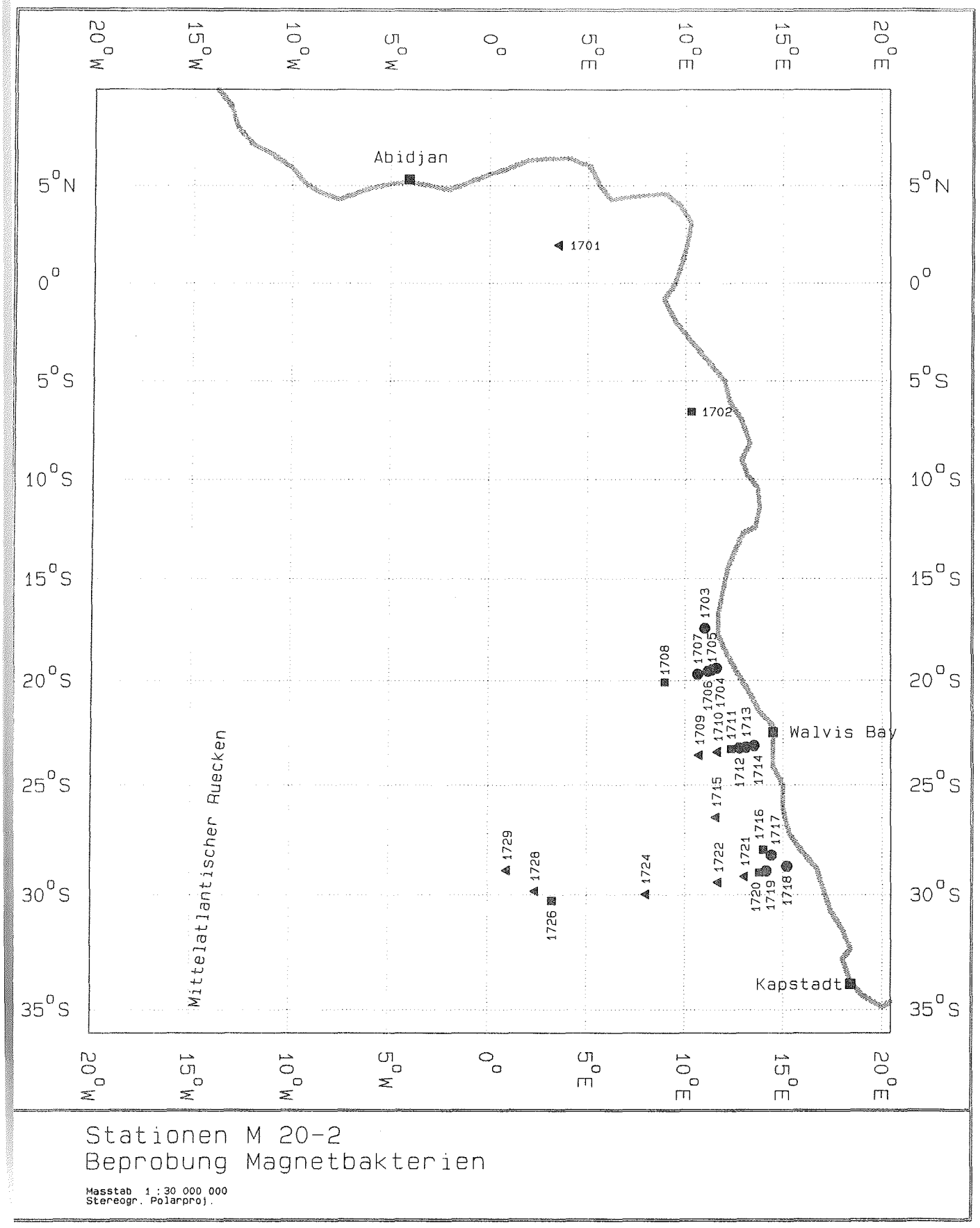


Abb. 126: Übersichtskarte der Probenahmestationen. Kreise bezeichnen Stationen, an denen viele Magnetbakterien (über 100 bis 30 000 pro 50 μl), Quadrate Stationen, an denen wenige Magnetbakterien (1 bis 100 pro 50 μl) und Dreiecke Stationen, an denen keine Magnetbakterien nachgewiesen werden konnten.

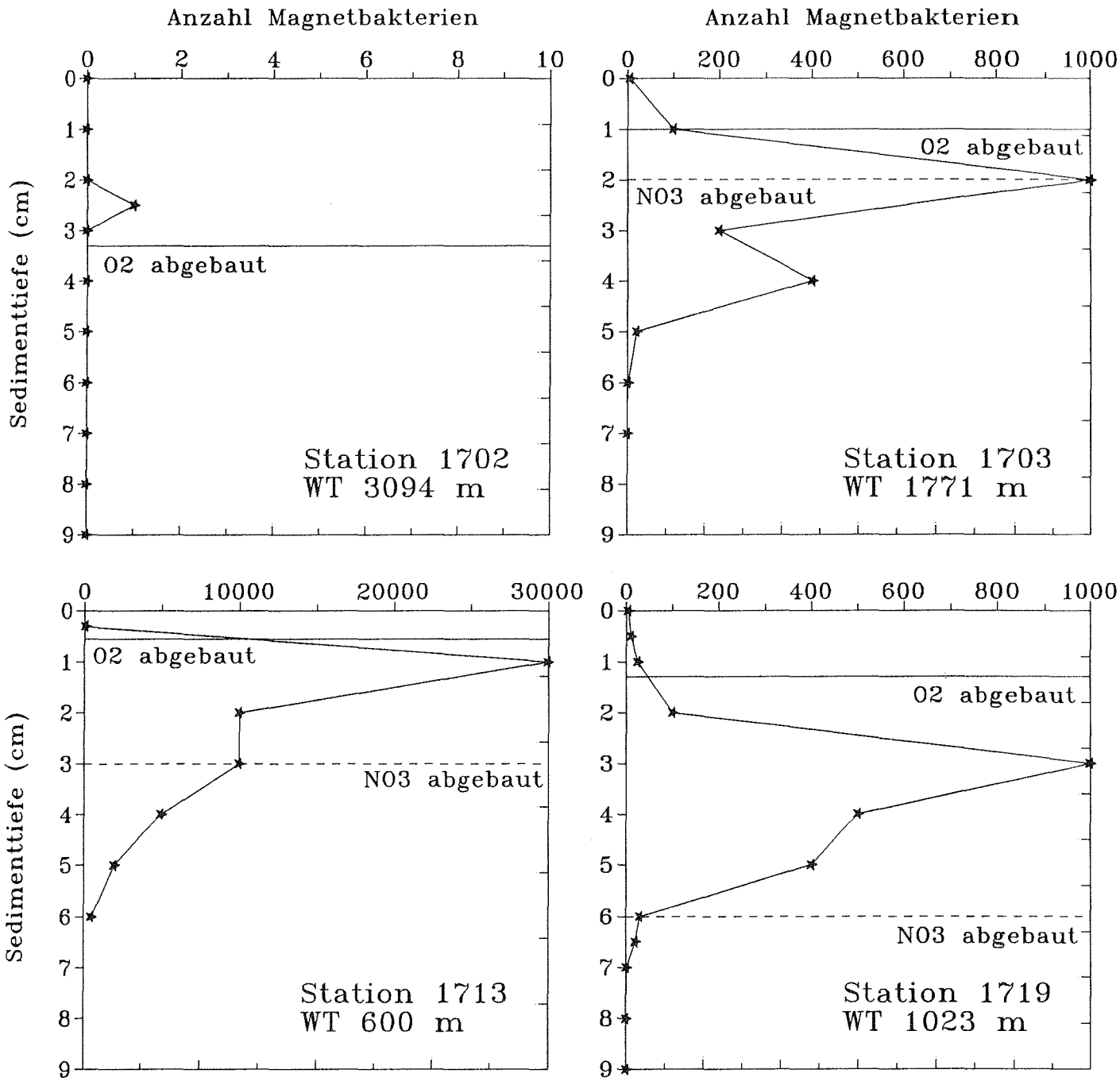


Abb. 127: Tiefenverteilung der Magnetbakterien an vier Stationen für die in-situ Sauerstoff-Profile vorliegen (Kap. 4.10). Die Lage der O_2 und NO_3^- (Kap. 4.9) Eindringtiefen ist jeweils durch horizontale Linien gekennzeichnet.

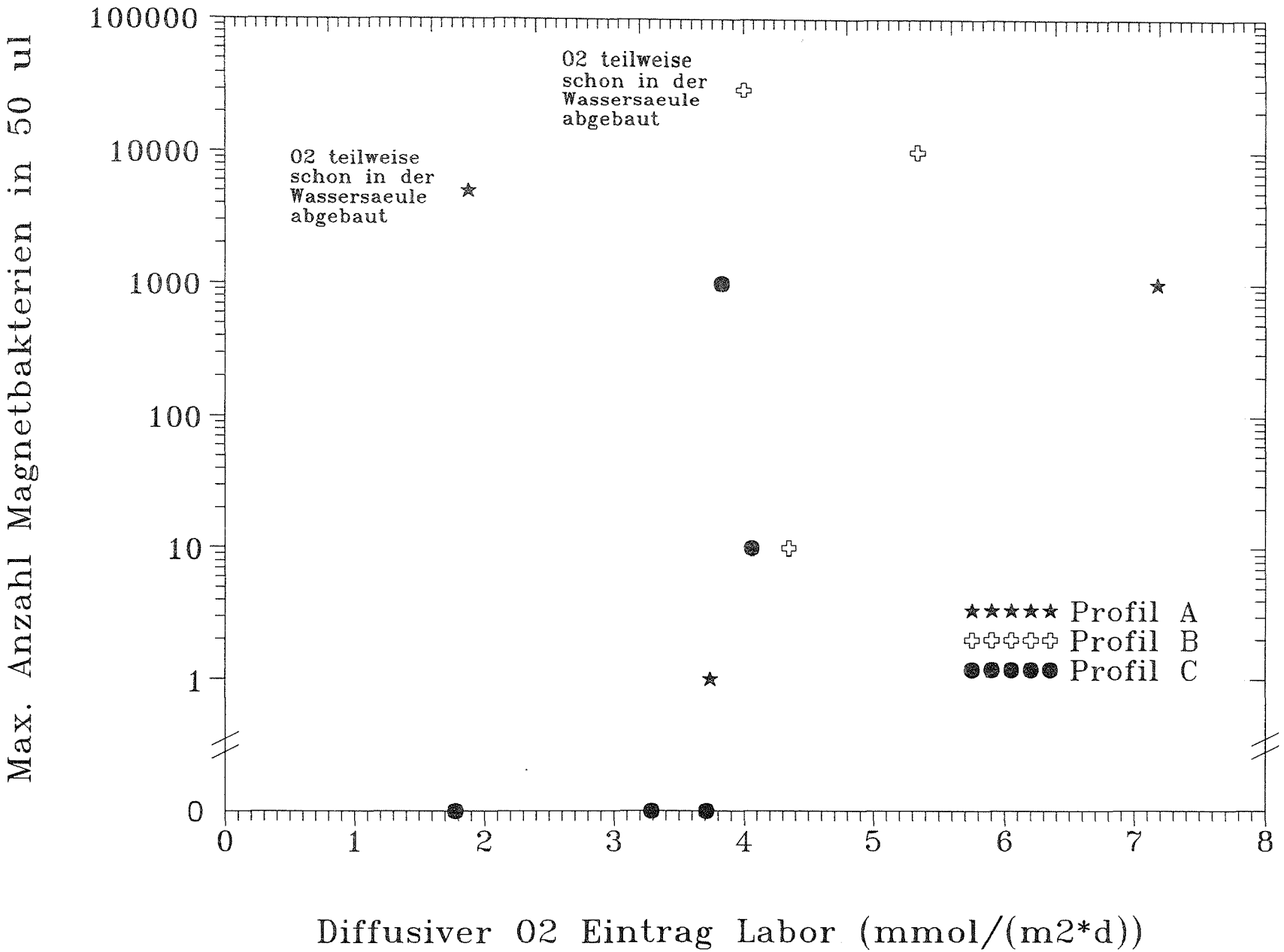


Abb. 128: Zahl der maximal beobachteten Magnetbakterien pro 50 μl als Funktion des diffusiven Sauerstoffeintrags ins Sediment nach Messungen an Kernmaterial im Labor (Kap. 4.10).

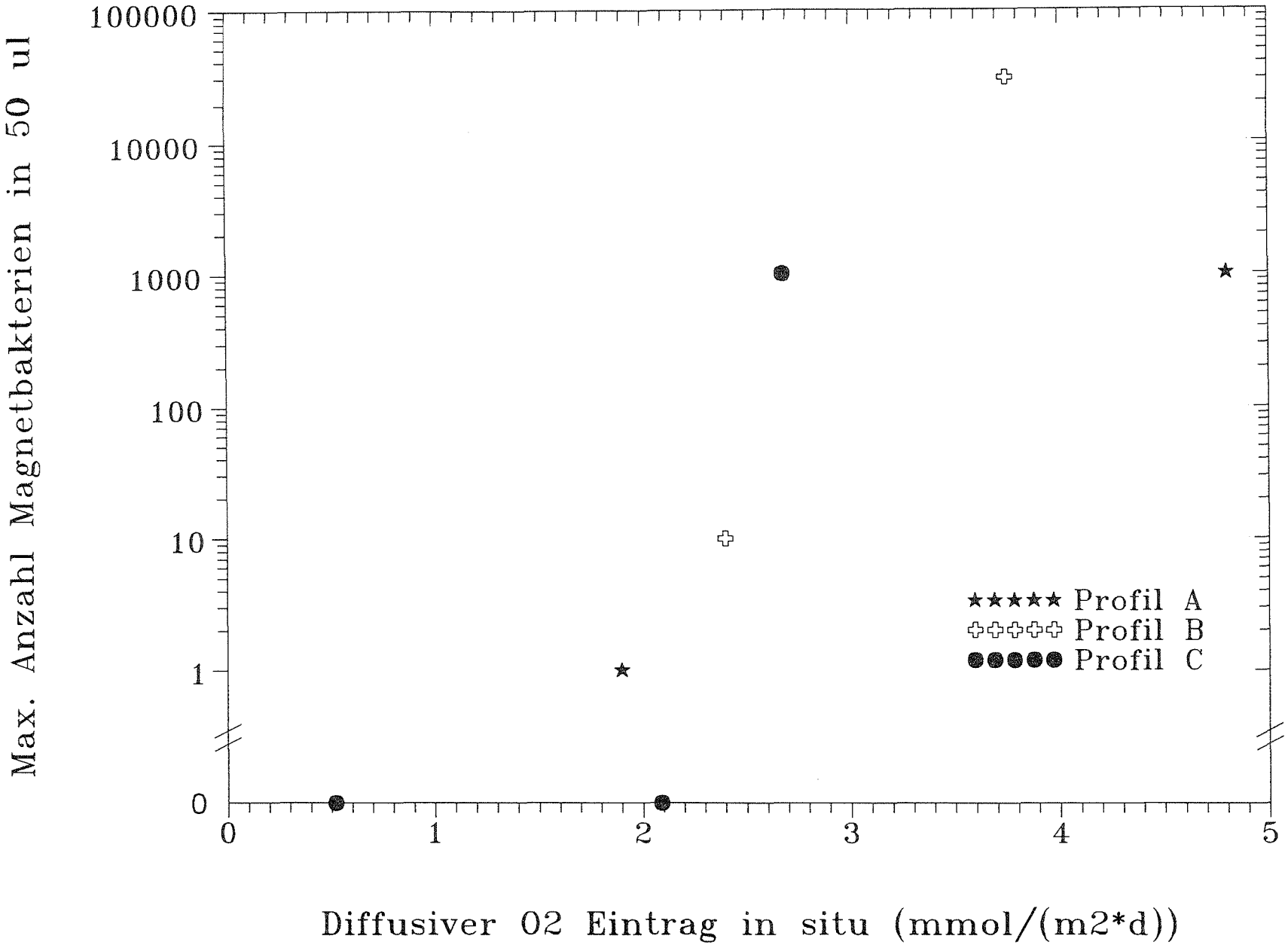


Abb. 129: Zahl der maximal beobachteten Magnetbakterien pro 50 μl als Funktion des diffusiven Sauerstoffeintrags ins Sediment nach in-situ Messungen (Kap. 4.10).

An den Stationen 1703, 1713 und 1719 wurden erhöhte Konzentrationen an Magnetbakterien auch unter der Abbautiefe von Nitrat (NO_3^-) im Porenwasser (Kap. 4.9) beobachtet. Nitrat entsteht im Sediment durch Oxidation von Stickstoffverbindungen, hauptsächlich Ammonium (NH_4^+), das beim Abbau von Proteinen freigesetzt wird. Nitratreduzierende Mikroorganismen (Denitrifizierer) nutzen den Sauerstoff des Nitrats, um organische Kohlenstoffverbindungen zu oxidieren. Der Energiegewinn dient zur Erhaltung ihrer Lebensfunktionen. Eine exakte Definition der Nitratabbaugrenze ist schwierig, da die gemessenen Nitratkonzentrationen im allgemeinen nicht völlig auf Null zurückgehen.

Nach den vorliegenden Ergebnissen können Magnetbakterien auch in nitratfreier Umgebung leben. Dies ist insofern sehr überraschend, als alle drei bisher in Reinkultur gezüchteten Magnetbakterienarten Nitratreduzierer sind. Eventuell könnte der Abbau organischer Materie durch Reduktion von Fe^{3+} in tieferen, NO_3^- freien Sedimentschichten die lebensnotwendige Energie für die Magnetbakterien liefern. Diese Hypothese wirft andererseits eine Reihe von Problemen auf, die an dieser Stelle nicht weiter diskutiert werden sollen.

Der Vergleich der Nitrat Abbautiefe mit der Häufigkeit von Magnetbakterien im Sediment zeigt, daß die Zahl der Magnetbakterien um so größer ist, je flacher NO_3^- abgebaut wird. In Abbildung 130 sind die jeweiligen Tiefenwerte, bei denen die Nitratkonzentration auf unter 10 μmol/l gesunken ist gegen die maximale Magnetbakterienzahl in 50 μl aufgetragen. Es ergibt sich eine sehr klare negative Korrelation.

Beide Parameter, diffusiver Sauerstoffeintrag und schneller Abbau von Nitrat weisen auf hohe mikrobielle Aktivitäten hin. Nitrat wird in den oberen Sedimentschichten erst durch Mikroorganismen unter Abbau von Sauerstoff gebildet. Den diffusiven Sauerstoffeintrag ins Sediment steuern Konzentrationsunterschiede, die durch diesen Sauerstoffabbau entstehen. Schneller Sauerstoffabbau führt zu einem steilen Sauerstoffgradienten, der einen hohen diffusiven Eintrag zur Folge hat. Diese Prozesse sollten die beobachtete Korrelation zwischen diffusivem Sauerstoffeintrag und Konzentration der Magnetbakterien erklären.

Für die maximale Konzentration aktiv beweglicher Magnetbakterien ergibt sich ein ausgeprägter Zusammenhang mit der Wassertiefe der Probenahmestationen (Tab. 8, Abb. 131). In Wassertiefen größer 3000 m konnten nur an der Station 1702 vor der Kongo-Mündung Magnetbakterien in sehr geringer Zahl nachgewiesen werden. In den nährstoffarmen Tiefseeebenen fehlen aktive, also leicht nachweisbare Magnetbakterien. Dies läßt vermuten, Magnetbakterien seien an Areale mit hohem Nährstoffeintrag (Flußmündungen, küstennaher Auftrieb) gebunden. Eine mögliche Ursache wäre auch darin zu sehen, daß sie komplexe Nährmedien benötigen. (Für die drei bisher in Kultur gehaltenen Magnetbakterienarten ist dies der Fall). Durch mikrobiellen Abbau im Sediment entstehen

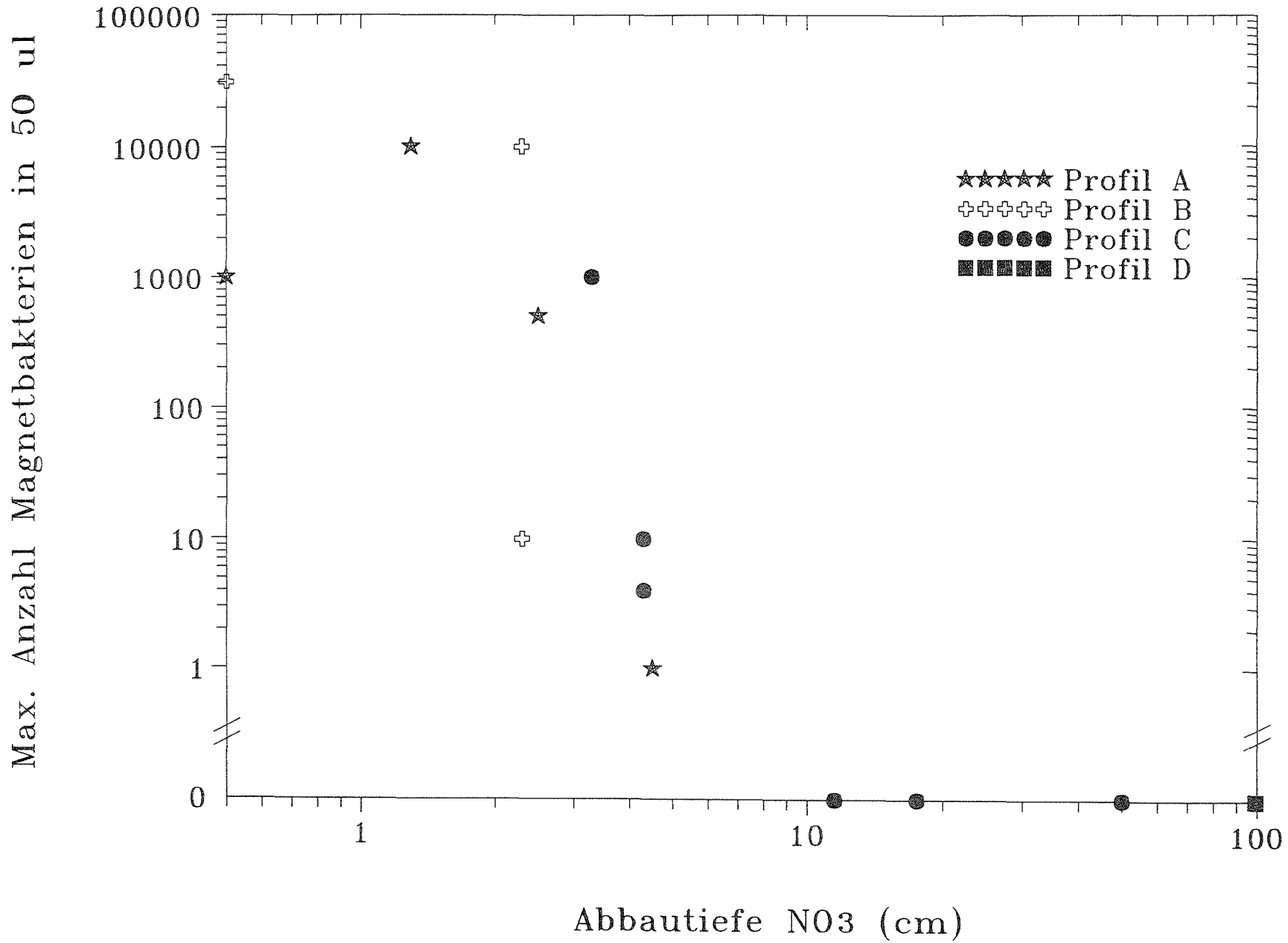


Abb. 130: Zahl der maximal beobachteten Magnetbakterien pro 50 μl als Funktion der Nitrat-Abbautiefe (Kap. 4.9).

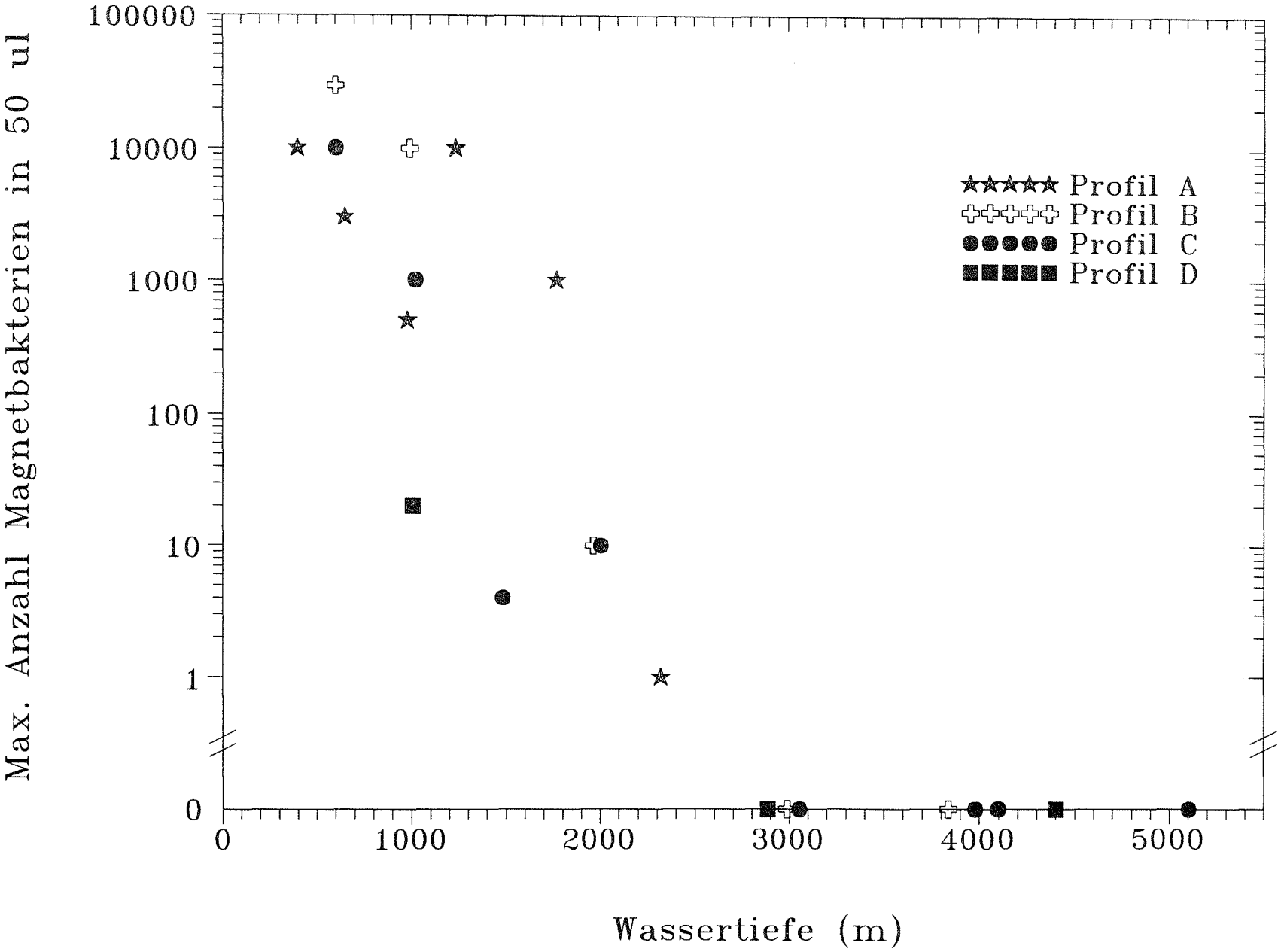


Abb. 131: Zahl der maximal beobachteten Magnetbakterien pro 50 μl als Funktion der Wassertiefe der Probenahmestationen.

viele Spaltprodukte. Falls die Magnetbakterien nur wenige eigene Enzyme zum Abbau der verfügbaren Nährstoffe besitzen, sind sie auf die Symbiose mit anderen Mikroorganismen angewiesen. Die Zahl der Symbionten ist in nährstoffreichem Milieu größer als in nährstoffarmem Milieu.

Station	Wassertiefe [m]	Maximale Bakterienzahl
1701	4162	0
1702	3078	1
1703	1771	1000
1704	399	10000
1705	647	3000
1706	980	500
1707	1234	10000
1708	2321	1
1709	3833	0
1710	2998	0
1711	1965	10
1712	992	10000
1713	600	30000
1715	4098	0
1716	1485	4
1717	601	10000
1719	1023	1000
1720	2004	10
1721	3053	0
1722	3978	0
1724	5102	0
1726	1007	20
1728	2884	0
1729	4401	0

Tab. 8: Übersicht der maximalen Bakterienzahlen in 50 μl Sedimentproben.

In Gebieten mit hohem Nährstoffeintrag ist die geochemische Schichtung, die durch verschiedene terminale Elektronenakzeptoren wie O_2, NO_3^-, Mn^{4+}, Fe^{3+} und SO_4^{2-}gebildet wird, auf eine enge, oberflächennahe Zonierung begrenzt. Mikroorganismen veratmen (oxidieren) organische Substanz und reduzieren dabei die Elektronenakzeptoren. Ist die mikrobielle Aktivität hoch, so liegen diese Schichten eng zusammen, der diffusive Transport gelöster Stoffe ist somit erhöht. Magnetischen Bakterien, die NO_3^- reduzieren steht bei enger Schichtung durch Diffusion mehr gelöstes Fe^{2+} zur Bildung der Magnetosome zur Verfügung.

Die Anzahl der Magnetbakterien korreliert in der Regel gut mit den an Bord bestimmten Enzymaktivitäten (Kap. 4.11), sind sie hoch, finden sich viele Magnetbakterien und umgekehrt. Die Station 1721 in 3000 m Wassertiefe an der westlichen Grenze des Namibia Auftriebsgebietes weicht auffällig von diesem Trend ab. Trotz hoher Enzymaktivitäten konnten hier keine Magnetbakterien nachgewiesen werden. In den Sedimenten der Station 1726 aus 1007 m Wassertiefe auf dem Walfisch-Rücken wurden trotz niedriger Aktivitäten Magnetbakterien beobachtet. Da diese Station eindeutig in einem Gebiet mit geringem Nährstoffeintrag liegt, wirft diese Beobachtung hinsichtlich der zuvor diskutierten vorläufigen Interpretation eine Reihe noch ungelöster Fragen auf. Insbesondere bleibt die Bedeutung der Wassertiefe zu klären.

Versuchsweise wurde an der Station 1702 eine Kautex-Flasche mit Wattsediment für 24 Std. auf den Meeresboden in etwa 3000 m Wassertiefe gebracht. Die magnetischen Bakterien überlebten diese Behandlung offensichtlich unbeschadet. In weiteren Laboruntersuchungen werden Proben der Sedimente, in denen an Bord keine Magnetbakterien nachgewiesen wurden, in autoklaviertes Wattsediment gegeben. Dort sollten geeignete Nährstoffe vorliegen, um im Hungerstadium befindliche Magnetbakterien zu aktivieren. Diese können dann mit der hier verwendeten Methodik nachgewiesen werden.

5. Literatur

BAINBRIDGE, A.E. & GEOSECS operations group (1981): GEOSECS Atlantic Expedition. Vol. 2, Sections and profiles. Scripps Institution of Oceanography.

BOYCE, R.E. (1968): Electrical resistivity of modern marine sediments from the Bering Sea. - J. Geophys. Res., 73, 4759-4766.

BOYCE, R.E. (1976): Sound velocity - density parameters of sediment and rock from DSDP Drill Sites 315 - 318 on the Line Islands Chain, Manihiki Plateau, and Tuamotu Ridge in the Pacific Ocean. In: Schlanger, S.O., E.D. Jackson et al., Init. Repts. DSDP, 33, 695-728.

CHAPMANN, P. & L.V. SHANNON (1987): Seasonality in the oxygen minimum layers at the extremities of the Benguela system. - In: Payne, A., J.A. Gulland & K.H. Brink (eds.): The Benguela and comparable ecosystems; S. Afr. J. Mar. Sci., 5, 85-94.

ERICSON, D.B. & G. WOLLIN (1968): Pleistocene climats and chronology in deep-sea sediments. - Science, 162, 1227-1234.

SCHULTHEISS, P.J. & S.D. MCPHAIL (1989): An automated p-wave logger for recording fine-scale compressional wave velocity structures in sediments. In: W. Ruddiman, M. Sarnthein et al., Proc. ODP, Sci. Results, 108, 407-413.

SCHULZ, H.D., N. ANDERSEN, M. BREITZKE; D. BURDA, K. DEHNING, V. DIEKAMP, T. FELIS, H. GERLACH, R. GUMPRECHT, S. HINRICHS, H. PETERMANN, C.C. PIMENTA, F. POTOTZKI, U. PROBST, H. RODE, J. SAGEMANN, U. SCHINZEL, H. SCHMIDT, R. SCHNEIDER, M. SEGL, W.J. SHOWERS, M.D. TEGELER, W. THIESSEN, U. TREPPKE, M. ZABEL (1991): Bericht und erste Ergebnisse der METEOR-Fahrt M 16/2. Berichte, Fachbereich Geowissenschaften Universität Bremen, 19, 149 S.

SIEDLER, G. & H. PETERS (1986): Physical properties of sea water. In: Landolt-Börnstein Bd. V/3a, (Hrsg. J. Sündermann), Springer Verlag, Berlin.

WEFER, G., N. ANDERSEN, U. BLEIL, M. BREITZKE, K. DEHNING, G. FISCHER, C. KOTHE, G. MEINECKE, P. MÜLLER, F. ROSTEK, J. SAGEMANN, M. SCHOLZ, M. SEGL, W. THIEßEN (1990): Bericht und erste Ergebnisse der METEOR-Fahrt M 12/1. Berichte, Fachbereich Geowissenschaften Universität Bremen, **11**, 66 S.

WEFER, G., N. ANDERSEN, W. BALZER, U. BLEIL, L. BRÜCK, D. BURDA, A. DAHMKE, B. DONNER, T. FELIS, G. FISCHER, H. GERLACH, L. GERULLIS, M. HAUF, R. HENNING, S. KEMLE, C. KOTHE, R. MELYOONI, F. POTOTZKI, H. RODE, J. SAGEMANN, M. SCHLÜTER, M. SCHOLZ, H.D. SCHULZ, V. SPIEß, U. TREPPKE (1991): Bericht und erste Ergebnisse der METEOR-Fahrt M 16/1. Berichte, Fachbereich Geowissenschaften Universität Bremen, **18**, 120 S.

6. Danksagung

Während des Fahrtabschnittes M 20/2 konnten alle geplanten Forschungsvorhaben durchgeführt werden, obwohl das Wetter im südlichsten Teil des Einsatzgebietes nicht immer sehr freundlich war und obwohl während der Reise für eine Zeit der Schiebebalken ausfiel. Daß trotzdem alle Geräteeinsätze erfolgreich durchgeführt werden konnten, verdanken wir Herrn Kapitän Kull und seiner Besatzung, die mit vielen Hilfen uns jederzeit unterstützte und - besonders beim Ausfall des Schiebebalkens - auch das manchmal fast unmögliche möglich machte. Danken möchten wir ferner der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung und dem Koordinator dieser Reise, Herrn Prof. Dr. G. Wefer, sowie der METEOR-Leitstelle für die organisatorische Betreuung bei der Planung und im Ablauf des Fahrtabschnittes.

In dieser Reihe bereits erschienen:

Nr. 1 Wefer, G., E. Suess und Fahrtteilnehmer
Bericht über die POLARSTERN-Fahrt ANT IV/2, Rio de Janeiro - Punta Arenas, 6.11. - 1.12.1985.
60 Seiten, Bremen, 1986.

Nr. 2 Hoffmann, G.
Holozänstratigraphie und Küstenlinienverlagerung an der andalusischen Mittelmeerküste.
173 Seiten, Bremen, 1988.

Nr. 3 Wefer, G., U. Bleil, P.J. Müller, H.D. Schulz, W.H. Berger, U. Brathauer, L. Brück, A. Dahmke, K. Dehning, M.L. Duarte-Morais, F. Fürsich, S. Hinrichs, K. Klockgeter, A. Kölling, C. Kothe, J.F. Makaya, H. Oberhänsli, W. Oschmann, J. Posny, F. Rostek, H. Schmidt, R. Schneider, M. Segl, M. Sobiesiak, T. Soltwedel, V. Spieß
Bericht über die METEOR-Fahrt M 6/6, Libreville - Las Palmas, 18.2. - 23.3.1988.
97 Seiten, Bremen, 1988.

Nr. 4 Wefer, G., G.F. Lutze, T.J. Müller, O. Pfannkuche, W. Schenke, G. Siedler, W. Zenk
Kurzbericht über die METEOR-Expedition Nr. 6, Hamburg - Hamburg, 28.10.1987 - 19.5.1988.
29 Seiten, Bremen, 1988.

Nr. 5 Fischer, G.
Stabile Kohlenstoff-Isotope in partikulärer organischer Substanz aus dem Südpolarmeer (Atlantischer Sektor).
161 Seiten, Bremen, 1989.

Nr. 6 Berger, W.H. und G. Wefer
Partikelfluß und Kohlenstoffkreislauf im Ozean.
Bericht und Kurzfassungen über den Workshop vom 3.-4. Juli 1989 in Bremen.
57 Seiten, Bremen, 1989.

Nr. 7 Wefer, G., U. Bleil, H.D. Schulz, W.H. Berger, T. Bickert, L. Brück, U. Claussen, A. Dahmke, K. Dehning, Y.H. Djigo, S. Hinrichs, C. Kothe, M. Krämer, A. Lücke, S. Matthias, G. Meinecke, H. Oberhänsli, J. Pätzold, U. Pflaumann, U. Probst, A. Reimann, F. Rostek, H. Schmidt, R. Schneider, T. Soltwedel, V. Spieß
Bericht über die METEOR - Fahrt M 9/4, Dakar - Santa Cruz, 19.2. - 16.3.1989.
103 Seiten, Bremen, 1989.

Nr. 8 Kölling, M.
Modellierung geochemischer Prozesse im Sickerwasser und Grundwasser.
135 Seiten, Bremen, 1990.

Nr. 9 Heinze, P.-M.
Das Auftriebsgeschehen vor Peru im Spätquartär.
204 Seiten, Bremen, 1990.

Nr. 10 Willems, H., G. Wefer, M. Rinski, B. Donner, H.-J. Bellmann, L. Eißmann. A. Müller, B.W. Flemming, H.-C. Höfle, J. Merkt, H. Streif, G. Hertweck, H. Kuntze, J. Schwaar, W. Schäfer, M.-G. Schulz, F. Grube, B. Menke
Beiträge zur Geologie und Paläontologie Norddeutschlands: Exkursionsführer.
202 Seiten, Bremen, 1990.

Nr. 11 Wefer, G., N. Andersen, U. Bleil, M. Breitzke, K. Dehning, G. Fischer, C. Kothe, G. Meinecke, P.J. Müller, F. Rostek, J. Sagemann, M. Scholz, M. Segl, W. Thiessen
Bericht über die METEOR-Fahrt M 12/1, Kapstadt - Funchal, 13.3.1990 - 14.4.1990.
66 Seiten, Bremen, 1990.

Nr. 12 Dahmke, A., H.D. Schulz, A. Kölling, F. Kracht, A. Lücke
Schwermetallspuren und geochemische Gleichgewichte zwischen Porenlösung und Sediment im Wesermündungsgebiet.
BMFT-Projekt MFU 0562, Abschlußbericht.
Bremen, Februar 1991.

Nr. 13 Rostek, F.
Physikalische Strukturen von Tiefseesedimenten des Südatlantiks und ihre Erfassung in Echolotregistrierungen.
209 Seiten, Bremen, 1991.

Nr. 14 Baumann, M.
Die Ablagerung von Tschernobyl-Radiocäsium in der Norwegischen See und in der Nordsee.
133 Seiten, Bremen, 1991.

Nr. 15 Kölling, A.
Frühdiagenetische Prozesse und Stoff-Flüsse in marinen und ästuarinen Sedimenten.
140 Seiten, Bremen, Mai 1991.

Nr. 16 SFB 261 (Hrsg.)
1. Kolloquium des Sonderforschungsbereichs 261 der Universität Bremen (14.Juni 1991): Der Südatlantik im Spätquartär: Rekonstruktion von Stoffhaushalt und Stromsystemen. Kurzfassungen der Vorträge und Poster.
66 Seiten, Bremen, Juni 1991.

Nr. 17 Pätzold, J., T. Bickert, L. Brück, G. Meinecke, S. Mulitza, C. Gaedicke
Bericht und erste Ergebnisse über die METEOR-Fahrt M 15/2,
Rio de Janeiro - Vittoria, 18.1. - 7.2.1991.
Bremen, 1991 (in Vorbereitung).

Nr. 18 Wefer, G., N. Andersen, W. Balzer, U. Bleil, L. Brück, D. Burda, A. Dahmke, B. Donner, T. Felis, G. Fischer, H. Gerlach, L. Gerullis, M. Hauf, R. Henning, S. Kemle, C. Kothe, R. Melyooni, F. Pototzki, H. Rode, J. Sagemann, M. Schlüter, M. Scholz, V. Spieß, U. Treppke
Bericht und erste Ergebnisse über die METEOR-Fahrt M 16/1,
Pointe Noire - Recife, 27.3. - 25.4.1991.
120 Seiten, Bremen, 1991.

Nr. 19 Schulz, H.D., N. Andersen, M. Breitzke, D. Burda, K. Dehning, V. Diekamp, T. Felis, H. Gerlach, R. Gumprecht, S. Hinrichs, H. Petermann, F. Pototzki, U. Probst, H. Rode, J. Sagemann, U. Schinzel, H. Schmidt, R. Schneider, M. Segl, B. Showers, M. Tegeler, W. Thiessen, U. Treppke
Bericht und erste Ergebnisse über die METEOR-Fahrt M 16/2,
Recife - Belem, 28.4. - 20.5.1991.
149 Seiten, Bremen, 1991.