



## **FS SONNE**

### **FAHRTBERICHT SO 97 KODIAK-VENT**

**SO 97-1: Kodiak - Dutch Harbour  
27.7. - 23.8.1994**

**SO 97-2: Dutch Harbour - Tokyo  
24.8. - 5.9.1994**

**SO 97-3: Tokyo - Singapur  
6.9. - 19.9.1994**

**Herausgegeben von  
Erwin Suess  
mit Beiträgen der Fahrtteilnehmer**

**GEOMAR**  
Forschungszentrum  
für marine Geowissenschaften  
der Christian-Albrechts-Universität  
zu Kiel

**Kiel 1994**  
**GEOMAR REPORT 29**

**GEOMAR**  
Research Center  
for Marine Geosciences  
Christian Albrechts University  
in Kiel

Redaktion der Serie: Gerhard Haass  
Umschlag: Kerstin Kreis, Harald Gross,  
GEOMAR Technologie GmbH

Managing Editor: Gerhard Haass  
Cover: Kerstin Kreis, Harald Gross,  
GEOMAR Technologie GmbH

**GEOMAR REPORT**  
ISSN 0936 - 5788

**GEOMAR REPORT**  
ISSN 0936 - 5788

**GEOMAR**  
Forschungszentrum  
für marine Geowissenschaften  
D-24148 Kiel  
Wischhofstr. 1-3  
Telefon (0431) 7202-0  
Telefax (0431) 72 53 91, 7 20 22 93, 72 56 50

**GEOMAR**  
Research Center  
for Marine Geosciences  
D-24148 Kiel / Germany  
Wischhofstr. 1-3  
Telephone (49) 431 / 7202-0  
Telefax (49) 431 / 72 53 91, 7 20 22 93, 72 56 50

**Gliederung**

	Seite
Vorwort.....	2
Expeditionsteilnehmer.....	4
Adressen der beteiligten Institute.....	5
Teil I: SO97-1: Kodiak - Dutch Harbor (27.07. - 23.08.94).....	7
Teil II: SO97-2: Dutch Harbor - Tokyo (24.08. - 05.09.94).....	135
Teil III: SO97-3: Tokyo - Singapur (06.09. - 19.09.94).....	157
Anhang.....	194

**Vorwort**

E. Suess

Die Forschungsfahrt SO-97 vom 27.07.-19.09.94 sollte ursprünglich in den Bereich des Kurilengrabens führen. Die dazu vom BMFT bewilligten Projekte IKONE und KURIVENT basierten auf einem interdisziplinären geophysikalisch-geochemischen Ansatz zur Untersuchung der Kurilen-Kamtschatka-Kollisionszone. Hierbei sollte neben der Struktur und Dynamik dieses Plattenrandes die Quantifizierung und Charakterisierung der am Meeresboden austretenden Fluide im Vordergrund stehen. Damit würde ein grundlegender Beitrag zum Verständnis der Fluidzirkulation und des globalen Stoffaustausches zwischen Erdkruste und Ozean erzielt werden.

Wenige Wochen vor dem geplanten Beginn der Untersuchungen gab es Verzögerungen bei der Erteilung der Forschungsgenehmigung für FS SONNE durch die russischen Behörden. Deshalb wurde ein Alternativprogramm konzipiert, bei dem die gleichen Ziele der ursprünglichen Projekte nun an der Plattenkonvergenzzone im östlichen Aleutengraben bearbeitet werden sollten. Das neue Programm KODIAK wurde in Absprache mit Kollegen des U.S. Geological Survey erstellt. Es sei an dieser Stelle hervorgehoben, daß durch den Einsatz des Office of International Geology im U.S. Geological Survey, Associate Chief R.D. Krushensky, die Forschungsgenehmigung für FS SONNE innerhalb von vier Wochen erteilt wurde.

Zur gleichen Zeit, als der Alternativvorschlag KODIAK begutachtet wurde, sprach der SONNE-Planungsausschuß die Empfehlung aus, den ursprünglich bis zum 06.09.94 bewilligten Abschnitt SO-97 um 13 Tage zu verlängern und ein Programm zu entwickeln, das während der Überfahrt von Japan nach Singapur durchgeführt werden könne. Auch hier kam es wegen der Kürze des Vorlaufes zu Engpässen bei der Bewilligung von Mitteln zur Aufstockung des Forschungsprogrammes, der Beschaffung von Geräten und der Erteilung zusätzlicher Forschungsgenehmigungen, die aber alle gemeistert werden konnten.

Durch die enge Verzahnung der Projekte und eine fachübergreifende Bearbeitung entstand so das erste umfangreiche Programm der deutschen Meeresforschung im Nordpazifik, bestehend aus einem geophysikalischen Projekt KODIAK-SEIS, einem geochemischen Projekt KODIAK-VENT und einem luftchemischen Projekt SPURENGASE. Die beiden ersten Projekte verfolgten mit unterschiedlichen Methoden und Teilzielen grundlegende strukturelle, stratigraphische und geochemische Fragenkomplexe an ausgewählten Segmenten der Konvergenzzone zwischen der nordamerikanischen und pazifischen Platte im östlichen Aleutengraben. Das dritte Projekt befaßte sich mit umweltrelevanten Spurengasen und Biomarkern in der Atmosphäre und der Oberflächenschicht des westlichen Randstromsystems im Pazifik. Der Umfang und die wissenschaftliche Breite des Programmes erforderte interdisziplinäre Bearbeitung. Deshalb wurden die Arbeitsgruppen der Abteilungen Ozeanische Geodynamik und Marine Umweltgeologie des GEOMAR ergänzt durch

Arbeitsgruppen des Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg (He-Isotopenuntersuchungen), des Instituts für Meereskunde an der Universität Kiel (leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe), des Instituts für Chemie des Max-Planck-Instituts Mainz (schwefelhaltige Spurengase und Stickoxide) sowie durch die Zusammenarbeit mit dem Ryan Institute of Marine Science in Galway, Ireland, dessen Mitarbeiter am Fahrtabschnitt SO97-1 teilnahmen.

Aus logistischen Gründen wurden die drei Projekte in fünf Fahrtabschnitte aufgeteilt; in KODIAK-SEIS (SO96-1 und -2), KODIAK-VENT (SO97-1 und -2) und SPURENGASE (SO97-3). Der hier vorliegende Fahrtbericht umfaßt die drei Abschnitte der Reise SO-97; der Bericht zu SO-96 ist bereits als eigenständiger Fahrtbericht erschienen.

Das gesamte Programm SO-97 wurde im Rahmen der förderpolitischen Ziele des BMFT der ökologischen Tiefseeforschung zugerechnet, speziell der zielgerichteten Grundlagenforschung. Es soll dem besseren Verständnis der Tiefsee-Ventbiotope dienen, den Austausch von Spurenstoffen im System: Kruste-Ozean-Atmosphäre quantifizieren helfen und neue Senken und Quellen im globalen Stoffkreislauf indentifizieren. Der Erfolg der Reise ist der Mithilfe zahlreicher Personen, Behörden und Verwaltungen zu verdanken. Zuerst sei hier die gute Zusammenarbeit mit der Reedereigemeinschaft Forschungsschiffahrt erwähnt und der Einsatz der Besatzung des FS SONNE mit ihrer wertvollen Erfahrung und tatkräftigen Mithilfe. Auch sei an dieser Stelle den diplomatischen Vertretungen der Bundesrepublik Deutschland in Washington, Tokyo und Manila gedankt, die sich für die Erteilung der Forschungsgenehmigungen einsetzten sowie den Verwaltungen des Instituts für Meereskunde, Kiel, des Instituts für Umweltphysik, Heidelberg, des Max-Planck-Instituts für Chemie, Mainz und natürlich der GEOMAR-Verwaltung, die mit dem Projektträger BEO in Warnemünde für einen reibungslosen Ablauf der umfangreichen Projektverwaltung sorgten. Die hohe Qualität der wissenschaftlichen Beiträge zu diesem Bericht ist ein Zeichen für die Begeisterung aller Beteiligten, die nicht hoch genug eingeschätzt werden kann. Bei der kurzfristigen Erstellung des Fahrtberichtes sei besonders die Mithilfe von S. Laube und G. Bohrmann erwähnt; ihnen allen danke ich sehr herzlich. Zum Schluß sei dem Bundesministerium für Forschung und Technologie und der Europäischen Gemeinschaft (HCM-Programm) für die zur Verfügung gestellten Mittel besonders herzlich gedankt.

**Expeditionsteilnehmer**

**Wissenschaftler**

**Fahrtabschnitt SO97-1:**

Beck, Denise	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Biebow, Nicole	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Bleyer, Anke	GEOMAR GTG, Kiel
Bohrmann, Gerhard	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Cremer, Axel	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Didié, Claudia	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Domeyer, Bettina	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Eardly, Don	Martin Ryan Institute, Galway
Faull, John	Martin Ryan Institute, Galway
Krüger, Nils-Henner	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Lammers, Stephan	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Linke, Peter	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Oswald, Monika	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Rehder, Gregor	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Sahling, Heiko	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Schott, Torsten	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Schumann, Marcus	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Stavenhagen, Alexander	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Suess, Erwin, <b>Fahrtleiter</b>	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Wallmann, Klaus	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Winckler, Gisela	Umweltphysik, Uni Heidelberg

**Fahrtabschnitt SO97-2:**

Gerdom, Martin	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Hojka, André	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Kukowski, Nina, <b>Fahrtleiterin</b>	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Quack, Birgit	Institut für Meereskunde, Kiel
Rehder, Gregor	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Ruoff, Oliver	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Stavenhagen, Alexander	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Weinrebe, Willi	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel

**Fahrtabschnitt SO97-3:**

Amouroux, David	Max-Planck-Institut, Mainz
Besson, Thierry	Max-Planck-Institut, Mainz
Flügge, Arnim	SFB 313, Universität Kiel
Keir, Robin	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Laube, Sabine	GEOMAR Forschungszentrum, Kiel
Quack, Birgit	Institut für Meereskunde, Kiel

Rehder, Gregor  
Skripko, Tanja  
Suess, Erwin, **Fahrtleiter**

GEOMAR Forschungszentrum, Kiel  
Max-Planck-Institut, Mainz  
GEOMAR Forschungszentrum, Kiel

### **Adressen der beteiligten Institute**

GEOMAR Forschungszentrum für marine Geowissenschaften  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel  
Wischhofstraße 1-3  
24148 Kiel  
Germany

GEOMAR Technologie GmbH  
Wischhofstraße 1-3  
24148 Kiel  
Germany

Institut für Meereskunde  
der Universität Kiel  
Düsternbrooker Weg 20  
24105 Kiel  
Germany

Institut für Umweltphysik  
der Universität Heidelberg  
Im Neuenheimer Feld 366  
69120 Heidelberg  
Germany

Martin Ryan Science Institute  
University College Galway  
Galway  
Ireland

Max-Planck-Institut für Chemie  
Joh. J. Becher-Weg 27  
55020 Mainz  
Germany

Sonderforschungsbereich 313  
der Universität Kiel  
Heinrich-Hecht-Platz 10  
24118 Kiel  
Germany

**Besatzung**

Bekaan, Steffen	Elektriker	
Bendin, Axel	2. Offizier	
vom Berg, Götz	Matrose	SO97-1 & -2
Bethge, Hans	Motorenwärter	
Bochnik, Eberhard	2. Offizier	
Bruhns, Horst	Funkoffizier	
Cwienk, Adolf	Kochsmaat	
Duthel, Rainer	Elektroniker	
Evers, Wolfgang	Koch	
Grund, Helmuth	2. Ingenieur	
Hammoor, Sonja	Stewardess	
Hartwig, Karl-Heinz	Bootsmann	
Immenroth, Alfred	Motorenwärter	
James, Brian	Elektroniker	SO97-1 & -2
Kraft, Jürgen	Matrose	
Krüger, Helmut	Matrose	SO97-1 & -2
Ladage, Stefan	Systemoperateur	
Nasgowitz, Hans-Gerhard	Matrose	
Oellerich, Gerhard	1. Offizier	
Ostersehl, Ralf	Arzt	
Peters, Axel	Matrose	
Prechtl, Hans-Jürgen	2. Steward	
Rex, Andreas	2. Ingenieur	
Rossa, Georg	Deckschlosser	
Schmaltz, Karl-Hermann	Matrose	
Tank, Andreas	Systemoperateur	
Thaysen, Uwe	Ltd. Ingenieur	
Tiedemann, Günter	1. Steward	
Wagener, Jochen	<b>Kapitän</b>	
Wolf, Dieter	Motorenwärter	

**Teil I:**  
**Fahrtabschnitt SO97-1 vom 27.07. - 23.08.94**  
**Kodiak-Dutch Harbor**

Inhaltsverzeichnis	Seite
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>8</b>
<b>2. Untersuchungsgebiete</b> .....	<b>13</b>
EDGE.....	14
ALBATROSS.....	19
SHUMAGIN.....	22
<b>3. Fahrtverlauf</b> .....	<b>25</b>
<b>4. Hydroakustische und magnetische Messungen</b> .....	<b>35</b>
4.1 HYDROSWEEP-Vermessung.....	35
4.2 PARASOUND-Vermessung.....	45
4.3 Magnetik, Akquisition und Datenbearbeitung.....	51
<b>5. Arbeiten in der Wassersäule</b> .....	<b>54</b>
5.1 Einsatz des Kranzwasserschöpfers und der Multisonde.....	54
5.2 Methan in der Wassersäule.....	58
5.3 Nährstoffe und Sauerstoff.....	63
5.4 Helium und Tritium.....	67
5.5 Microbiology.....	69
<b>6. Vent-Beobachtung mit dem TV-Schlitten EXPLOS</b> .....	<b>72</b>
6.1 Gerätekonfiguration.....	72
6.2 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse.....	74
<b>7. Vent-Beprobung mit dem Vent-Sampler VESP</b> .....	<b>85</b>
7.1 Einsatz der Probenkammer.....	85
7.2 Ergebnisse der Ausstromratenmessungen.....	87
7.3 Geochemische Analysen.....	94
<b>8. Vent-Beprobung, Sedimentologie und Geochemie</b> .....	<b>100</b>
8.1 Einsatz der geologischen Geräte.....	100
8.2 Vent-Beprobung mit TV-Greifer.....	101
8.3 Sedimentbeprobung und erste sedimentologische Ergebnisse.....	105
8.4 Geochemische Untersuchungen.....	108
<b>9. Sediment profile imagery</b> .....	<b>118</b>
9.1 Introduction.....	118
9.2 Materials and methods.....	119
9.3 Results.....	129
<b>10. Literatur</b> .....	<b>131</b>

1. Einleitung  
E. Suess

Die Bilanzierung von Fluiden und Gasen sowie deren Zirkulation im Bereich aktiver Plattenränder sind wichtige Ziele moderner geowissenschaftlicher Grundlagenforschung (COSOD-2; ODP Legs 110, 112, 131, 141 und 146; Moore et al., 1990; Suess et al., 1990; Lewis et al., 1992; Taira et al., 1991; Carson et al., 1993). Die Fluidzirkulation durch tektonischen Streß der Plattenkonvergenz ist ein bedeutender Vorgang in der Lithosphäre, welcher die sedimentphysikalischen, geothermischen und geochemischen Eigenschaften im Akkretionskeil beeinflusst. In Wechselwirkung greift somit die submarine Hydrologie in die Dynamik der Krustenprozesse ein und beeinflusst gleichzeitig das tektonische und magmatische Lithosphärengefüge.

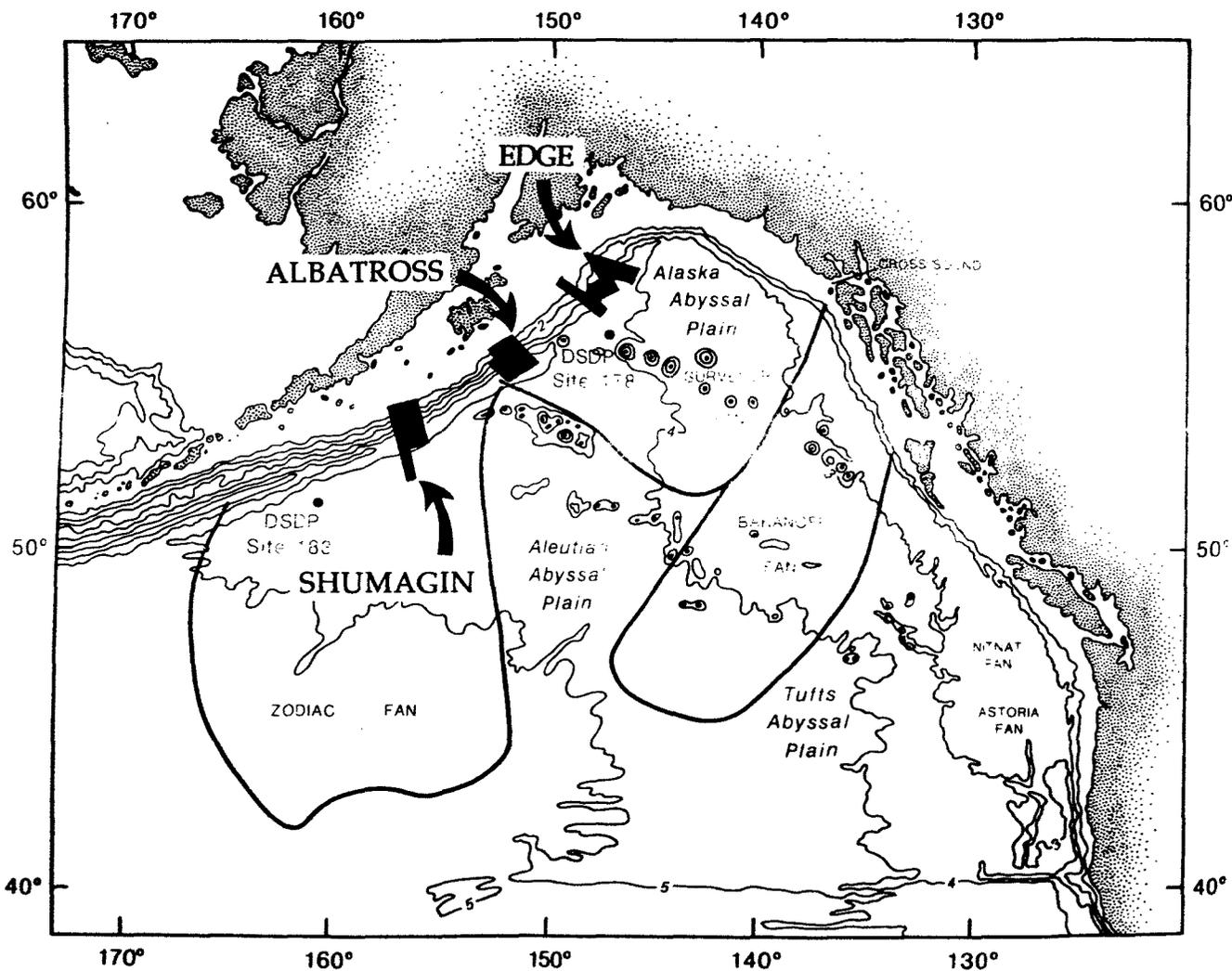
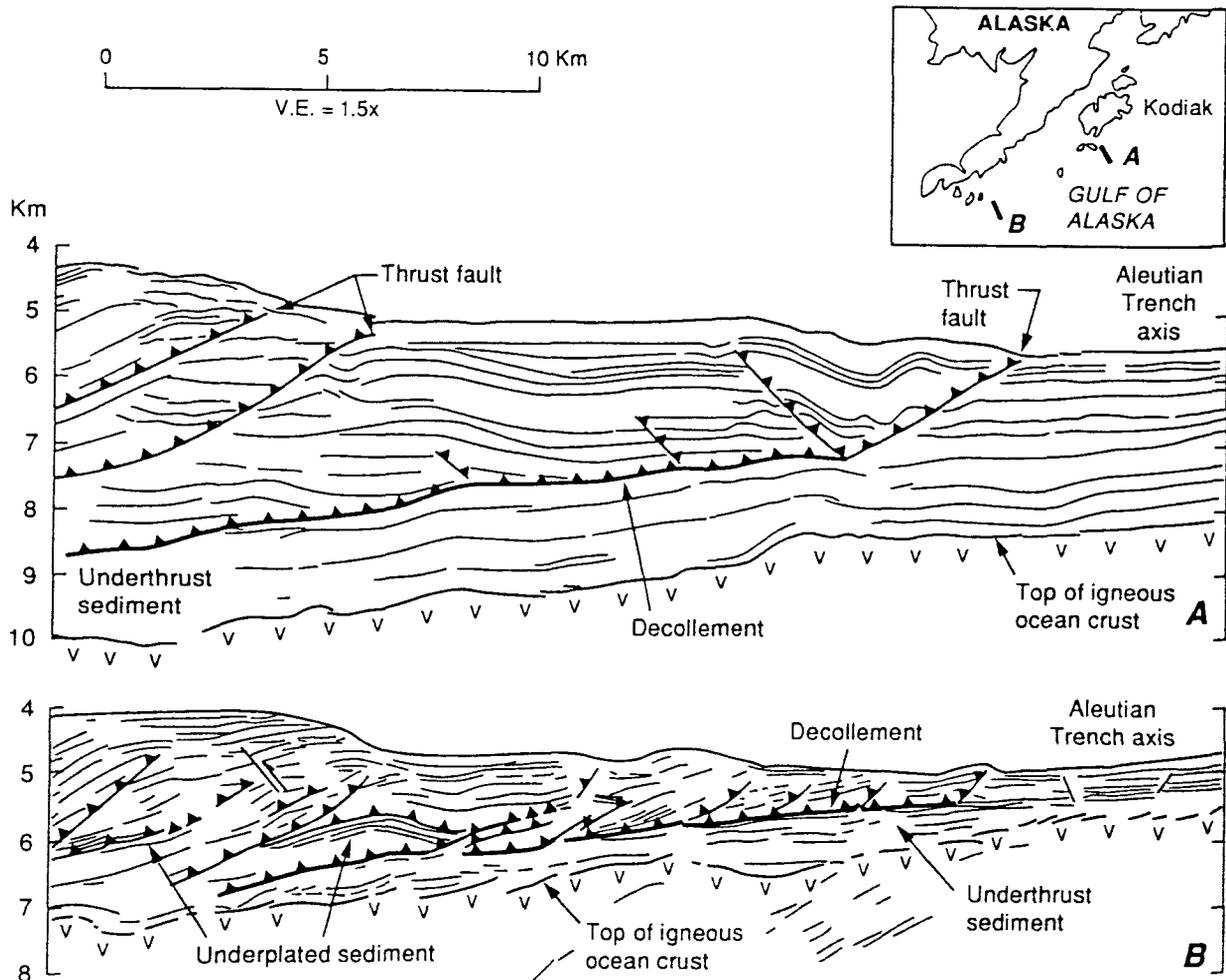


Abb. 1: Lage der großräumigen Sedimentfächer und Positionen der drei Arbeitsgebiete SHUMAGIN, ALBATROSS und EDGE.

Ein markantes Element der Fluidzirkulation im Bereich von Plattenkonvergenzonen sind Austrittsstellen von Fluiden (Vents oder Cold Seeps) am Meeresboden, welche eine wichtige Rolle im Massentransport zwischen Lithosphäre und Hydrosphäre einnehmen können. Die Bedeutung solcher Prozesse im Bereich von Akkretionskeilen konnte erstmals durch Einsätze mit Tiefseetauchbooten dokumentiert werden (Suess et al., 1985; Kulm et al., 1986). Dabei wurde gezeigt, daß in bestimmten tektonischen Einheiten die



**Abb. 2:** Reflexionsseismische Profile aus zwei unterschiedlichen Segmenten des östlichen Aleutengrabens (von Huene and Scholl, 1991). Profil A stammt aus dem Arbeitsgebiet ALBATROSS, wo mächtige Sedimente des Surveyor Sedimentfächers subduziert werden. Im Profil B des Arbeitsgebietes SHUMAGIN werden die deutlich geringer mächtigen Sedimente des Zodiac Fächers subduziert.

Vents durch die Besiedlung von spezifischen Organismengemeinschaften, meist von Mollusken und Bartenwürmern (Pogonophora), charakterisiert sind. Die Populationen erreichen ihre Größe und Dichte durch eine Symbiose mit chemoautotrophen Bakterien, die an die Oxidation von Methan und Schwefelwasserstoff in unmittelbarer Nähe der Vents gekoppelt ist.

Bis heute haben sich aus diesen Erkenntnissen eine Reihe grundlegender Fragen herauskristallisiert, von denen die nach der Wasserbilanz und der Größenordnung des Stoffeintrages im Vordergrund stehen. Im zirkumpazifischen Plattengefüge sind bisher die Cascadia-Subduktionszone (NW Amerika) und der Peru-Kontinentalhang (SW Amerika) detailliert untersucht worden (Suess, 1992; Bourgois et al., 1993; Linke et al., 1994; Suess et al., 1990; von Huene und Lee, 1983). Mit dem Programm KODIAK-VENT sollte zum ersten Mal in einem der prominentesten Akkretionskeile gezielt Vent-Aktivitäten gesucht werden, obwohl bisher, trotz langjähriger Bearbeitung, hier keine Anhaltspunkte dafür bekannt waren. Darüberhinaus sollte in diesem Gebiet ein Vergleich der gemessenen Ausflußraten mit der GEOMAR-Probenkammer VESP und den geophysikalisch abgeleiteten Entwässerungsraten durchgeführt werden, um die bisher bestehende Diskrepanz der Ergebnisse beider Ansätze klären zu können.

Die Untersuchungen zur Entwässerung während KODIAK-VENT beschränkten sich auf den Vergleich zwischen drei Gebieten: EDGE, SHUMAGIN und ALBATROSS, die eine unterschiedliche Geometrie und unterschiedliches Alter aufweisen (Abb. 1). Die Subduktion wird neben dem Konvergenzwinkel und den verschiedenen Konvergenzraten im wesentlichen durch den unterschiedlichen Aufbau der ozeanischen Kruste und den überlagernden Sedimentfächern bestimmt (Abb. 1). Die großen Sedimentfächer Zodiac, Surveyor und Baranoff wurden durch Schüttungen terrigenen Materials vom nordamerikanischen Kontinent in die Tiefseebecken aufgebaut und haben unterschiedliches Alter. Im Gebiet SHUMAGIN wird der Zodiac Fächer subduziert, der eine von Süden herantransportierte Einheit darstellt, welche bereits im Eozän aufgebaut wurde (Stevenson and Embley, 1987). In den Gebieten EDGE und ALBATROSS wird der jüngere Surveyor Fächer subduziert, dessen Aufbau seit dem Miozän bekannt ist (Abb. 2). Die Sedimentmächtigkeit in diesen Gebieten führt zu einem mächtigen Akkretionskeil, so daß ein großes Fluidpotential erwartet wurde.

Von den geochemischen und isotopischen Untersuchungen wird erwartet, daß Unterscheidungsmerkmale der Fluidreservoirs zwischen den östlichen und den westlichen Arbeitsgebieten festzustellen sind bzw. eine unterschiedliche chemische Evolution während des Entwässerungsvorganges stattgefunden hat. Im Rahmen der Reise SO97-1 wurden eine Reihe von Einzelfragen sowohl zu der Fluidzirkulation im Aleutengraben als auch zur Fluid- und Gaszirkulation allgemein in Konvergenzzonen bearbeitet, die wie folgt zusammengefaßt werden können:

- In welchen tektonischen Einheiten lassen sich Vents finden, und wo treten sie gehäuft auf?
- Welche Organismen sind an die Vents gebunden, und welche Aussagen über die zeitliche Stoff-Änderung lassen sich in ihren Hartschalen dokumentieren?
- Wie hoch sind die Ausstromraten der Formationswässer und die einzelner Fluid- und Gasphasen an lokalisierten Austrittsstellen?
- Wie können die Ausstrommessungen an einzelnen Vents auf größere Gebiete übertragen werden?
- Welche Beziehung besteht zur Geologie des Untergrundes und zur lateralen Variation einzelner tektonischer Segmente?
- Welche Reservoirs lassen sich charakteristischen Fluidphasen zuordnen, und welche Antriebsmechanismen sind für die Fluidzirkulation vorstellbar?
- Welche Mineralpräzipitate lassen sich auf Fluidzirkulation bzw. Austritte am Meeresboden zurückführen, und wie wird die Diagenese im Akkretionskeil (besonders die Zementierung) durch die Fluidzirkulation beeinflusst?

Zur Beantwortung dieser vorwiegend geochemischen Fragen wurden vier Ansätze verfolgt. Die HYDROSWEEP-Vermessung diente in erster Linie der Auswahl geeigneter Ziele zum Auffinden von Vents. Die durchgeführten Arbeiten waren im wesentlichen eine Ergänzung der großflächig angelegten Bearbeitung der Untersuchungsgebiete, die während der vorangegangenen Abschnitte SO96-1 und -2 stattgefunden hat.

Als zweiter Schritt dienten Untersuchungen in der Wassersäule der weiteren Einengung potentieller Ventgebiete. Hierbei wurde davon ausgegangen, daß aktive Vents durch Methananomalien im Bodenwasser erkennbar seien und daß abnehmende bzw. zunehmende Konzentrationen die weitere oder kürzere Entfernung zu einem aktiven Ventgebiet anzeigten. Dieser Ansatz konnte vollauf bestätigt werden, und die Ergebnisse der Methan-Kartierung in der bodennahen Wassersäule sind eines der herausragenden Ergebnisse.

Als dritter Schritt diente die Detailerkundung der Vent-Positionen mit dem EXPLOS. In über 20 Einsätzen wurden insgesamt acht aktive Ventgebiete in den unterschiedlichen tektonischen Einheiten der drei Untersuchungsgebiete gefunden. Ohne Zweifel ist diese Dokumentation das wichtigste Ergebnis der Reise SO97-1 überhaupt. Die Beprobung aktiver Vent-Felder nahm ungefähr ein Drittel der gesamten Arbeitszeit auf See in Anspruch. Der TV-Greifer und die ebenfalls videogeführte Probenkammer VESP kamen hier zum Einsatz. Ventvergesellschaftungen von enormem Individuenreichtum, anorganisch-geochemische Präzipitate und extrem anomaler Porenwassermechanismus

waren das Ergebnis der Beprobung weitverbreiteter Vent-Aktivitäten der Aleuten-Subduktionszone. Auch zählen die erfolgreichen Einsätze der Probenkammer VESP zu den Höhepunkten der Reise. Trotz der sehr erfolgreichen Beprobung der Vents durch diese Geräte entwickelte sich die Probennahme doch deutlich zeitaufwendiger als erwartet. Bei zukünftigen Einsätzen sollte eine Transpondernavigation oder die Verfügbarkeit eines oder mehrerer akustischer Responder unbedingt berücksichtigt werden. Dredge- und Kerngeräteeinsätze spielten eine untergeordnete Rolle. Die Kernentnahme diente in erster Linie dazu, geeignete Vergleichsproben zu den Vent-beeinflußten Sedimenten zu erhalten.

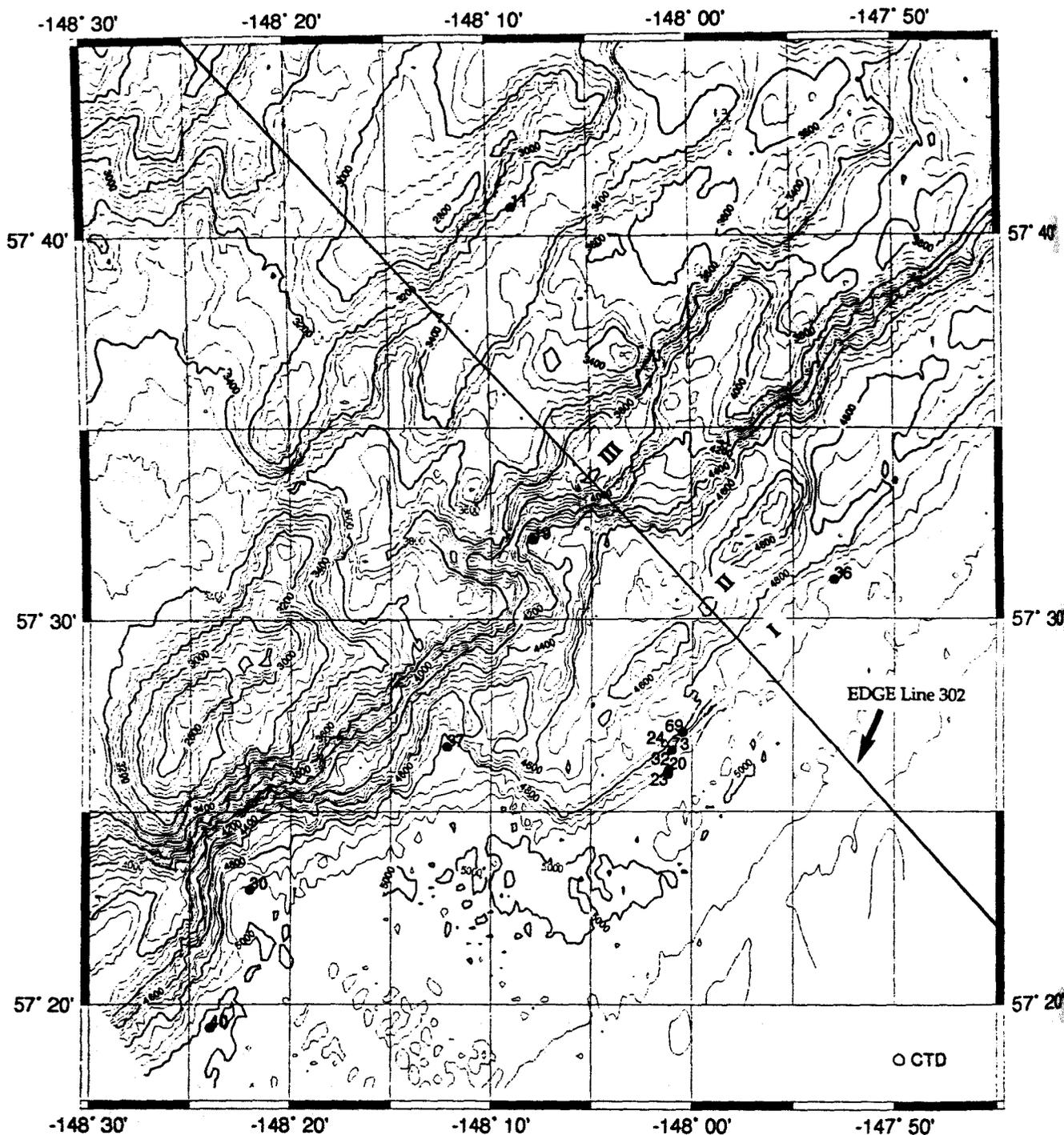
Der Fahrtbericht folgt in seinem Aufbau diesem methodischen Ansatz, indem zuerst die Ergebnisse der Fächerlotvermessung vorgestellt, und dann der Einsatz des Kranzwasserschöpfers und der Multisonde mit den Ergebnissen der Arbeiten in der Wassersäule behandelt werden. Diese schließen die Beprobung für mikrobiologische Untersuchungen zur genetischen Charakterisierung von Tiefseebakterien durch DNS und RNS ein. Darauf folgen die Vent-Beobachtungen mit dem TV-Schlitten EXPLOS und schließlich in zwei Kapiteln die Ergebnisse der Vent-Beprobungen (VESP-Einsätze und Geochemie). Das letzte Kapitel behandelt den Einsatz des Sediment-Profile-Imaging-Systems. Der Anhang enthält, wie üblich, die Stations- und Beprobungslisten.

## 2. Untersuchungsgebiete

G. Bohrmann und E. Suess

Das Untersuchungsgebiet umfaßt drei ausgewählte Teilsegmente (EDGE, ALBATROSS und SHUMAGIN, siehe Abb. 1) von ozeanwärtigen Bereichen des Kontinentalrandes vor Alaska. Dieser Kontinentalrand der Nordamerikanischen Platte ist durch einen ungewöhnlich breiten Akkretionskomplex charakterisiert (im Golf von Alaska bis zu ca. 250 km), der während seiner mesozoisch bis rezenten Kollision mit der Pazifischen Platte aufgebaut wurde (Moore et al., 1991). Die aus ozeanischem Basement bestehende Pazifische Platte wird heute mit einer Konvergenzrate von ca. 5,5 cm/Jahr relativ zur Nordamerikanischen Platte in nordwestliche Richtung bewegt und im Bereich des Aleutengrabens subduziert (von Huene et al., 1987; von Huene, 1989). Viele charakteristische Strukturelemente einer Konvergenzzone von ozeanischer mit kontinentaler Platte sind hier entwickelt. Neben dem rezenten, strukturell aktiven Akkretionskeil, welcher sich durch die tektonische Stapelung von überwiegend sedimentärem Material aus dem Tiefseegraben aufbaut, sind zahlreiche akkretionierte Krustenteile, welche als Terrane bekannt sind, zu finden bis hin zum magmatischen Bogen, der vor allem im Bereich der Halbinsel von Alaska und seiner nach NE reichenden Fortsetzung in Form einer morphologisch sich deutlich hervorhebenden Vulkankette dokumentiert wird (Moore et al., 1991).

Während im Aleutengraben die Plattengrenze recht klar durch die Subduktion definierbar ist, ist der Ostrand der Pazifischen Platte, welcher vorwiegend durch tektonische Transformelemente charakterisiert ist, durch das Yakutat Terran weniger gut erkennbar (Diskussion siehe in Flüh et al., 1994: Fahrtbericht SO96). Wie alle tektonischen Strukturelemente des Aleuten-Kollisionskomplexes, ändert sich entsprechend seinem Bogencharakter auch die Richtung des Trenches von einem etwa W/E Streichen im westlichen Teil zu einer SW/NE-Richtung im Golf von Alaska (Abb. 1). Der Tiefseegraben selbst erreicht seine größten Tiefen im Westen und wird nach Nordosten hin zum Golf von Alaska flacher. Während der Tiefseegraben in SHUMAGIN bei Tiefen von 6000 m liegt, erreicht er im Bereich ALBATROSS im Mittel etwa 5400 m und im EDGE-Arbeitsgebiet schließlich nur noch 5000 m. Diese Verflachung in nordöstliche Richtung wird sowohl durch den veränderten Kollisionswinkel als auch durch die unterschiedlich hohe Sedimentakkumulation beeinflusst. Ein hoher Eintrag von vorwiegend terrigenem Sedimentmaterial vom Nordamerikanischen Kontinent erfolgt durch turbiditischen Transport mit heutigem Schwerpunkt im Bereich des Surveyor Fächers. Im Surveyor Fächer sind eine Vielzahl von turbiditischen Transportkanälen zu finden, die SW der Kodiak-Bowie Seamountkette zusammenlaufen und SE der Insel Kodiak in den Aleutengraben einmünden (Stevenson and Embley, 1987; Stevenson et al., 1987). Entlang des Aleutengrabens findet ein Transport mittels Trübestrome von Nordosten in südwestliche Richtung statt, wobei in proximalen Gebieten die Sedimentmächtigkeiten gegenüber den distalen Bereichen abnehmen.



**Abb. 3:** Bathymetrische Karte im Arbeitsgebiet EDGE, basierend auf den HYDROSWEEP-Vermessungen der SO96-Fahrt mit Lage der seismischen Profillinie 302 und den CTD-Stationen von SO97-1. Die Zahlen I, II und III geben die Bezeichnung der Rückensysteme an.

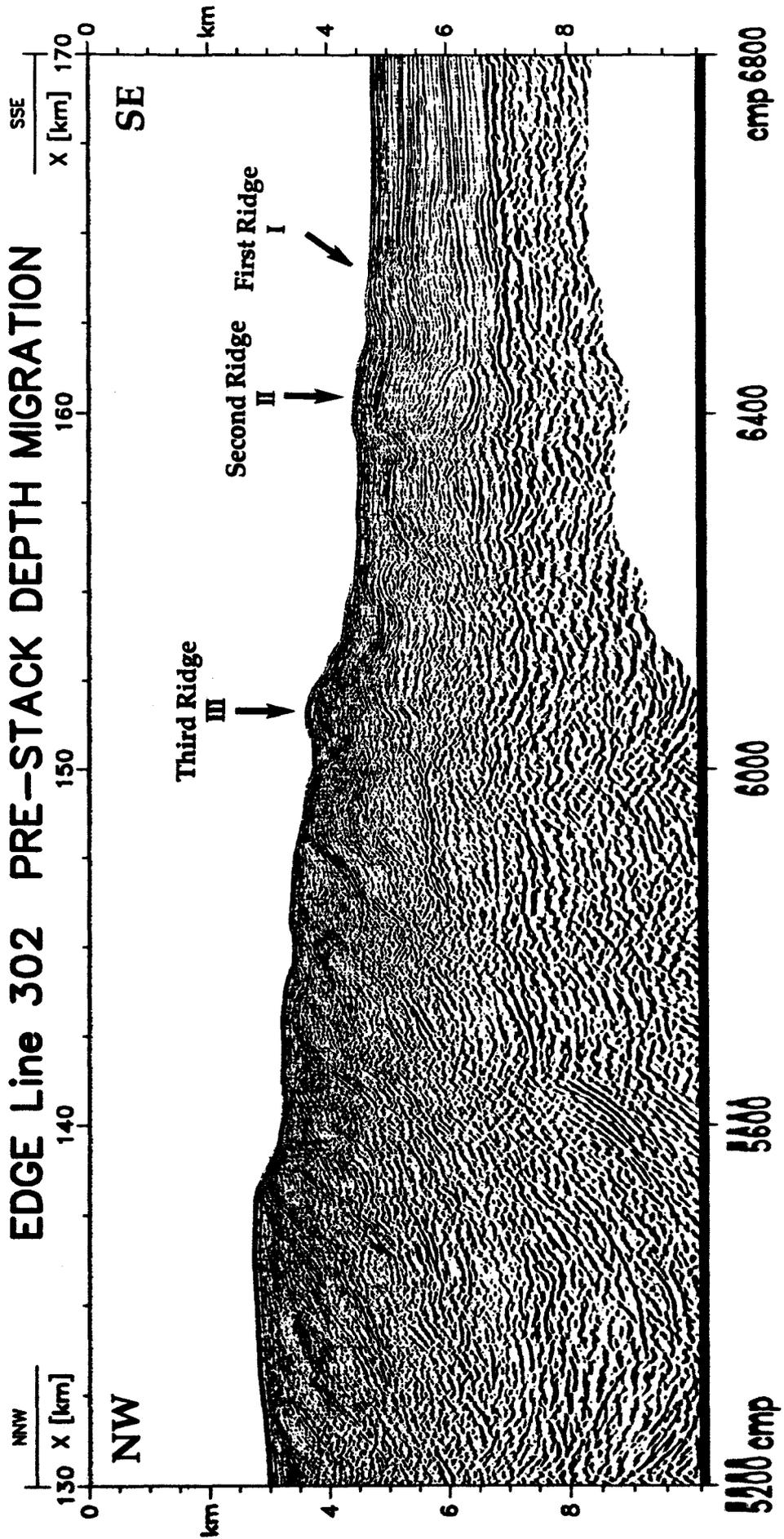


Abb. 4: Seismisches Profil 302, welches im Rahmen des EDGE-Programmes im südlichsten, ozeanwärtigen Teil vermessen und am GEOMAR prozessiert wurde. Die ersten 3 Rückensysteme des Akkretionskeiles sind markiert.

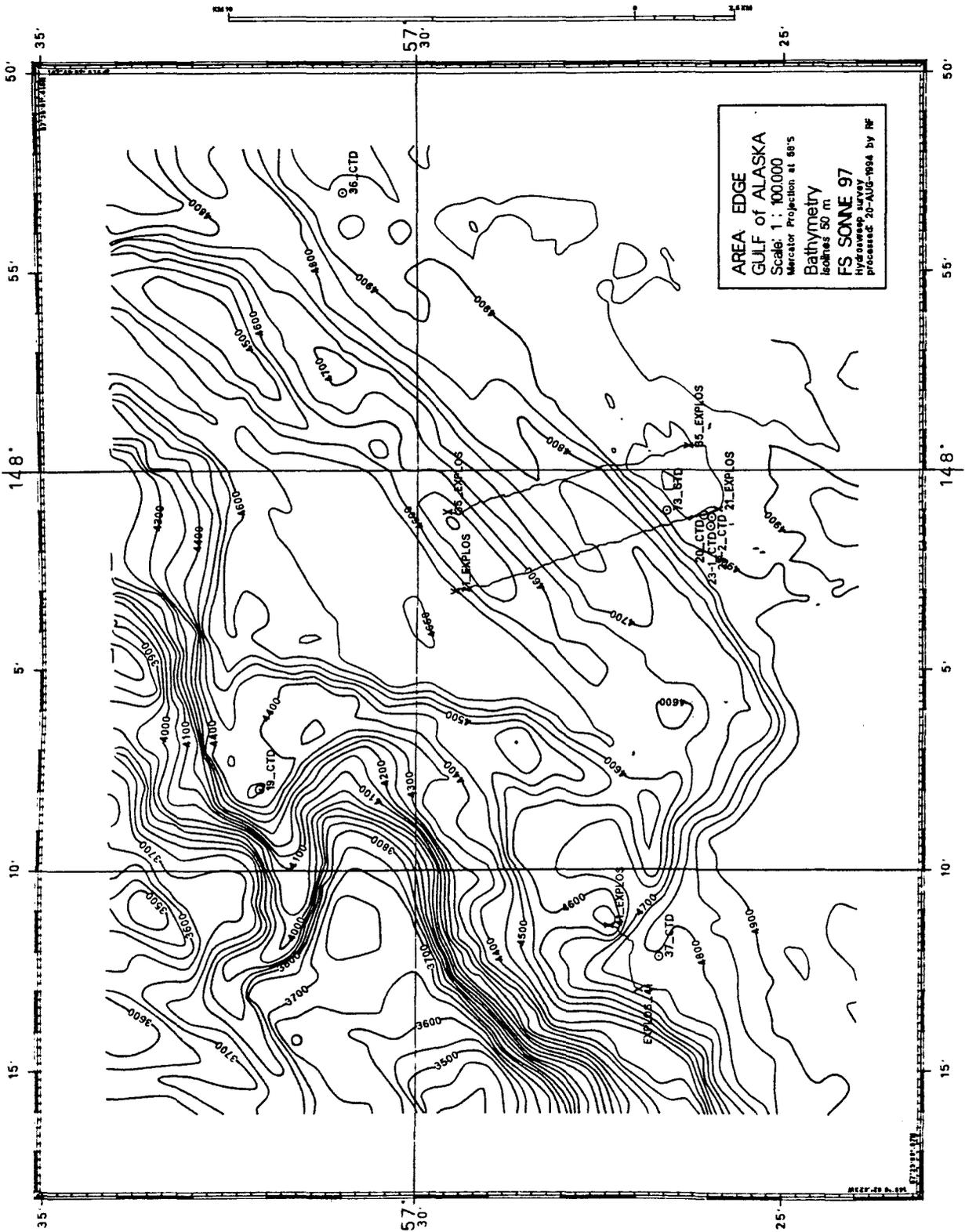
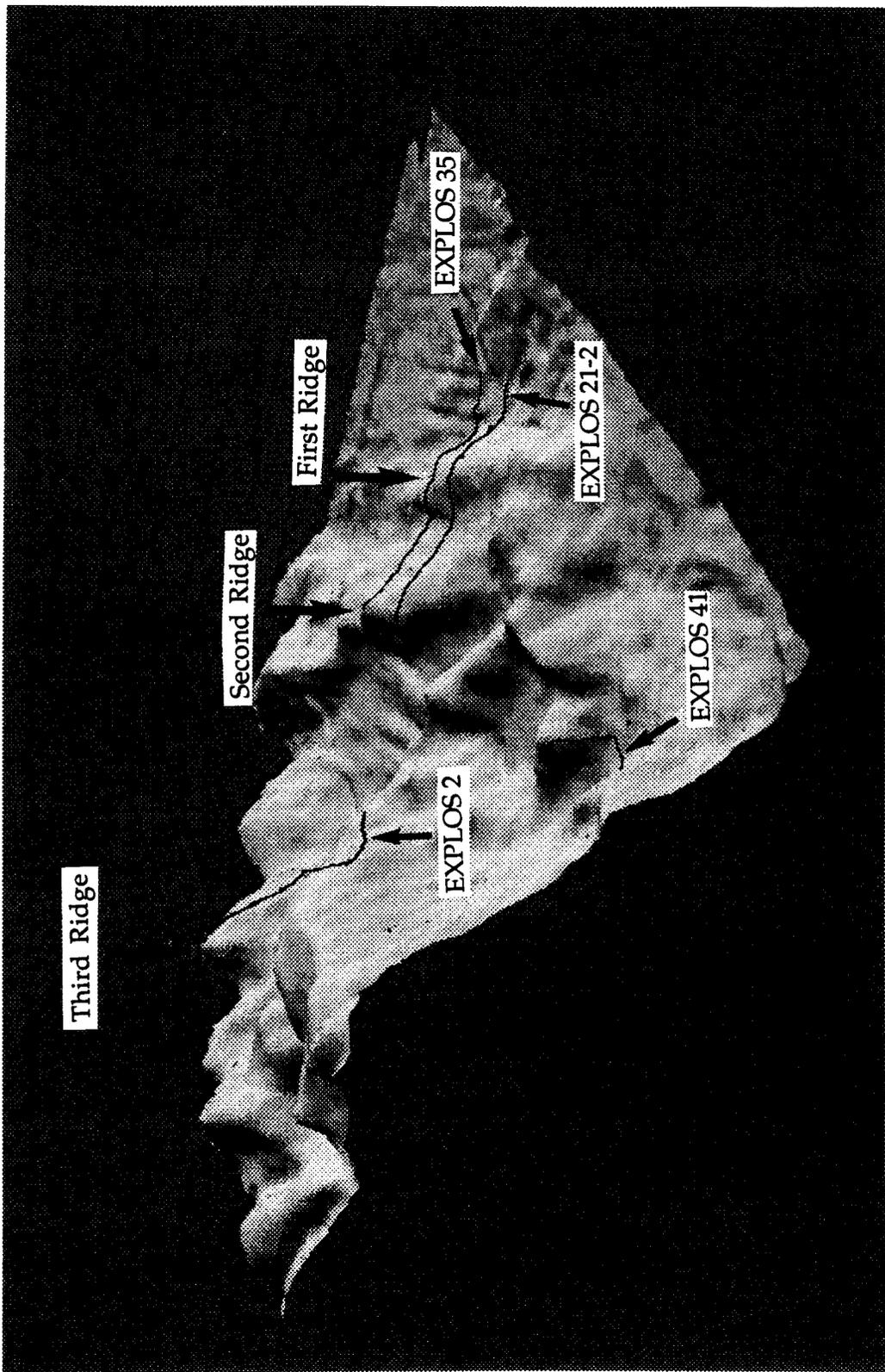


Abb. 5: Ausschnitt des engeren Untersuchungsgebietes im Bereich EDGE während SO97-1 mit Lage der EXPLOS-Tracks und CTD-Stationen.



**Abb. 6:** 3-D-Darstellung der bathymetrischen Vermessung mit HYDROSWEEP im engeren SO97-1-Untersuchungsgebiet von EDGE (Blickrichtung von SW nach NE) mit EXPLOS-Tracks und Benennung der Rückensysteme.

Vom U. S. Geological Survey sind in den siebziger und achtziger Jahren eine ganze Reihe von geophysikalischen Untersuchungen im Bereich des östlichen Aleutengrabens durchgeführt worden (Bruns et al., 1987; von Huene et al. 1987). Die Mehrzahl dieser Vermessungen konzentrierte sich auf die Beckenstrukturen in flacheren Wassertiefen und waren vorzugsweise zur Suche von Kohlenwasserstofflagerstätten angelegt. Zahlreiche seismische Profile hatten aber auch das Ziel, die Plattengrenze im Aleutengraben genauer zu erfassen (von Huene, 1989). Weiterhin existiert eine großräumige Gloria-Vermessung des östlichen Aleutengrabens, die vom USGS zur Zeit zur Publikation vorbereitet wird und die für das Projekt genutzt wurde.

Im Arbeitgebiet EDGE wurden 1988 in einem Gemeinschaftsprojekt verschiedener Institute (genannte EDGE) seismische Daten vom magmatischen Bogen bis zum Tiefseeegraben entlang einer Traverse über den Kontinentalrand gewonnen (Moore et al., 1991). Das südöstliche ozeanwärtige Ende dieses Profils (Linie 302), welches den Bereich der rezenten Akkretion umfaßt (Abb. 3 und 4), wurde am GEOMAR intensiv weiterbearbeitet. Auf diesem Datenmaterial aufbauend wurden seit 1991 in den Projekten SUBMASS und FLUIDUM am GEOMAR geophysikalische Methoden entwickelt, mit denen die während der Akkretion ausgepreßten Fluide berechenbar sind. Die bisherigen Entwässerungsraten aus seismischen Daten sind für Langzeiträume von mehreren Millionen Jahren berechnet worden und konnten nun mit den direkten Messungen an aktiven Vents verglichen werden. Mit den im Projekt der Abteilung Geophysik am GEOMAR neu entwickelten Methoden läßt sich der Zeitraum auf wenige hunderttausend Jahre beschränken und dafür einen Fluidverlust berechnen. Mittels den Porositäts- und Geschwindigkeitsdaten aus ODP- und Industriebohrungen wurde das Geschwindigkeitsmodell entlang der seismischen Linie EDGE 302 in ein Porositätsmodell umgerechnet und daraus ein Fluidverlust von  $13 \text{ km}^3$  berechnet. Dies entspricht etwa der Hälfte der während der letzten 250.000 Jahre herangeführten Fluide. Es zeigte sich auch, daß die Entwässerung vorzugsweise an den Überschiebungsbahnen stattfindet. Unter Einbeziehung des Akkretionsalters und realistischen Annahmen über die Verteilung der Austrittsstellen läßt sich eine durchschnittliche Verlustrate bestimmen, die größenordnungsmäßig auch mit den direkten Fluidaustrommessungen in anderen Akkretionsbereichen (Linke et al., 1994) übereinstimmen. Für neuere Modellierungen der geophysikalischen Daten stehen nun auch nach der SO96-Expedition wesentlich bessere Geschwindigkeitsdaten aus den OBS-Messungen zur Verfügung (Flüh et al., 1994).

In den beiden nordöstlichen Gebieten ALBATROSS und EDGE werden die mächtigen Sedimente des Surveyor Fächers subduziert (Abb. 1, 4 und 8; Stevenson et al. 1987). Der detaillierte Aufbau des Akkretionskeils im Gebiet EDGE ist im seismischen Profil 302 nachzuvollziehen (Abb. 4). Ein erster Akkretionsrücken, welcher entlang der Profillinie morphologisch noch nicht in Erscheinung tritt, ist anhand der antiklinalen Auffaltung der Sedimente im Untergrund zu sehen (Abb. 4). Der Vergleich mit der detaillierten bathymetrischen Karte (Abb. 3) zeigt, daß in Verlängerung dieser Antiklinalstruktur im Streichen nach SW durchaus auch morphologisch eine

Rückenstruktur in Erscheinung tritt. Eine zweite akkretionäre Antiklinalstruktur (2. Rücken) folgt unmittelbar in nordwestlicher Richtung (Abb. 3, 4 und 5). Beide Rücken, welche sich morphologisch mit ca. 200-300 m nur leicht über den Tiefseegraben erheben (Abb. 6), wurden nach erfolgreicher Venturatsuche während der Expedition SO97-1 detailliert vermessen und beprobt. Der Haupttiefenanstieg von ca. 4600 auf 3600 m wird von dem 3. Akkretionsrücken gebildet (Abb. 4 und 6), welcher im Bereich des EDGE 302-Profiles durch eine Einbuchtung nach NW versetzt ist (Abb. 3). Im seismischen Profil (Abb. 4) sind zwar zwischen dem 2. und 3. Rücken im Untergrund weitere Antiklinalstrukturen zu sehen, welche allerdings von horizontal geschichteten Sedimenten überlagert sind und auf der bathymetrischen Karte als ein Bereich relativ ebenen Meeresbodens erscheinen (Abb. 3).

Das Beprobungsgebiet **ALBATROSS** liegt etwa südlich der Kodiak-Inseln und ist ebenfalls durch antiklinale Deformationsrücken im Akkretionsbereich charakterisiert, welche durch sedimentgefüllte Senken getrennt sind. Die seismische Linie 111 (Abb. 8) zeigt > 2,5 km mächtige Sedimente auf der Unterplatte, welche im Bereich des Akkretionskeils zu einer enormen Entwässerung führen. Das Profil zeigt zwei wesentliche Deformationskomplexe (Abb. 8), wobei der erste Komplex durch einen Tiefenanstieg in der bathymetrischen Karte von ca. 5300 auf 4800 m zu sehen ist, während der kontinentwärtige zweite Komplex durch den Anstieg von ca. 4800 auf 3900 m gekennzeichnet ist (Abb. 7). Von strukturgeologischer Sicht sind als Besonderheiten einzelne Backthrusts im rückwärtigen Bereich der ersten Hauptdeformationszone zu erwähnen (Abb. 8), welche allgemein häufig aufgrund ihres Dehnungscharakters als bevorzugte Entwässerungsbahnen benutzt werden.

Im Arbeitsgebiet **SHUMAGIN** (Abb. 8), westlich des 157. Längengrades liegt das seismische Profil 104 vor (Bruns et al., 1987). In diesem Bereich werden die vorwiegend eozänen Sedimente des mit der Pazifischen Platte weit von Süden herantransportierten Zodiac Fächers subduziert (Stevenson and Embley, 1987; Abb. 1). Der terrigene Anteil des Sedimentmaterials läßt sich aus dem küstennahen Batholithkomplex von British Columbia herleiten und wurde vorwiegend zwischen 40-32 Mio. Jahren abgelagert. Pelagische Sedimentanteile führen zu karbonatreichen Horizonten, die im Akkretionsbereich unterhalb des Décollements anhand von deutlichen Reflektoren auszumachen sind (Abb. 10). Die strukturgeologische Interpretation sieht eine Anhäufung von Auf- und Überschiebungen im tieferen Teil bis zu einer morphologischen Stufe von 5400 auf 5000 m. Darüber liegt eine breite, relativ ebene Zone (Aleuten Terrasse), welche zwar kleinere Stufen enthält, aber für die in der seismischen Interpretation keine spezifische Störungstektonik ausgewiesen ist (Abb. 10). Die Aleuten Terrasse wird zum Kontinent hin von einer Steilstufe begrenzt, welche etwa zwischen 4000 und 2500 m Wassertiefe ausgebildet ist und die markanteste strukturelle Einheit des Kontinentalrandes darstellt. Sie wird im Bereich des seismischen Profiles 104 als eine Übergangszone zwischen dem Akkretionskomplex und einer vorwiegend kontinentalen Kruste gedeutet, die als Widerlager beim Akkretionsvorgang wirkt.

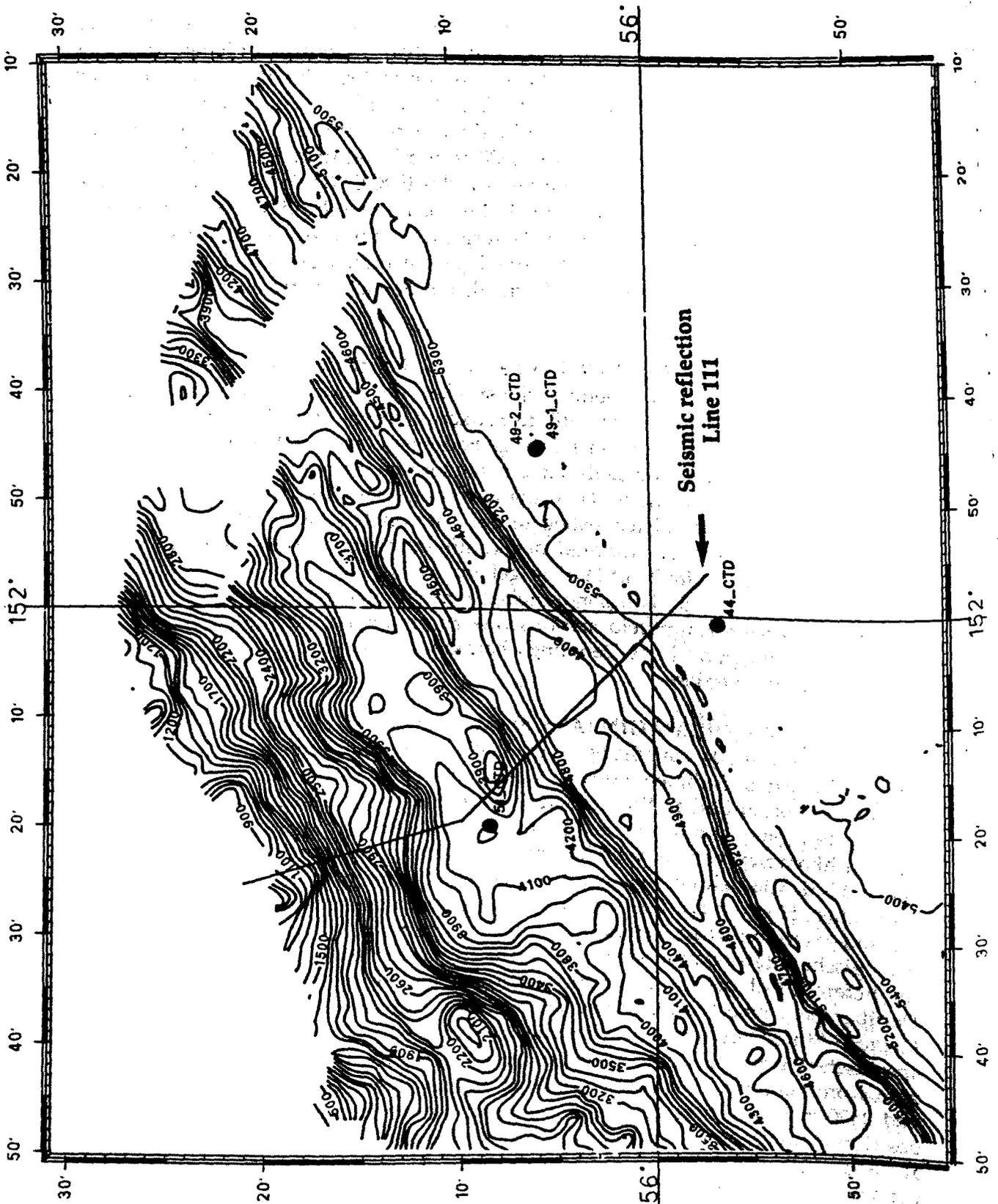


Abb. 7: HYDROSWEEP-Karte im Arbeitsgebiet ALBATROSS mit Lage der seismischen Linie 111.

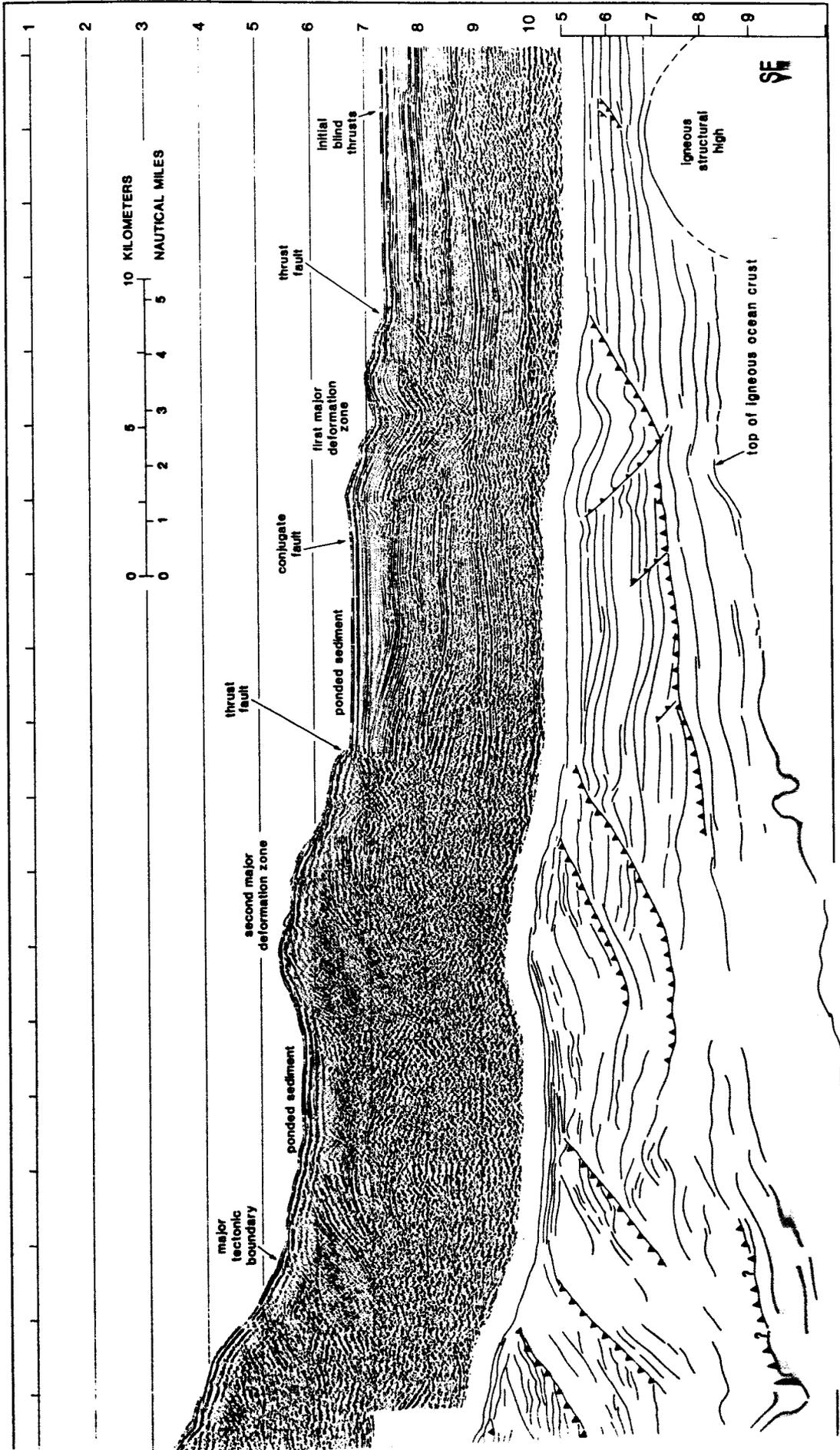


Abb. 8: Seismisches Profil 111 des U. S. Geological Survey mit Interpretation der wichtigsten tektonischen Einheiten (von Huene et al., 1986) im Trench.

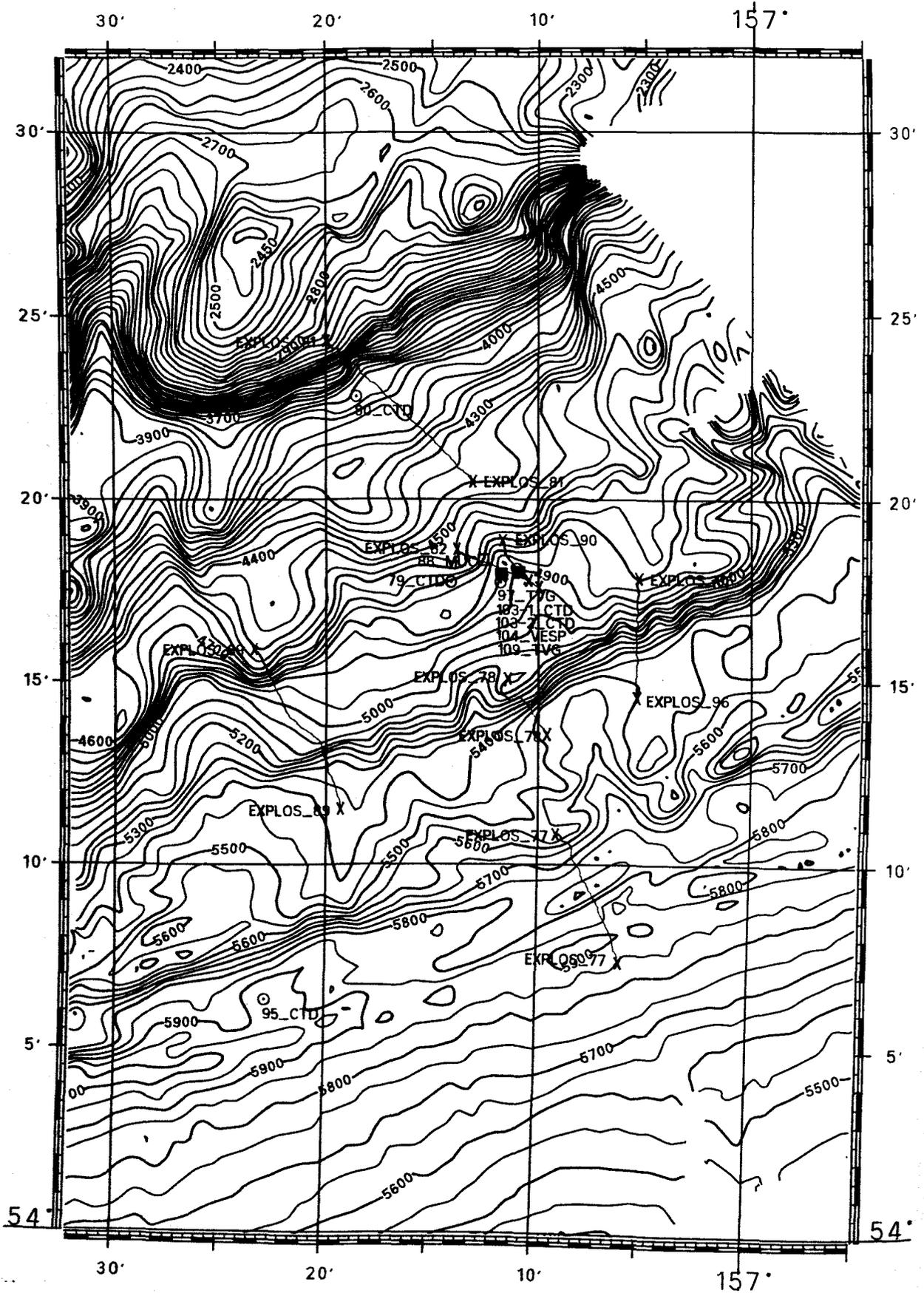


Abb. 9: Bathymetrische Karte im Arbeitsgebiet SHUMAGIN mit Lage der SO97-1-Stationen.

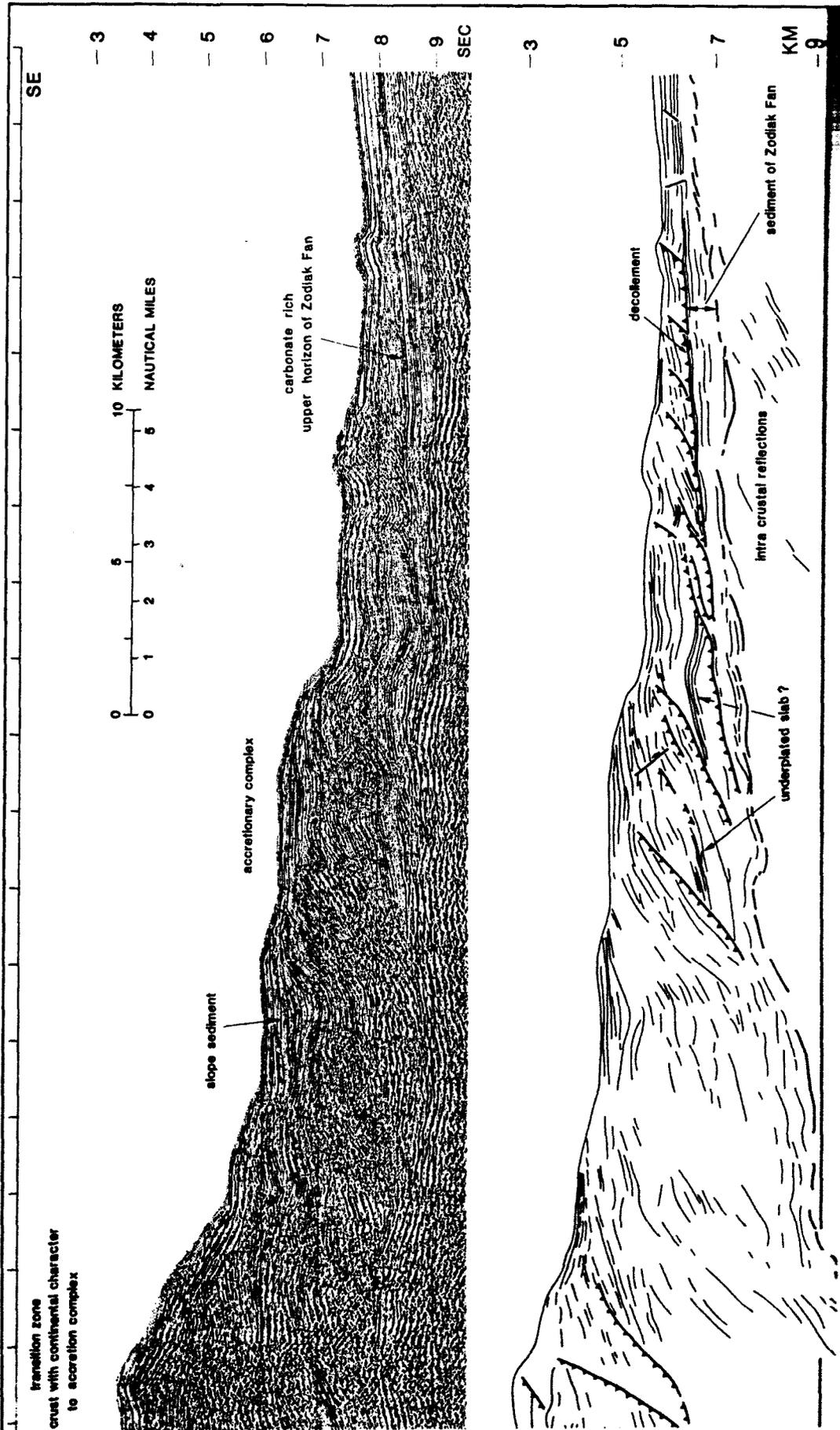
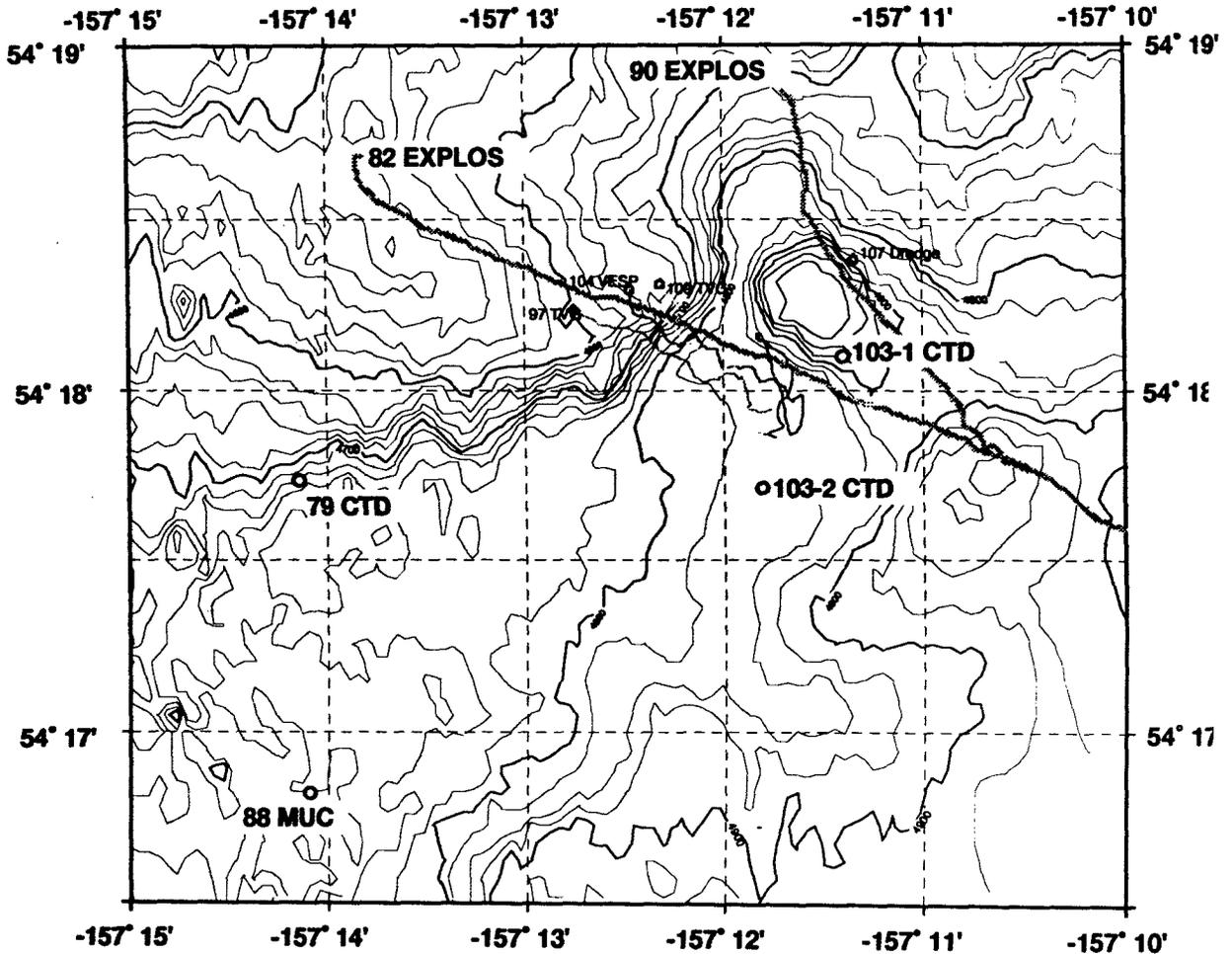


Abb. 10: Seismisches Profil 104 mit Interpretation der Hauptstrukturen im Bereich des Akkretionskeiles von SHUMAGIN (Bruns et al., 1987).

Die bathymetrische Karte der HYDROSWEEP-Vermessung verdeutlicht, daß eine Vielzahl größerer und kleinerer Canyonstrukturen quer zum Streichen der Deformationsfront entwickelt sind, die wahrscheinlich zum großen Teil auf Transformstörungen zurückzuführen sind. In einer kleineren Canyonstruktur, die sehr wahrscheinlich Teil einer solchen Transformstörung ist, wurden Ventfelder gefunden, so daß sich die Untersuchungen während der SO97-1-Expedition im Bereich dieser Canyon-Struktur (Vent-Canyon) konzentrierten (Abb. 11).



**Abb. 11:** Bathymetrische Detailkarte mit Stationen und Tracks der SO97-1-Expedition im Bereich des Vent-Canyons.

### 3. Fahrtverlauf

E. Suess

#### Woche vom 27.7. - 1.8. 1994

Am 27.7. um 10 Uhr Ortszeit verließ FS SONNE planmäßig mit dem Lotsen an Bord und 21 Wissenschaftlern bei strahlender Sonne und ruhigen Windverhältnissen den Hafen von Kodiak. Vorausgegangen war - vorwiegend bei Regen und Nebel - der Austausch von Personal und Gerät des Fahrtabschnittes SO-96. Die schlechten Sichtverhältnisse hatten für die am 24.7. angereisten Wissenschaftler zu einem unvorhergesehenen Aufenthalt in Anchorage geführt, da erst am 25.7. der Flugbetrieb nach Kodiak wieder aufgenommen werden konnte.

Nach nur 10 Stunden Dampfzeit erreichten wir das östliche Untersuchungsgebiet EDGE gegen Abend des ersten Tages. Hier waren auf SO-96 durch eine Fächerlot-Kartierung der morphologischen Strukturen des Akkretionskeiles eine Anzahl von Zielpositionen festgelegt worden, an denen Fluidaustrittsstellen vermutet wurden. Auffinden und Beprobieren solcher Fluidaustrittsstellen und Entwässerungsstrukturen sowie die Abschätzung von Stofftransportraten in bestimmten tektonischen Einheiten der Aleuten-Subduktionszone war das übergeordnete Ziel des Fahrtabschnittes SONNE 97-1 (KODIAK-VENT).

Die hydrochemische Probennahme, mit CTD und Kranzwasserschöpfer, an der ersten der Zielpositionen, im mittleren Teil des Akkretionskeils in 3300 m Wassertiefe, ergab eine kleine positive Methananomalie in der Wassersäule unmittelbar über dem Boden. In einer nur wenige Seemeilen südlich gelegenen Struktur wurde diese Anomalie nicht beobachtet. Deshalb erschien hier ein EXPLOS-Einsatz zur weiteren Inspektion der Austrittsstellen angeraten, der aber wegen eines defekten Kabels abgebrochen werden mußte. Das Programm wurde deshalb dahingehend geändert, daß drei HYDROSWEEP-Profile mit Magnetometereinsatz entlang der östlichen Begrenzung des Untersuchungsgebietes EDGE aufgenommen und im Tiefenbereich zwischen der Schelfkante und 1500 m zwei erfolgreiche Einsätze des Sediment-Profile-Imaging Systems der Teilnehmer aus Galway, Irland gefahren wurden.

Nach erfolgter Reparatur des Kabelschadens am EXPLOS konnte der Einsatz am 29.7. durchgeführt werden, ergab aber, enttäuschend für alle, kein weiteres Indiz für aktive Fluidaustritte auf dieser Position. Darauf wurde an der seewärtigen Deformationsfront, basierend auf zwei weiteren positiven Methananomalien in der Wassersäule (29./30.7.) genau zwischen 4600 und 4900 m Wassertiefe, ein EXPLOS-Einsatz zum Auffinden von Vents geplant. Auch hier kam es zuerst wegen einer defekten Kamera zu einer Verzögerung. Der Defekt konnte aber behoben werden, ohne das Programm zu beeinträchtigen.

Das Beobachtungsprofil EXPLOS begann in einer Vertiefung landwärts der beiden ersten Deformationsrücken, verlief seewärts zuerst über den einen und dann über den anderen Rücken mit einem Reliefunterschied von insgesamt 300

m und endete im Aleutengraben bei ca. 5000 m. Die Ergebnisse dieses EXPLOS-Einsatzes waren der erste Höhepunkt der Reise, da an den jeweils seewärtigen Flanken der beiden Rücken ausgedehnte Felder von Fluidaustrittsstellen, erkennbar an ihrer typischen Besiedlung in Form von Vent-Kolonien, gefunden wurden. Unmittelbar danach, am 30.7. abends, wurde der TV-Greifer hier eingesetzt und erbrachte wertvolle und umfangreiche Proben dieser Fauna in Form der Bivalven *Solemya* und *Calyptogena* sowie von Pogonophoren. Die Vent-Vergesellschaftung schien durch ein stark H<sub>2</sub>S-haltiges Milieu dominiert und weniger durch Methan. Dieser Eindruck wurde bestätigt durch die geringen Methangehalte, die bei dem darauf folgenden Einsatz des Vent-Probennehmers VESP (am 31.7.) gemessen wurden.

In der Nacht vom 31.7. zum 1.8. wurden zwei weitere Fächerlot-Profile, dieses Mal entlang der westlichen Begrenzung des EDGE-Gebietes, vermessen, ehe am Morgen darauf mit der geochemischen/sedimentologischen Probennahme an den Vents begonnen wurde. Beim Hieven eines 6-m Kastenlotes fiel eine der beiden Hydraulikpumpen zum Antrieb der geologischen Winde aus. Diese führte zu einer erheblichen Verzögerung beim an-Bord-bringen des Gerätes, und wahrscheinlich war das auch der Grund für den Verlust des Sedimentkerns durch Ausspülen.

Die den ganzen folgenden Tag (1.8.) andauernden Arbeiten an der Hydraulikpumpe ergaben, daß die Geologie-Winde, zumindest für die schweren Geräte, Kastenlot und Dredge, für den Rest der Reise nicht mehr zur Verfügung stehen wird und daß die leichteren Geräte, Multicorer und Sediment-Profile-Imager, mit nur halber Kraft und verlangsamten Fier- und Hievzeiten gefahren werden können. Von diesem Ausfall war das gesamte Programm nachhaltig beeinträchtigt und wir prüften, welche Ausweichmöglichkeiten bestanden. Durch die Schiffsführung wurde eine Ersatzteilbeschaffung und Reparatur der Pumpe in Kodiak erwogen. Die Realisierung dieser Möglichkeit hatte sich bereits in den nächsten Tagen entschieden.

Im Laufe des 1.8. wurden zwei erfolglose VESP-Einsätze gefahren, bei denen es nicht gelang, das Gerät, wie erforderlich, in unmittelbarer Nähe von aktiven Vents abzusetzen. Dies lag daran, daß zwar eine recht breite Zone mit Vent-Organismen (hauptsächlich Calyptogenen) bedeckt war, daß aber aktive Vents nur in "Nestern" von ca. 1 m Durchmesser auftraten. Die Anordnung dieser "Nester" ist mit schichtparallelen Abfolgen an der Deformationsfront in Verbindung zu bringen, wird aber durch die hohe Sedimentationsrate häufig verdeckt. Durch diese Sedimentdecke bahnen sich die Fluide ihren Weg, an deren Austrittsstellen am Meeresboden sich die Faunen-Vergesellschaftungen finden.

In der Nacht zum 2.8. wurde erneut eine Methananomalie, dieses Mal deutlich stärker als bisher, westlich der gegenwärtigen Position zwischen 4850 und 4900 m Wassertiefe gefunden, die ein weiterer Zielpunkt der Untersuchungen in den kommenden Tagen wurde.

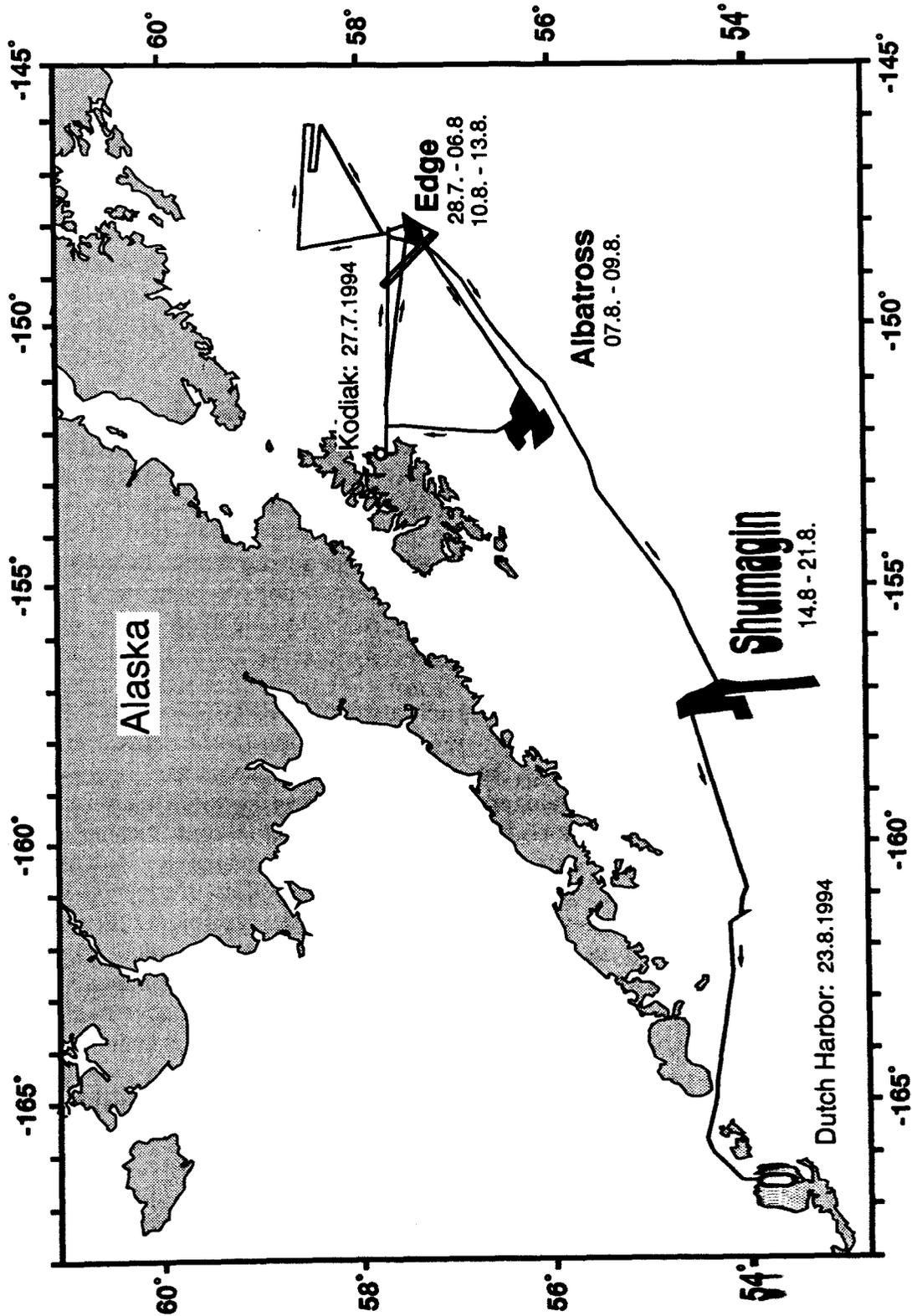


Abb. 12: Verlauf der Fahrtroute von FS SONNE während SO97—1 mit den drei Arbeitsgebieten EDGE, ALBATROSS und SHUMAGIN.

Zum Abschluß der ersten Woche sind zwar durch technische Probleme einige Verzögerungen zu verzeichnen, und auch gestaltete sich die erforderliche exakte Probennahme an den Vent-Lokationen deutlich schwieriger als erwartet, insgesamt aber sind die ersten sieben Tage wissenschaftlich erfolgreich verlaufen. Die Entdeckung der Vent-Felder entlang der Deformationsfront ist das herausragende Ergebnis. Ein nicht unwesentlicher Schritt zum Erfolg führte über die exzellente Vermessung des Gebietes, die im ersten Fahrtabschnitt vorgenommen werden konnte. Ein weiterer Faktor ist das ausgesprochen ruhige Wetter, das uns schon die ganze Zeit begleitete.

### **Woche vom 2. - 9.8. 1994**

Zu Beginn der zweiten Woche konzentrierten sich unsere Arbeiten im Untersuchungsgebiet EDGE auf die gezielte Probennahme durch Einsatz des TV-Greiflers und des Vent-Probennahmers VESP. Ziel der Beprobungen war die gleich zu Anfang der Reise entdeckte Fluidaustrittsstelle im Bereich des ersten Deformationsrückens. Zwischen dem 1.-3. August wurden je drei VESP- und TVG-Einsätze gefahren, von denen keiner erfolgreich verlief, weil die Vents in einem schmalen Streifen entlang des Kontaktes zweier Schichtpakete auftraten, wobei der obere Teil durch vertikale Stufen von 5-10 m Höhe die Platzierung der Geräte unmöglich machte.

Deshalb wurde am 3.8. eine weitere Suchfahrt mit EXPLOS um ca. 2 Seemeilen nach NE versetzt, aber senkrecht zu der Deformationsstruktur gefahren. Wie erhofft, trafen wir an dem gleichen Schichtkontakt auf eine dichte Vent-Fauna und mit offensichtlich günstiger gelegenen Vents. Hierbei konnten frühere Beobachtungen bestätigt werden, wonach die am besten ausgebildeten "Nester" mit Vent-Fauna auf der seewärtigen Seite und fast am Kamm der Struktur auftreten. Aber auch hier verbuchten wir nur zwei Teilerfolge mit VESP- und TVG-Einsätzen. Die vorläufigen Ergebnisse lassen auf eine stark reduzierte Fluidaktivität schließen, die nur damit zu erklären ist, daß die Geräte wohl nicht gänzlich auf den "Nestern" platziert worden waren. Wiederholte und systematische Versuche verbesserten den Erfolg. Die VESP- und TVG-Einsätze sollen aber nach dem für den 9.8. geplanten Anlaufen von Kodiak noch besser gestaltet werden.

Am 3.8. und 5.8. wurden zwei weitere EXPLOS-Einsätze nahe der bisher stärksten Methananomalie gefahren, die aber leider keine der charakteristischen Faunen-Vergesellschaftungen zeigte. Die Beobachtungsstrecken führten zwischen 4600-4900 m Wassertiefe über den ersten Deformationsrückens in einer morphologischen Einbuchtung des Hanges. Es wurde eine quer zum Streichen verlaufende Verwerfung vermutet. Inzwischen hatten weitere CTD-Stationen (4. und 5.8.) gezeigt, daß die Methangehalte im Bodenwasser auf Entfernungen von 2-5 Seemeilen stark schwanken und deshalb als Anhaltspunkte bei der Suche nach lokalen Vents dienen können. Gerade deshalb schien es uns unverständlich, daß wir ausgerechnet in der Nachbarschaft der bisher deutlichsten Methananomalien keine Vent-Aktivitäten finden konnten.

Da die geologischen Probenahmegeräte bisher nicht eingesetzt werden konnten und die vorgesehene Übernahme der Ersatzteile vor Kodiak eine gute Möglichkeit zur Rückkehr in das Gebiet EDGE versprachen, verließen wir am 5.8. abends das Arbeitsgebiet mit Kurs auf das 150 Seemeilen weiter westlich gelegene Gebiet ALBATROSS. Hier sind zwei Strukturen als potentielle Fluidaustrittsstellen von Bedeutung: Die erste Deformationsfront in 5300 m Wassertiefe und ein steiler Akkretionsrücken zwischen 3000-4000 m. An beiden Lokalitäten wurden bei CTD-Einsätzen Methananomalien im Bodenwasser gemessen, wobei die Gehalte nahe der ersten Deformationsfront nur gering erhöht waren. Trotzdem kamen wir hier gleich bei dem ersten (und einzigen) EXPLOS-Einsatz in ALBATROSS zu einem weiteren wichtigen Erfolg. Wie im Gebiet EDGE fanden sich auch hier Vent-Faunen, hauptsächlich Bivalven, deren Anordnung, in "Nestern" und häufig umgeben von sulfidisch dunkel verfärbtem Sediment, deutlich die Durchmesser der Vents erkennen ließen. Die sehr gute photographische Dokumentation erlaubt auch sicher eine Abschätzung der flächenhaften Verteilung von Vents in dieser tektonischen Struktur.

Vorausgegangen waren in der Nacht vom 6.-7.8. HYDROSWEEP- und Magnetometer-Vermessungen, die in der folgenden Nacht abgeschlossen wurden. Damit standen über 250 Seemeilen an neuen HYDROSWEEP-Daten im östlichen Teil des Gebietes ALBATROSS zur Verfügung. Vor Ablaufen aus dem Gebiet ALBATROSS in Richtung Kodiak wurden vom oberen Kontinentalhang bis auf den Schelf (95 m) reichend drei Einsätze des Sediment-Profile-Imaging Systems gefahren. Die Arbeiten wurden um 0 Uhr am 9.8. beendet, und F.S. SONNE übernahm am folgenden Morgen gegen 9 Ortszeit auf der Reede vor Kodiak die inzwischen eingetroffenen Ersatzteile.

Zum Abschluß der zweiten Woche steht als wichtiger Höhepunkt das Auffinden zwei weiterer Vent-Felder, eines entlang der Deformationsfront in den Gebieten EDGE und das andere im Gebiet ALBATROSS, zu verzeichnen. Nach morphologischen Kriterien lagen diese Felder wahrscheinlich in der gleichen tektonischen Struktur und sind an Schichtflächen gebunden, die an der Stirnseite deformierter Falten oder Überschiebungsbahnen aufgeschlossen sind.

#### **Woche vom 9. - 16.8. 1994**

Am 9. August gegen 10:30 Uhr nahmen wir erneut Kurs auf das Untersuchungsgebiet EDGE. Eingeschiffte und Besatzung warfen einen letzten Blick auf die imposante Inselkulisse von Kodiak, ehe FS SONNE in die dichten Nebelbänke über dem offenen Meer eintauchte. Auf dem Anreiseweg in das Untersuchungsgebiet wurden weitere 5 Einsätze des Sediment-Profile-Imaging Systems gefahren. Die Arbeiten wurden um 4 Uhr am 10.8. beendet und mit der Beprobung der vorher erkundeten Vent-Lokalität begonnen. Hierbei gelang ein zweites Mal die Entnahme einer vollständigen Vent-Kolonie, einschließlich ca. 40 cm Sediment mit Hilfe des TV-geführten Greifers. Der Umfang der Besiedlung sowie die enorme Variabilität der chemischen Bestandteile der Porenwässer, die in 3 Einzelkernen

des Greiferprofils beprobt wurden, übertrafen alle Erwartungen. Ein umfangreiches sedimentologisches und geochemisches Bearbeitungsprogramm dieser Greiferproben beschäftigte alle ausgiebigst für den Rest des Tages. Darauf folgten am 11.-12. 8. fünf VESP-Einsätze, die alle - nicht ohne Schwierigkeiten - in dem steilen Gelände der Vent-Lokalitäten und der schwer vorhersagbaren Bedeckung durch Einzel-Vents plaziert wurden. Erneut wurde deutlich, wie nützlich ein aktives Ausbringen der Probenkammer gegenüber des passiven Schleppens gewesen wäre. Trotzdem erbrachten zumindest drei der VESP-Einsätze die gewünschten Messungen.

Vom 10. auf den 11.8. und vom 11. auf den 12. wurden CTD-Profile mit vertikal hochauflösender Beprobung (25-40 m Tiefenintervalle) über und nahe den Fluid-Austrittsstellen an der Deformationsfront durchgeführt. Wie schon vorher beobachtet, konnten Methan-Anomalien in den Tiefenbereichen der Vents nachgewiesen werden. Ebenso wurde bestätigt, daß weder die Vent-Wässer der Probenkammer noch die Vent-Sedimente des Super-TV-Greifers vom 10.8. ausreichend hohe Methangehalte aufwiesen, um die deutlichen Anomalien in der Wassersäule einerseits, sowie die enorme chemosynthetische Aktivität der Vent-Organismen andererseits zu erklären.

Nach der inzwischen erfolgten Wiederherstellung der Geologie-Winde konnten zwei Einsätze zur Kernentnahme gefahren werden, wobei mit Hilfe des Multi-Corers alle Stechrohre gefüllt an Deck kamen, das Kastenlot hingegen nicht in das Sediment eindringen konnte. Am 12. August gegen 21 Uhr wurden die Arbeiten im Gebiet EDGE beendet und die 30-stündige Fahrt in das Gebiet SHUMAGIN angetreten.

Das Gebiet SHUMAGIN zeichnet sich durch eine reduzierte Sedimentmächtigkeit und einer um ca. 1000 m tiefer gelegenen Grabensohle gegenüber dem Gebiet EDGE aus. Geophysikalische Arbeiten und Tiefseebohrungen haben gezeigt, daß hier die Sedimente des Zodiac-Fächers subduziert werden. Diese sind karbonathaltiger und entstammen einem anderen Liefergebiet als die Sedimente des Surveyor-Fächers, die im Gebiet EDGE subduziert werden. Deshalb war bei einer Entwässerung mit Fluiden anderer Zusammensetzung zu rechnen. Solche Unterschiede zu dokumentieren, sowie der Nachweis von aktiven Vent-Lokalitäten überhaupt, gehörten zu den wichtigsten Zielen der Reise SO-97.

Um 6 Uhr am 14. August begannen wir mit einem EXPLOS-Einsatz die Arbeiten im Gebiet SHUMAGIN. Das Profil führte vom ersten Deformationsrücken bei 5500 m Wassertiefe abwärts über eine erste Deformationsfront (5700 m) und einer Stufe am Grabenrand bei 5800 m in die Grabensohle (5980 m). Hierbei wurden jeweils auf der seewärtigen Seite der Rücken frische Aufschlüsse und Steilkanten beobachtet, die auf junge Deformationsvorgänge hindeuten, aber kein Indikatoren auf aktive Fluidaustritte gefunden.

Der nächste EXPLOS-Einsatz allerdings erbrachte an der Oberkante des Hauptdeformationsrückens (5100-5300 m) die bekannten Vorkommen von Vent-Orga-

nismen in "Nestern" sowie in Einzelexemplaren. Da deren Häufigkeit und Verteilungsmuster aber eine nicht einfache Beprobung erwarten ließen, wurde anhand der Ergebnisse von zwei CTDs, die Methananomalien am Fuße des 3. Deformationsrückens zeigten, sowie am mittleren Hang oberhalb der Hauptdeformationsrückens am 15. August zwei weitere EXPLOS-Einsätze gefahren. Der 3. Deformationsrücken ist die prominenteste strukturelle Einheit am Kontinentalhang vor SHUMAGIN, die als Steilhang von 2500 auf 3900 m ausgebildet ist. Es handelt sich um eine Struktur ohne erkennbare Elemente zum heutigen Subduktionsvorgang und wird an anderer Stelle des Kontinentalhanges weiter westlich als Widerlager bezeichnet. Hier wurden Aufschlüsse von mächtigen Sedimentpaketen mit Schichtflächen und Bankungen beobachtet, aber keine Vent-Aktivitäten.

Wie schon am Vortage erbrachte dann wieder der Einsatz des Gerätes am Spätnachmittag den begehrten Erfolg. Im Anschnitt eines Canyons, der den oberen Hang des Hauptdeformationsrückens schneidet, wurden über eine Strecke von 100-200 m zahlreiche Vent-Felder und Einzelorganismen beobachtet. Es fiel auf, daß die Individuen wesentlich größer waren als im Gebiet EDGE, und daß, neben den dominierenden Calyptogenen, wahrscheinlich auch zahlreiche Solemyen vertreten sind. Dieses Vorkommen schien für den erfolgreichen Einsatz des TV-Greifens geeignet, aber nur begrenzt für denjenigen mit VESP. Deshalb wurden im Anschluß an eine Vermessung vom 15. auf den 16. 8. zwei weitere Profile im Bereich der beiden Rücken vermessen, um besser geeignete Vent-Felder für die Beprobung zu finden.

Zum Abschluß der dritten Woche standen zwei Erfolge im Mittelpunkt: Die Beprobung einer vollständigen Vent-Kolonie im Gebiet EDGE und die Entdeckung aktiver Fluidaustritte im Gebiet SHUMAGIN. Auch in der dritten Woche erfreuten wir uns des ruhigen und nun auch etwas sonnigeren Wetters.

#### **Woche vom 17. - 23.8. 1994**

Nach dem schnellen Auffinden von aktiven Vent-Feldern im Gebiet SHUMAGIN schien eine systematische Suche nach weiteren Fluidaustritten, die alle tektonischen Einheiten des Akkretionskeiles umfaßt, angebracht. Deshalb war zum Ende der 3. Woche (15.8.) bereits ein Suchprofil mit EXPLOS im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes, allerdings ohne Erfolg, gefahren worden. Die Suche wurde zu Beginn der 4. Woche auf den östlichen Teil des Haupt-Akkretionsrückens mit zwei weiteren Profilen ausgedehnt (17./18.8.). Das eine Profil erstreckte sich über den seewärtigen Steilhang dieses Rückens (4800-5500 m). Hier wurden keine erkennbaren Vent-Aktivitäten gefunden. Das andere führte über den Canyon-artigen Einschnitt am mittleren Hang oberhalb dieses Rückens. Hier wurden Vent-Vorkommen bestätigt, die schon in der Vorwoche an der gleichen Struktur, etwas weiter westlich, beobachtet worden waren.

Ehe in diesem Canyon mit einer intensiven Beprobung begonnen wurde, ergab ein CTD-Profil, bei knapp 6000 m in der Grabenachse, daß an der Deformationsfront in dem Abschnitt SHUMAGIN keine Methananomalien auftreten. Schon der EXPLOS-Einsatz am ersten Arbeitstag in SHUMAGIN war hier erfolglos geblieben. Daher wurde die Suchaktion zugunsten von Beprobungen an dem zuvor vermessenen Canyon aufgegeben.

Hier wurden am Abend des 18.8. am Fuße eines 200 m hohen vertikalen Hanges mit dem TV-Greifer ausgedehnte Vent-Felder in 4800 m Tiefe gesichtet und auch beprobt. Schon bei der Probennahme zeigte sich ein ungewohntes Bild. Waren im Gebiet EDGE noch die Vent-Kolonien von weichen Sedimenten umgeben bzw. in Sedimente eingebettet, so fanden wir hier einen harten Untergrund vor, in den der Greifer nur nach wiederholtem Versuch und dann auch nur teilweise eindringen konnte. Durch die geringe Eindringtiefe blieb die Funktion der Video-Kamera während und nach der Beprobung unbeeinträchtigt, und wir erkannten, daß nicht nur Vent-Organismen der schon bekannten Vergesellschaftung, sondern auch ein stattlicher Fisch in den Greifer gelangt waren. Beim Hieven des Gerätes allerdings mußten wir auch mit ansehen, daß sich der Greifer nicht vollständig geschlossen hatte und die Bivalven, der Fisch und andere Teile der Probe zuerst langsam, aber schließlich fast vollständig ausgewaschen wurden.

Der verbliebene Rest des Greiferinhaltes entschädigte dann aber doch, denn eine Sammlung an Karbonatkrusten und Präzipitaten - von bisher noch unbekannter Zusammensetzung - fanden sich in den Ecken des Greifers. Auch einige Exemplare von Pogonophoren und Sedimentklumpen mit Blasenstruktur, die auf Entgasung hinwiesen, konnten geborgen werden. Es stellte sich bald heraus, daß hier ein Methan-reiches Vent-System mit einem deutlich anderen Erscheinungsbild als die Sulfid-reichen Vents im EDGE-Gebiet vorliegt. Eine hochauflösende Beprobung der Wassersäule zwischen 4600-4900 m bestätigte dies in einer deutlichen Methananomalie. Auch konnte VESP erfolgreich innerhalb einer Ansammlungen von Kolonien plaziert und Anzeichen für Methanausstrom registriert werden.

Die weitere Probennahme in diesem Canyon gestaltete sich schwierig. Eine Dredge und ein VESP-Einsatz am 19.8. blieben erfolglos sowie auch 2 TV-Greifereinsätze. Die Morphologie des Canyons war äußerst kompliziert, die Geräte schwierig zu navigieren und nur ein Bereich zwischen 4805 und 4820 m erwies sich für die Probennahme als geeignet, so daß uns der Name "Stress Canyon" für diese Struktur treffend erschien. Nach Streichrichtung und Abmessungen des Canyons handelt es sich wahrscheinlich um eine Transformstörung, die senkrecht den Akkretionsrücken schneidet.

Eine Dredge vom 19. auf den 20.8. erbrachte zahlreiche unverfestigte Mudstone-Lithologien, aber keine Krusten, Organismen oder zementierte Lagen, die mit Vent-Aktivität zu deuten gewesen wären. Überraschend stellten wir bei weiteren TVG- und VESP-Einsätzen am folgenden Morgen fest, daß der untere Teil des

Stress-Canyons, der eine geschlossene Vertiefung von >4900 m aufweist, bis in eine Höhe von 4700 m durch Trübung "unpassierbar" geworden war. Die Geräte mußten unverrichteter Dinge wieder an Bord gebracht werden. Möglicherweise hatte die Dredgetätigkeit einen Trübungsstrom ausgelöst, der ähnlich einer Lawine niedergegangen war. Kleine Trübestrome, ausgelöst durch Voreilgewichte einiger Geräte, wurden immer wieder beobachtet.

In der anschließenden Nacht wurde das HS-Meßnetz vervollständigt und ca. 40 Seemeilen weiter südlich des Grabens auf der Pazifischen Platte Kastenlot und Multicorer erfolgreich eingesetzt. Die Proben dienen der stratigraphischen Einhängung und der geochemisch-sedimentologischen Korrelation mit ähnlichen Proben vom Kontinentalhang. Begleitet wurden diese Arbeiten von einer leichten Verschlechterung des Wetters, die aber keine nachteiligen Auswirkungen auf die Arbeiten besaßen, höchstens die Dauer der Stationsarbeit hinauszogen.

Danach kehrten wir am Morgen des 21.8. ins Gebiet des Stress-Canyon zurück, der seinem Namen weiter Ehre machte, da wir ein weiteres Mal Kolonien von Vent-Organismen sichteten, aber kein geeignetes Ziel für das Absetzen des VESP ausmachen konnten. Hiermit beendeten wir die Arbeiten zum Projekt KODIAK-VENT und verließen das Gebiet SHUMAGIN.

In der Nacht nahmen wir Kurs auf flachere Wassertiefen, wo wir bei 162° W am Morgen des 22.8. um 6 Uhr bei 2400 m auf der ersten Station eines Schnittes das Sediment-Profile-Imaging System einsetzten. Hierbei handelt es sich um ein Gerät, das einen vertikalen Sediment-Anschnitt im Boden fotografiert. Dieser Schnitt wird durch Eindringen eines keilförmigen, scharfkantigen Kopfes, in dem eine Kamera montiert ist, angebracht. Das Gerät drang im Jo-Jo-Verfahren an einer Station bis zu 25 Mal in den Boden ein. Hierdurch entstand eine statistisch auswertbare Serie von Vertikalbildern des oberflächennahen Sedimentbereiches. Durch computer-gestützte Bildauswertung wurden so Besiedlung des Bodens, Bauten, Grabspuren, Rippeln und Bioturbationsgefüge quantifiziert. Da das Gerät z.Zt. nur bis 3000 m Tiefe ausgelegt ist, umfaßte das Profil Stationen in 2400 m, 1110 m, 710 m, und 150 m Wassertiefe. Der Einsatz des Gerätes erfolgte durch das Martin Ryan Marine Science Institute, Galway, Irland im Rahmen des EG-Projektes "Human Capital and Mobility". Die Stationsarbeiten zu diesem letzten Profil der Reise wurden um 17:30 Uhr am 22.8. beendet, und F.S. SONNE nahm Kurs auf Dutch Harbor, wo wir am folgenden Morgen um 10 Uhr festmachten.

Zum Abschluß der letzten Woche standen zwei weitere Erfolge im Mittelpunkt: Die teilweise Beprobung einer Vent-Vergesellschaftung von Pogonophoren, Bivalven und anorganisch-chemischen Präzipitaten im Gebiet SHUMAGIN und der Befund, daß hier Methan beim Stoffumsatz eine wichtige Rolle spielt.

Insgesamt ist die Entdeckung aktiver Entwässerungsvorgänge in allen drei Gebieten EDGE, ALBATROSS und SHUMAGIN über eine Entfernung von mehr als 800 km ein großer Erfolg der Reise SO-97. Es wurde zum ersten Mal im Aleuten-

graben tektonische Entwässerung dokumentiert und damit die Bestätigung erbracht, daß dies ein globaler Vorgang ist, der vorhersagbar und an bestimmte tektonische Einheiten des Akkretionsgefüges gebunden ist. Ein erster Vergleich der austretenden Fluide typisiert die im Gebiet EDGE als "junge" Fluide im frühen Stadium der Deformation, während die in SHUMAGIN "chemisch reifere" Fluide sind, die einem älteren Akkretionsrücken entstammen. Die Beprobung der vollständigen Vent-Kolonie aus 4850 m im Gebiet EDGE ist nicht minder interessant und eröffnet neue Perspektiven für den biogeochemischen Stoffumsatz in extremen Milieus.

#### **4. Hydroakustische und magnetische Messungen**

##### **4.1 HYDROSWEEP-Vermessung**

G. Bohrmann, N.-H. Krüger, A. Stavenhagen

Die Vermessung des Meeresbodens mit dem HYDROSWEEP-System bildete während SO97-1 eine wichtige Grundlage, mit deren Hilfe die Vent-Suche und Beprobung in den 3 Arbeitsgebieten EDGE, ALBATROSS und SHUMAGIN erfolgte. Die Festlegung fast aller Gerätestationen wurde auf der Basis dieser Vermessungsergebnisse durchgeführt. Dabei spielten vor allem für die Vent-Suche die Erfassung der einzelnen Deformationsrücken im Akkretionskeil des Aleutengrabens eine wichtige Rolle. Tektonische Strukturen, welche in den seismischen Profilen nachgewiesen wurden, konnten mit Hilfe der bathymetrischen Kartierung zum Teil in ihrer räumlichen Verteilung interpretiert werden. Weiterhin konnten anhand der HYDROSWEEP-Vermessungen Detailstrukturen, wie z.B. Canyons, Schuttkegel, Hangneigungen und damit potentielle Aufschlüsse von Festgesteinen oder Hangüberdeckungen von Lockersedimenten abgeschätzt werden. Diese morphologischen bzw. morphotektonischen Informationen waren für die Suche von aktiven Fluidaustritts-Stellen am Meeresboden von großer Bedeutung.

##### **4.1.1 Gerätekonfiguration und -einstellung**

Die HYDROSWEEP-Anlage von FS SONNE (HYDROSWEEP DS, Krupp Atlas Elektronik GmbH) ist ein Fächerecholot mit 59 Schallstrahlen (Frequenz: 15.5 kHz), wobei eine kartierbare Streifenbreite von etwa der zweifachen Wassertiefe erreicht wird. Die Genauigkeit liegt bei einem Rollwinkel  $< 10^\circ$  und einem Stampfwinkel  $< 5^\circ$  bei ca. 1%. Die Kalibrierung der Wasserschallgeschwindigkeit erfolgt über eine Selbsteichung oder über ein eingegebenes Schallgeschwindigkeitsprofil.

Da es erfahrungsgemäß immer wieder Schwierigkeiten mit der Selbstkalibrierung des Systems gibt (siehe Fahrtbericht SO-96, Flüh et al. 1994: Zum Problem der Wasserschallgeschwindigkeit), wurde während der gesamten Reise die Profileinstellung von Tab. 1 beibehalten, welche an der Multisonden-CTD-Station 7 im EDGE-Arbeitsgebiet während der Fahrt SO-96 ermittelt wurde.

Die Darstellung der HYDROSWEEP-Daten erfolgte online auf den Bildschirmen im Hydroakustiklabor und Geologielabor. Dabei stand neben der Kartenanzeige die Profildarstellung zur Verfügung. Besonders bei den Einsätzen von EXPLOS, TV-Greifer, VESP und während der Dredge-Stationen war die alternierende Darstellung von Quer- und Vorauslotung als Tiefenprofil für die bathymetrische Orientierung während der Profildfahrten von großer Hilfe.

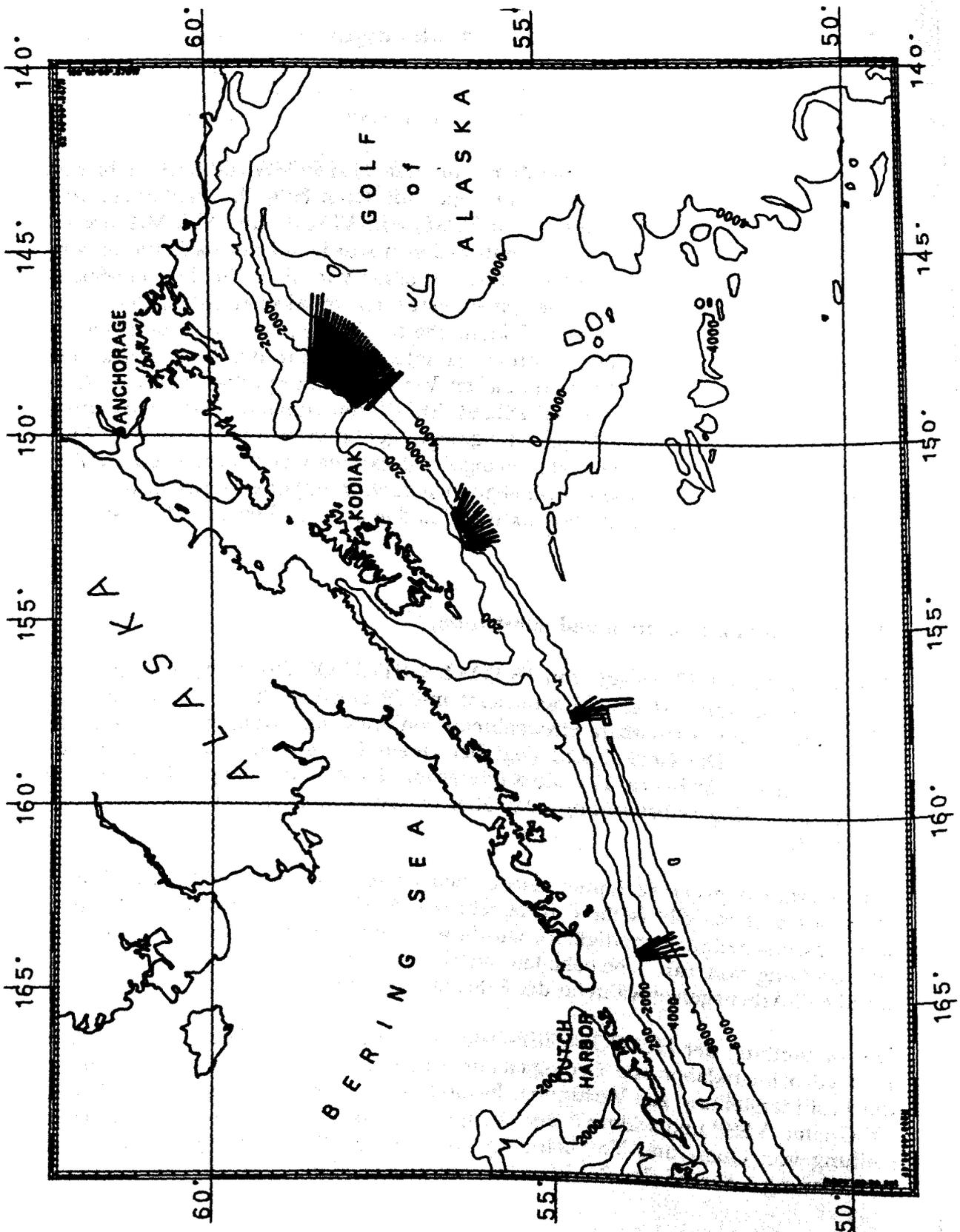


Abb. 13: Übersicht der HYDROSWEEP-Vermessungsprofilinien der Reisen SO-96 und SO-97.

**Tab. 1:** Tiefen- und Schallgeschwindigkeitswerte, welche als Profileingabe während der Reise SO-97 zur HYDROSWEEP-Vermessung benutzt wurden. Tiefe (m), Schallgeschwindigkeit (m/s).

0, 1493	125, 1474	350, 1472	2500, 1498
25, 1478	180, 1476	500, 1474	3500, 1514
50, 1475	225, 1476	750, 1476	4483, 1532
90, 1473	300, 1472	1000, 1478	5500, 1550
100, 1472	333, 1472	1500, 1483	

Um eine rasche Kartenerstellung zu ermöglichen, wurden einzelne Profillinien zusätzlich auf einer Workstation abgespeichert und konnten binnen kurzer Zeit mit der bordeigenen Hydromap-Software zu digitalen Geländemodellen und zu Isolinienkarten verarbeitet werden.

#### 4.1.2 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die HYDROSWEEP-Vermessung (HS) wurde während der SO-97-Fahrt größtenteils kontinuierlich zusammen mit der PARASOUND-Sedimentechographie im Wachbetrieb durchgeführt. Zusätzlich wurden 29 ausgewiesene Profilstrecken vermessen (Tab. 2, Abb. 13). In dem Arbeitsgebiet EDGE wurden 5 Profile (Abb. 14) gefahren, während in den Gebieten ALBATROSS 9 (Abb. 16) und in SHUMAGIN 15 (Abb. 18) Profilvermessungen durchgeführt wurden.

##### 4.1.2.1 Arbeitsgebiet EDGE

Die Fächerecholotvermessung innerhalb des EDGE-Arbeitsgebietes während des Fahrtabschnittes SO97-1 sollte die vorangegangenen HYDROSWEEP-Aufnahmen der Reise SO-96 ergänzen. Im Rahmen des Projektes KODIAK-SEIS wurde eine großflächige Vermessung des Akkretionskeiles nordöstlich der Insel Kodiak angestrebt, um die Entwicklungsgeschichte dieses Akkretionsgebietes, vor allem im Hinblick auf die Kollision mit dem Yakutat-Terran, rekonstruieren zu können (siehe Fahrtbericht SO96: Flüh et al., 1994). Dazu lag eine Seabeam-Vermessung des U.S.G.S. vor, die während der SO96-Reise nach Süden durch intensive HYDROSWEEP-Vermessung ausgedehnt wurde.

Eine unmittelbare Überdeckung der beiden Gebiete konnte nun während SO97-1 durch die Aufnahme der 3 HS-Profile 13, 14 und 15 (Abb. 14), welche eine Gesamtlänge von mehr als 300 km haben, erreicht werden. Diese Überdeckung der beiden Bathymetriedatensätze ist wichtig, damit eine bessere Anpassung erfolgen kann. Bei dieser Untersuchung spielt die Erfassung von Detailstrukturen im Umbiegungsbereich des Akkretionskeiles im Golf von Alaska von einer generellen SW-NE-Streichrichtung der Deformationsrücken in eine SSW-NNE-Richtung eine wichtige Rolle. Die Profile zeigen im Norden den Beginn einer stärkeren Zergliederung (Abb. 15) des mittleren und tieferen Abschnittes des Kontinentaltalanges in Rücken und Becken, wobei weiter südlich eine relative Verflachung

zwischen 2400 und 2600 m festzustellen ist. Die Struktur des eigentlichen, nach Norden flacher werdenden Tiefseegrabens verliert erheblich an Konturen.

Zwei weitere Profile (26, 27) konnten im Süden die SO-96-Kartierung ergänzen (Abb. 14). Die Daten werden am GEOMAR in der Abteilung marine Geodynamik prozessiert und in eine Karte integriert, welche mit den seismischen Profilen als Grundlage für strukturgeologische Interpretationen benutzt wird.

HS- Profil Nr.	Arbeits- gebiet	Beginn: Latitude °N	Longitude °W	Wasser- Tiefe (m)	Ende: Latitude °N	Longitude °W	Wasser- Tiefe (m)
13 HS	EDGE	58°20.57'	146°08.47'	4623	58°23.98'	146°59.91'	2314
14 HS	EDGE	58°28.00'	147°00.09'	2217	58°25.08'	146°10.17'	4720
15 HS	EDGE	58°30.01'	146°08.56'	4689	58°34.97'	148°30.06'	191
26 HS	EDGE	57°12.57'	148°11.69'	4940	57°45.14'	149°12.79'	1738
27 HS	EDGE	57°42.93'	149°14.95'	2022	57°09.90'	148°13.70'	4936
45 HS	ALBATROSS	56°02.77'	151°40.35'	5360	56°21.36'	152°17.80'	900
46 HS	ALBATROSS	56°19.90'	152°20.21'	1085	56°21.36'	152°13.04'	3220
47 HS	ALBATROSS	56°15.24'	152°15.53'	2879	56°16.00'	152°22.46'	1115
48 HS	ALBATROSS	56°22.40'	152°15.25'	1243	56°07.13'	151°32.82'	5368
52 HS	ALBATROSS	56°11.00'	151°25.33'	5360	56°23.68'	152°13.77'	1244
53 HS	ALBATROSS	56°25.82'	152°04.91'	1107	56°23.08'	151°53.20'	2834
54 HS	ALBATROSS	56°24.58'	151°51.65'	2880	56°26.56'	152°01.33'	1375
55 HS	ALBATROSS	56°24.83'	151°08.45'	1038	56°14.43'	151°20.60'	5176
56 HS	ALBATROSS	56°17.09'	151°12.51'	5337	56°23.80'	151°40.07'	2876
83 HS	SHUMAGIN	54°13.19'	157°19.99'	5093	54°26.08'	157°26.77'	2808
84 HS	SHUMAGIN	54°26.50'	157°30.90'	2864	54°36.88'	157°35.84'	1690
85 HS	SHUMAGIN	54°37.00'	157°28.58'	1712	54°30.17'	157°20.19'	2654
86 HS	SHUMAGIN	54°26.42'	157°29.99'	3198	54°04.21'	157°26.03'	6022
87 HS	SHUMAGIN	54°04.24'	157°19.13'	5816	54°13.21'	157°21.04'	5055
91 HS	SHUMAGIN	54°13.90'	157°15.51'	5172	54°02.43'	157°11.61'	5605
92 HS	SHUMAGIN	54°01.90'	157°11.63'	5570	53°58.74'	157°34.89'	5714
93 HS	SHUMAGIN	53°58.67'	157°35.47'	5715	54°03.95'	157°35.99'	5926
94 HS	SHUMAGIN	54°04.28'	157°35.98'	5748	54°06.55'	157°22.86'	5916
98 HS	SHUMAGIN	54°22.15'	157°02.23'	4900	54°28.04'	157°10.50'	3120
99 HS	SHUMAGIN	54°31.62'	157°10.50'	2481	54°37.93'	157°19.90'	1812
110 HS	SHUMAGIN	54°16.90'	157°11.84'	4890	53°36.29'	146°59.07'	4731
113 HS	SHUMAGIN	53°35.94'	156°52.44'	4708	54°06.89'	156°57.33'	5685
114 HS	SHUMAGIN	54°13.26'	156°52.31'	5708	54°21.92'	157°02.26'	4977
116 HS	SHUMAGIN	54°19.94'	157°19.83'	4238	54°29.68'	157°26.79'	2771

**Tab. 2:** HYDROSWEEP-Profillinien der Reise SO97-1. Detaillierte Angaben siehe Stationsliste im Anhang III.1.

#### 4.1.2.2 Arbeitsgebiet ALBATROSS

Für den Arbeitsbereich ALBATROSS existierte vor der Fächerlotvermessung von FS SONNE keine detaillierte Karte des Kontinentalhanges. Eine kompilierte Karte aus den zahlreichen seismischen Profilen und den Schiffsecholotaufzeichnungen des U.S.G.S. zeigte lediglich nur sehr grobe Konturen dieses Teiles des Akkretionsbereiches aus dem Aleutengraben. Während SO-96 wurden meh-

rere Profile unmittelbar südöstlich der ALBATROSS Bank vorwiegend im Bereich der seismischen Linien 111 und 117 gewonnen.

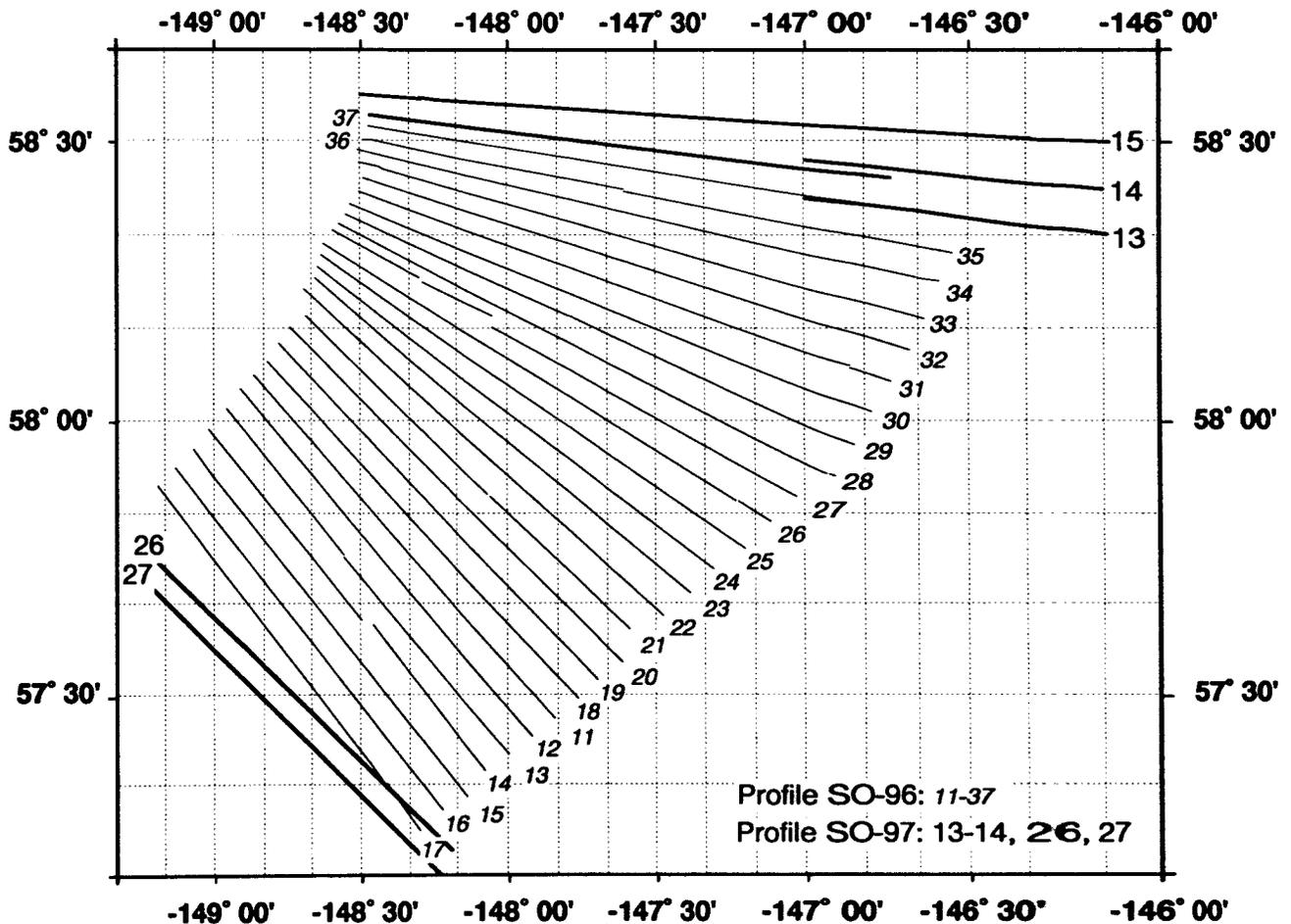


Abb. 14: Vermessungsprofile im EDGE-Arbeitsgebiet.

Dieses Gebiet konnte während SO-97 nach N mit bathymetrischen Vermessungen von neun weiteren Profilen (Tab. 2; Abb. 16) mit insgesamt mehr als 250 Profilkilometern ergänzt werden. Dabei mußten Abschnitte, welche während der Reise SO96 wegen schlechten Wetters relativ unbrauchbare Fächerecholotdaten erbrachten, noch einmal abgefahren werden. Auch hier soll eine Gesamtkarte am GEOMAR-Rechenzentrum mit Software Routinen aus GMT, Lamont und eigenen Modulen processiert werden und steht für die Interpretation der Detailstrukturen im Akkretionskeil den beiden Projekten KODIAK-SEIS und KODIAK-VENT zu einem späteren Zeitpunkt zur Verfügung.

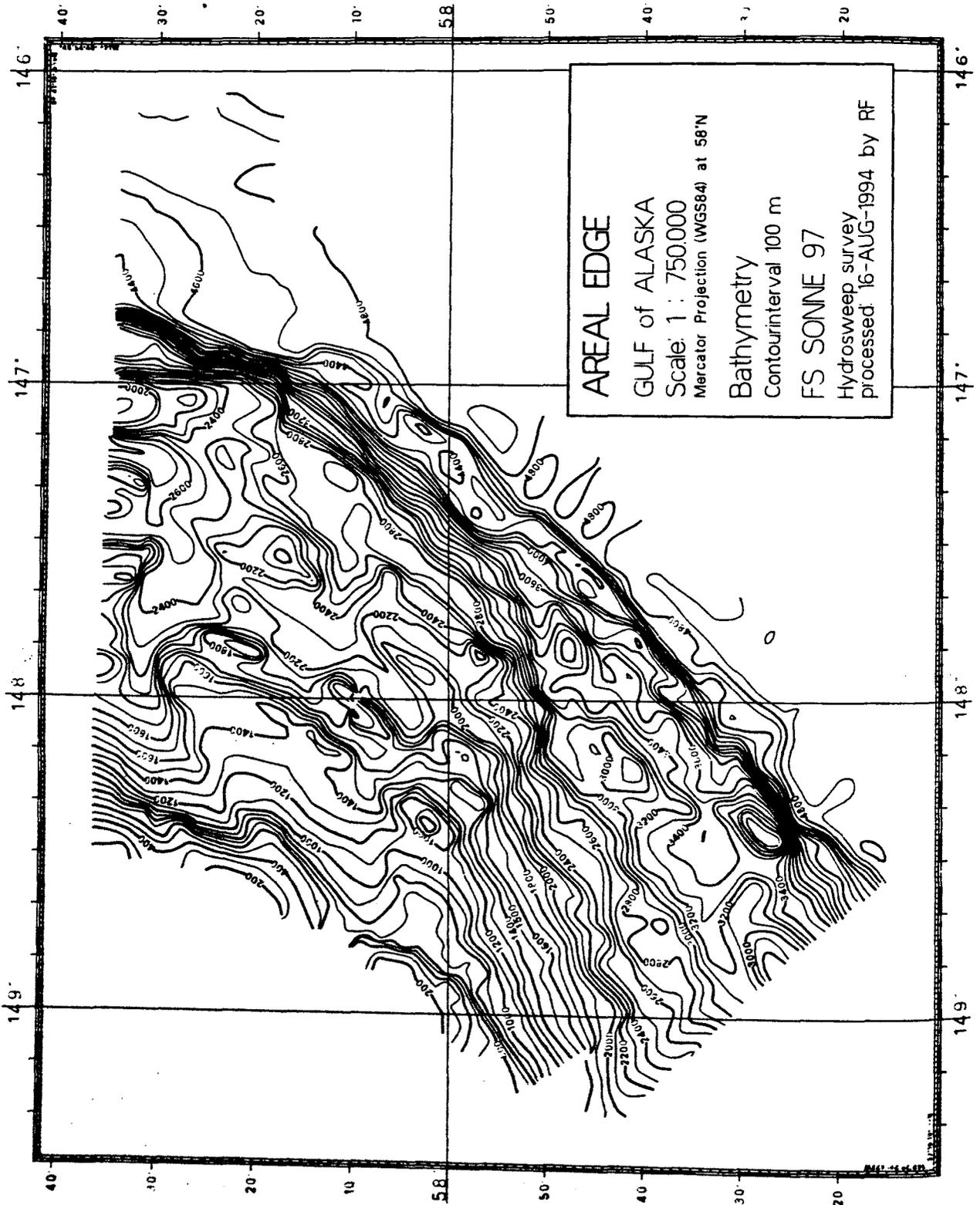


Abb. 15: Übersichtskarte der Isolinien des Meeresbodens im EDGE-Arbeitsgebiet.

Teile einer Vorabversion der Karte, welche mittels der bordeigenen Hydromap-Software vom wissenschaftlich-technischen Dienst hergestellt wurden, zeigt die Abb. 17. Der Ostteil der Karte, welcher auf diesem Fahrtabschnitt neu vermessen wurde, weist eine veränderte Struktur im Bereich des Akkretionskeiles auf, welche anhand der seismischen Profile 119 und 120 besser interpretiert werden kann.

Der untere Kontinentalhang westlich des 152. Längengrades zeigt eine deutliche Gliederung in zwei flache Synformen im Bereich zwischen 4000-4100 m und 4800-4900 m, die jeweils nach Süden durch ein Rückensegment begrenzt werden. Das seismische Profil 111 (Flüh et al. 1994) weist die Rücken als deutliche Antiklinen aus, dessen Kerne mit SE-vergenten Überschiebungen kompliziert sind. Die Beckenstrukturen dazwischen sind als Synklinalen ausgebildet, welche mit mächtigen Hangsedimenten aufgefüllt sind. Die untere Beckenstruktur ist dabei zum südlichen Rücken durch eine charakteristische "Backthrust" abgetrennt. Diese sehr breit und einheitlich ausgebildeten Beckenstrukturen werden nach Osten hin von einer stark untergliederten Morphologie des Meeresbodens abgelöst. Besonders im Bereich der unteren Beckenstruktur ist, neben einer allgemein nach Nordwesten zurücktretenden ersten Deformationsfront, die Einschaltung eines weiteren Rückens zu verzeichnen, der aufgrund seiner Lage und seiner Morphologie wahrscheinlich eine zusätzliche akkretionäre Antiform darstellt (Abb. 17). Weitere Details wird der Vergleich der Karte mit den seismischen Profilen erbringen.

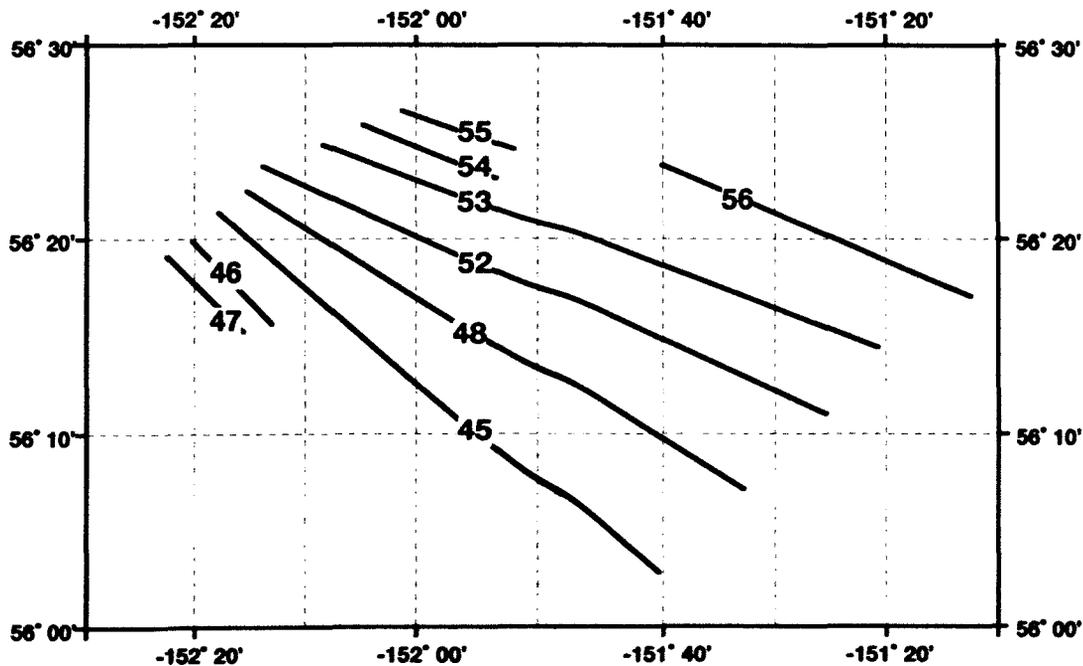


Abb. 16: Vermessungsprofile im Arbeitsgebiet ALBATROSS.

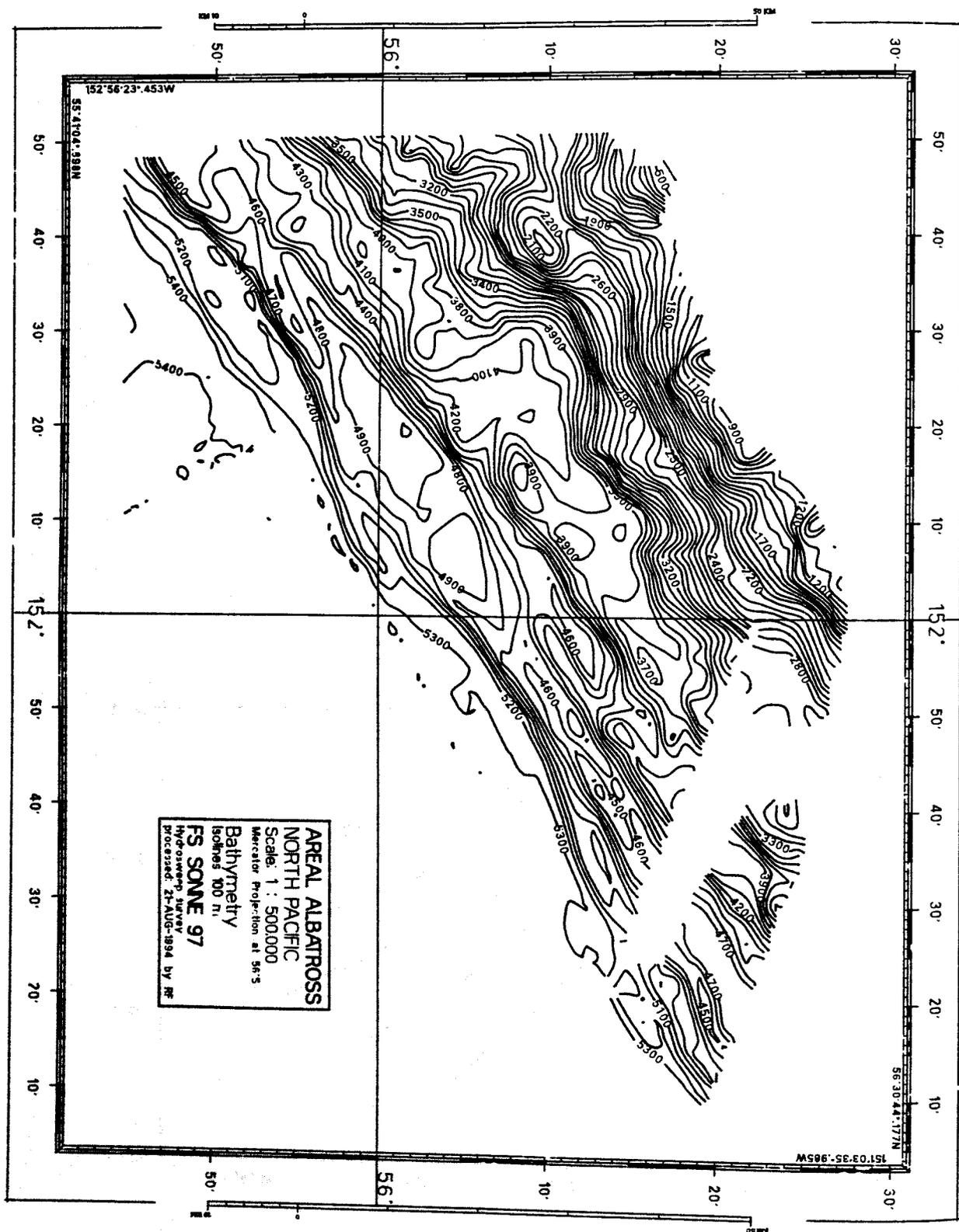


Abb. 17: Bathymetrische Übersichtskarte im Arbeitsgebiet ALBATROSS.

### 4.1.2.3 Arbeitsgebiet SHUMAGIN

Der größte Teil der Vermessungsarbeiten mit dem Fächerecholot HYDROSWEEP während SO-97 wurde im Arbeitsgebiet SHUMAGIN durchgeführt, wobei 15 HS-Profile (Abb. 18 und 19) mit einer Gesamtlänge von mehr als 350 km gefahren wurden. Zwei der Profile verlaufen nach Süden bis weit in den Bereich der Pazifischen Platte hinein, welche auf dem Weg zur Kernstation 111 vermessen wurden. Auch für das SHUMAGIN Arbeitsgebiet lagen bereits vier Profile der SO96-1 Reise vor (Flüh et al., 1994).

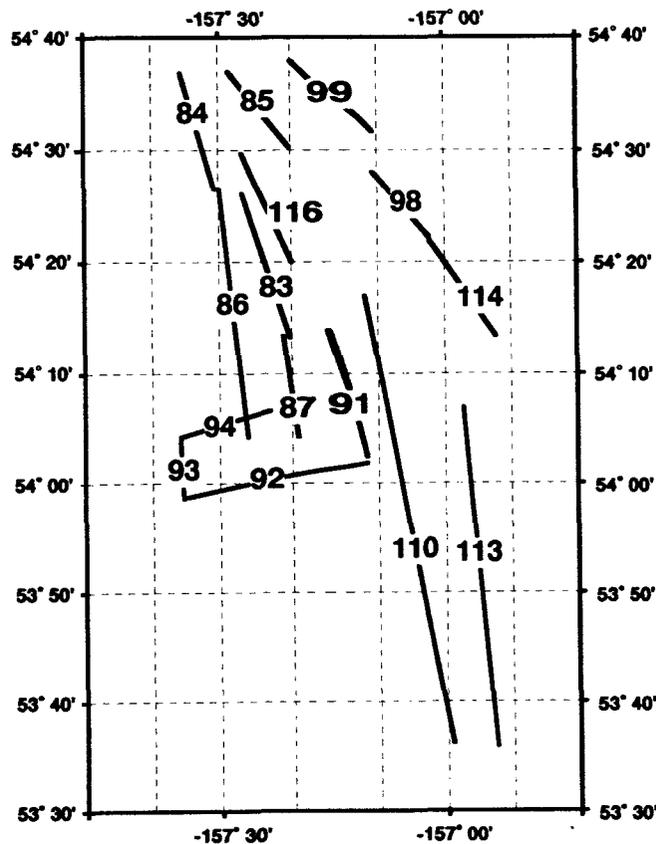


Abb. 18: Vermessungsprofile im Gebiet SHUMAGIN.

Von Süden kommend ist das Abtauchen der Pazifischen Platte im Graben durch die Tiefenzunahme des Meeresbodens nach Norden bis auf 5800 m im Osten und 6000 m im Westen der Karte deutlich (Abb. 19). Der erste und zweite Deformationsrücken sind nach NW folgend in den leichten Anstiegen auf 5800 m und von 5700 auf 5600 m zu erkennen. Beide Akkretionsrücken sind durch zahlreiche Canyons unterbrochen, welche zum Teil auf Transformstörungen zurückzuführen sind. Der Hauptakkretionskomplex ist in dem deutlich ausgeprägten Steilan-

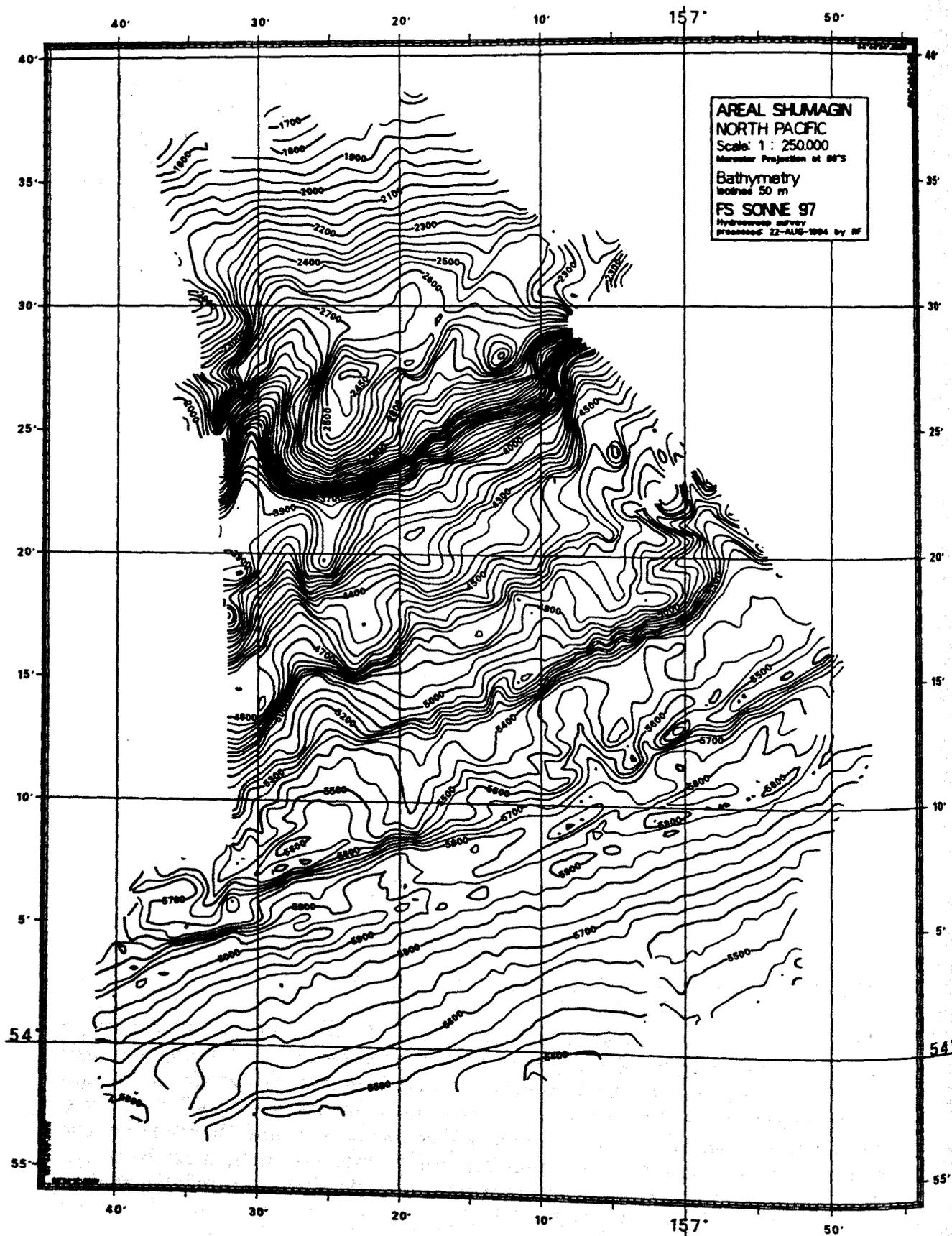


Abb. 19: Übersichtskarte der Bathymetrie im Bereich SHUMAGIN.

stieg von 5400 auf 5000 m zu finden, der in dem seismischen Profil 104 (Abb. 10) durch zahlreiche Überschiebungen gekennzeichnet wird. Zwischen 5000 m und 4000 m Wassertiefe, einem Bereich der allgemein im Aleutengraben als "Aleutian Terrace" bezeichnet wird, sind zwar auf der bathymetrischen Karte auch Bereiche mit steileren und flacheren Tiefenstufen entwickelt, aber die Seismikinterpretation weist diese nicht als diskrete Akkretionsantiklinen aus (von Huene et al., 1986). Der markante Steilanstieg zwischen 4000 m und 2600 m stellt eine durch Überschiebungen gekennzeichnete tektonische Grenze zwischen dem Akkretionskeil und einem Block dar, der wohl überwiegend kontinental ist (von Huene et al. 1986). Die Isolinienkarte des Meeresbodens (Abb. 19) zeigt deutlich zwei Canyonssysteme im Osten und Westen, welche als tiefe Einschnitte in fast allen Steilstufen vom oberen Kontinentalhang bis zum ersten Deformationrücken des Akkretionskeiles zu erkennen sind. Dort belegen sie, daß sie als Wege für den gravitativen Massentransport bis in jüngste Zeit benutzt werden, obwohl die Canyon-Systeme wahrscheinlich teilweise als Transformstörungen angelegt, schon seit längerer Zeit aktiv benutzt werden.

Eine erste Übersichtskarte zeigt die Abb. 19. Eine Zuordnung der einzelnen morphologischen Details der Karte (Abb. 19) mit dem seismischen Profil 104 (Abb. 10), welche im Graben etwa im Bereich des 157. Längengrades beginnt und senkrecht zum Hang in NW-Richtung verläuft, ist relativ leicht durchzuführen.

Eine solche Transformstörung, welche erst in jüngerer geologischer Vergangenheit aktiv als dextrale Blattverschiebung angelegt oder reaktiviert wurde, ist im zentralen Teil der Karte zwischen dem zweiten und dritten Rücken zu sehen (Abb. 19). Canyonartige Einschnitte sind entlang dieser Linie nach NW an allen Stufen zu erkennen, obwohl sie weniger deutlich als die beiden großen Canyon-systeme ausgebildet sind. Diese interpretierte Störung ist als Transformstörung im SE durch einen deutlichen Versatz des ersten Deformationrückens zu erkennen, dessen Miteinbeziehung in den tektonischen Prozeß ein junges Alter belegt.

#### 4.2 PARASOUND-Vermessung

D. Beck, N. Biebow, G. Bohrmann, C. Didié, N.-H. Krüger, M. Oswald,  
A. Stavenhagen

Das bordeigene Sedimentecholot PARASOUND sollte vorwiegend dazu eingesetzt werden, um Erkenntnisse zum jungen Ablagerungsmilieu in den obersten Sedimentschichten zu gewinnen, sowie geeignete Positionen zur Sedimentbe-  
probung zu finden.

#### 4.2.1 Gerätebeschreibung

Das Sedimentecholot PARASOUND (Atlas-Elektronik GmbH, Bremen) an Bord von FS SONNE arbeitet im parametrischen Betrieb mit einer variabel einstellbaren Frequenz zwischen 2.5-5.5 kHz. Es werden zwei hochfrequente, eng gebündelte Wellen ausgesendet, von denen durch den parametrischen Effekt ein fester Signalanteil von 18 kHz und ein variabler Anteil (18-23.5 kHz) in der Wassersäule zu einem niederfrequenten Signal als resultierende Frequenz hervorgehen. Die Eindringung dieser parametrischen Welle ist mit herkömmlichen 3.5 kHz-Systemen vergleichbar, hat aber zusätzlich die Möglichkeit der Frequenzvariation. Außerdem wird durch die enge Bündelung ein schärferes Bild der Morphologie und der Sedimentstrukturen erreicht. Die Schallwellen verlassen das Schiff in einem Abstrahlkegel von 4°, wobei ein Durchmesser der überstrichenen Fläche von 7% der Wassertiefe resultiert. Die enge Bündelung führt allerdings auch dazu, daß bei Hangneigungen von mehr als 2° kaum noch Energie zum Schiff zurückgelangt, wodurch ein Verlust der Information entsteht. Dies führt zu nicht befriedigenden Ergebnissen in morphologisch unruhigen Gebieten.

Die Tiefenbestimmung wird im DESO-Echolot mit einer konstant eingestellten Wasserschallgeschwindigkeit von 1500 m/s bestimmt. Über die digitale Schnittstelle können mit Hilfe des PARADIGMA-Systems die PARASOUND-Signale digital registriert und auf Magnetband aufgezeichnet werden. Die Daten stehen damit für ein Postprocessing zur Verfügung und können, ähnlich wie seismische Daten, bearbeitet werden.

#### 4.2.2 Durchgeführte Arbeiten und erste Ergebnisse

Kontinuierliche PARASOUND-Aufzeichnungen wurden nur während spezieller Profilmfahrten in Zusammenhang mit der HYDROSWEEP-Vermessung durchgeführt (Tab. 2). Neben der Analogaufzeichnung wurden im Wachbetrieb auch die digitalen Daten mit PARADIGMA auf Magnetband aufgezeichnet. Aufgrund der langen Stationszeiten in sehr eng umgrenzten Arealen und den meist sehr kurzen Anfahrtswegen wurde von einer Aufzeichnung außerhalb der Profilstrecken abgesehen. Wie auch während der Fahrt SO-96 waren die Aufzeichnungsergebnisse aufgrund der starken Hangmorphologie im Akkretionskeil des Aleutengrabens relativ unbefriedigend. Besonders am unteren Kontinentalhang wurden Hangneigungen von 2° sehr schnell überschritten, so daß das ausgestrahlte Signal am Boden meist wegreflektiert wurde und nicht mehr an Bord empfangen werden konnte.

In flachen Gebieten, wie auf dem Schelf (Abb. 22), im unmittelbaren Grabenbereich (Abb. 21) und auf der Pazifischen Platte (Abb. 21) konnten allerdings recht gute Registrierungen durchgeführt werden. Besonders auf der ozeanischen Platte waren Eindringtiefen bis ca. 30 m (Abb. 23) zu beobachten. Auf dem Schelfbereich südlich der Insel Kodiak sind die lithifizierten Sedimente der Oberkreide, welche

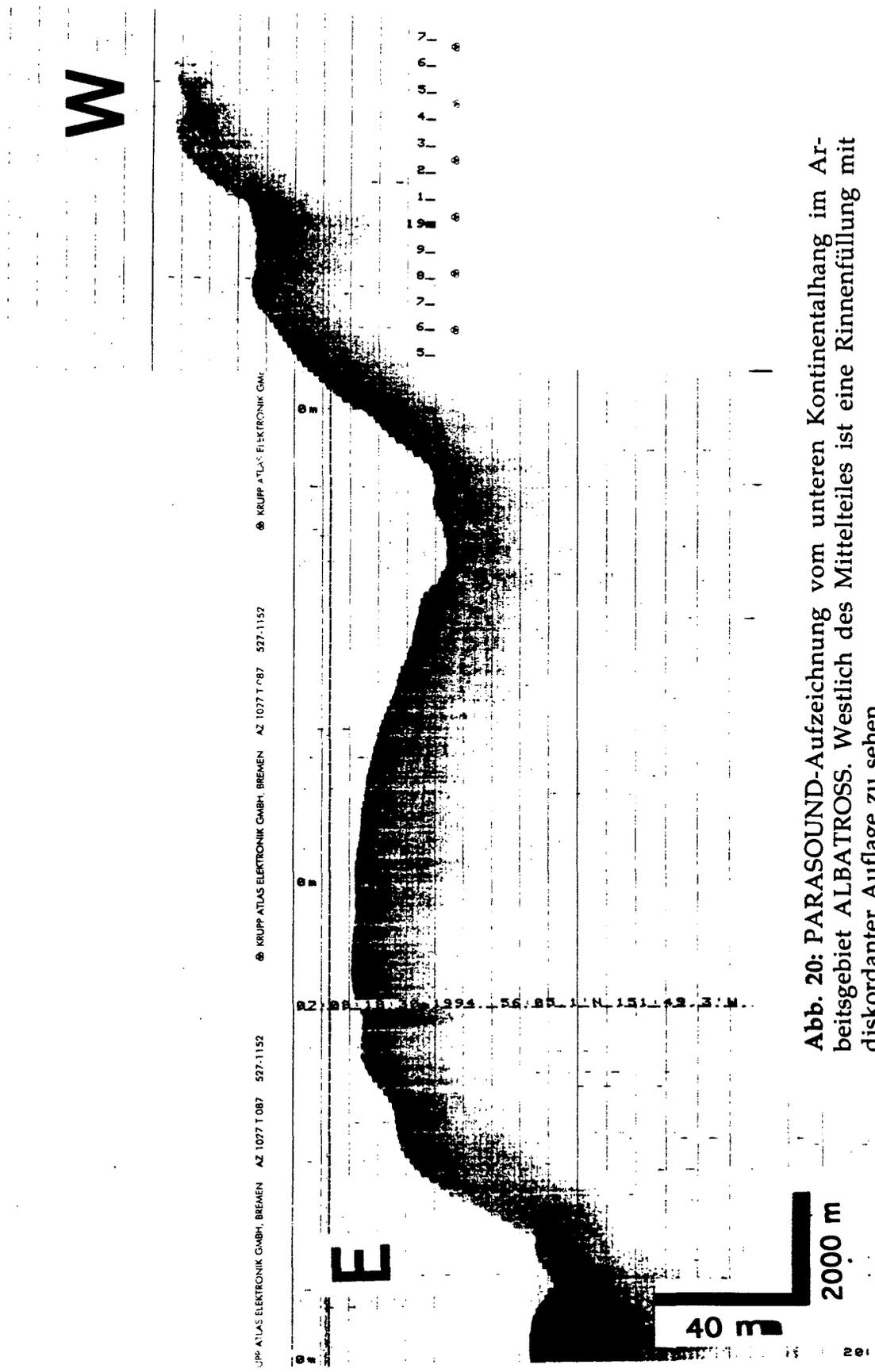


Abb. 20: PARASOUND-Aufzeichnung vom unteren Kontinentalthang im Arbeitsgebiet ALBATROSS. Westlich des Mittelteiles ist eine Rinnenfüllung mit diskordanter Auflage zu sehen.

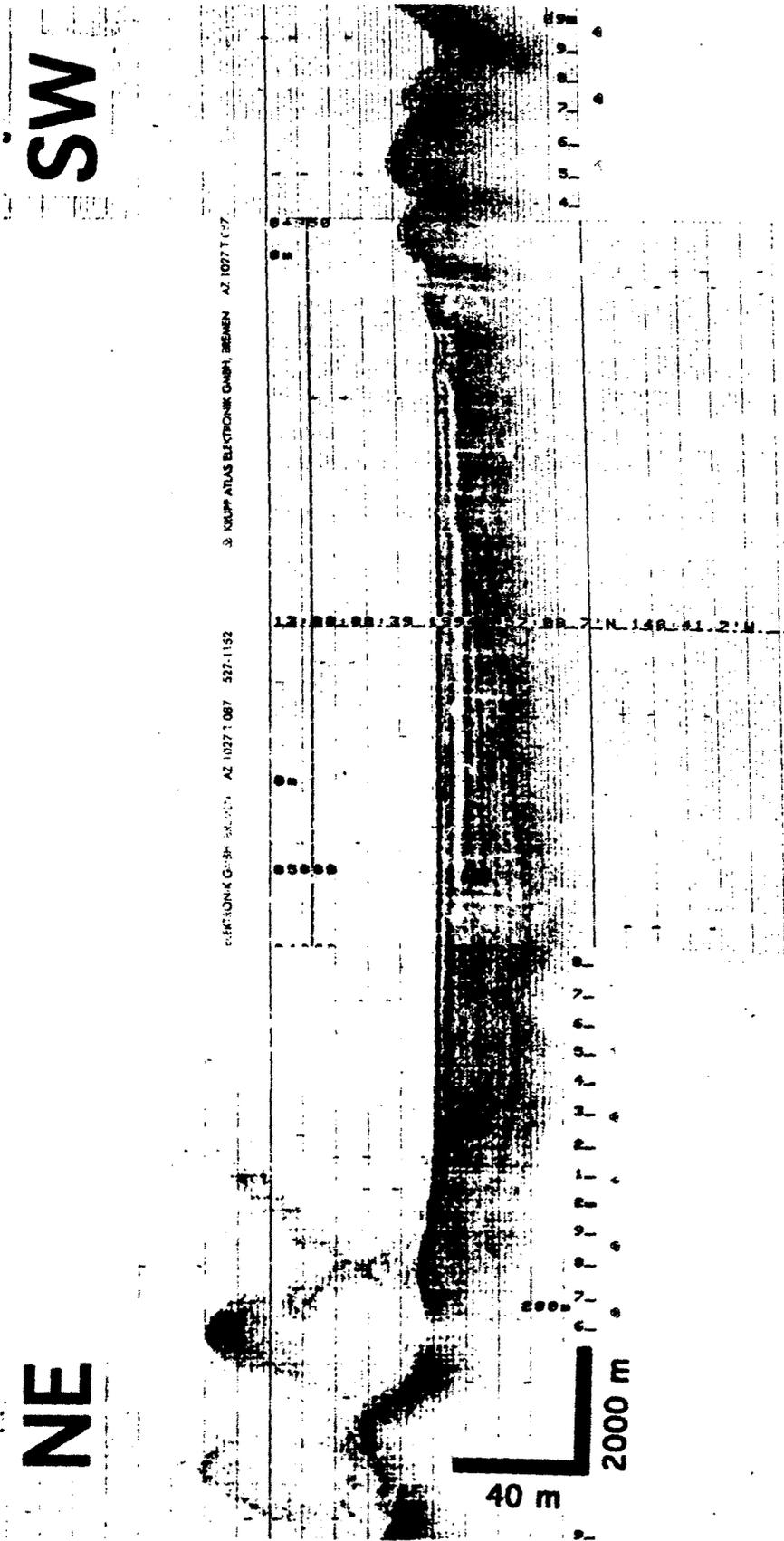


Abb. 21: Analogaufzeichnung von PARASOUND im Grabenbereich der Aleuten-Subduktionszone zwischen den Arbeitsgebieten ALBATROSS und SHUMAGIN. Junge Turbiditbecken mit horizontal geschichtetem Sedimentlagenbau sind die auffälligsten Erscheinungen der Grabenfüllung.

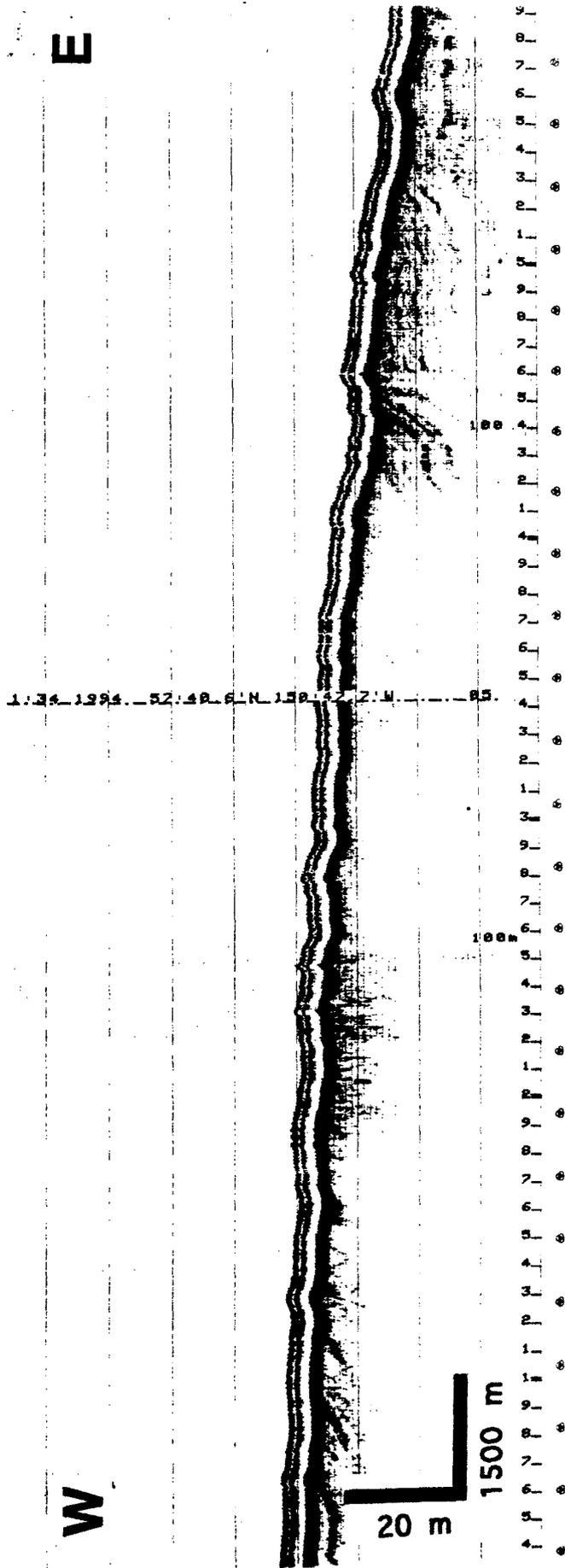


Abb. 22: PARASOUND-Analogaufzeichnung vom Schelf südlich der Insel Kodiak. Unter dem durch hohe Amplituden gekennzeichneten Meeresboden ist teilweise die gefaltete und durch Überschiebungen gekennzeichnetete Internstruktur der oberkretazischen Sedimente der Kodiak-Formation zu sehen.

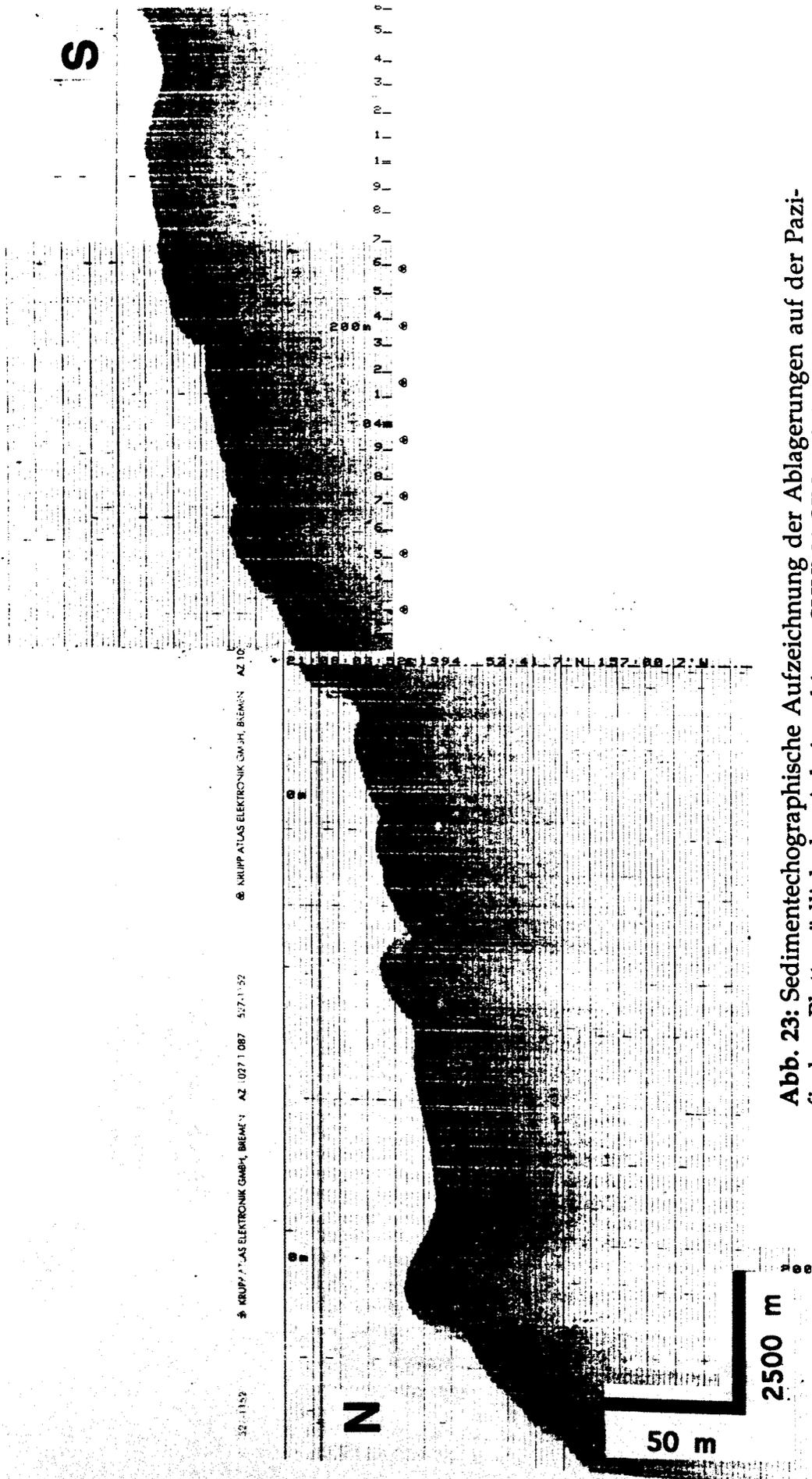


Abb. 23: Sedimentechographische Aufzeichnung der Ablagerungen auf der Pazifischen Platte südlich des Arbeitsgebietes SHUMAGIN auf der Anfahrt zur Kastenlotstation 111.

auf der Insel anstehen, zu registrieren. Der interne Falten- bzw. Schuppenbau der Sedimente des mesozoischen Akkretionskomplexes wurde teilweise durch die Reflektionen des PARASOUND-Signals nachgezeichnet (Abb. 22). Im Bereich des unteren Kontinentalhanges ließen sich verschiedene Hangrutschungen und diskordante Sedimentauflagerungen (Abb. 20) finden, welche die hohe Sedimentdynamik in dem tektonisch sehr mobilen Teil des Kontinentalhanges verdeutlicht. Mächtige Turbiditsequenzen konnten weiterhin immer wieder in verschiedenen mittel- bis kleinräumigeren Beckenstrukturen des Grabens mit der PARASOUND-Vermessung festgestellt werden (Abb. 21).

### 4.3 Magnetik, Akquisition und Datenbearbeitung

#### A. Stavenhagen

Während der Ausfahrt SO97-1 wurden weitergehende magnetische Kartierungen, parallel mit der HYDROSWEEP-Vermessung, durchgeführt, um die vorangegangenen Arbeiten des Fahrtabschnittes SO-96 in den Untersuchungsgebieten EDGE und ALBATROSS zu vervollständigen. Die vorgenommenen Messungen dienten der Verifikation der in den Meßgebieten vorhandenen Plattengrenzen und Transformverwerfungen, die sich anhand von Störungen ihrer magnetischen Muster besser erkennen lassen, als nur durch die Betrachtung der Topographie. Aus diesem Grunde war es hier ausreichend, die Totalintensitäten und nicht andere Parameter, wie Inklination oder Deklination des Erdfeldes zu messen.

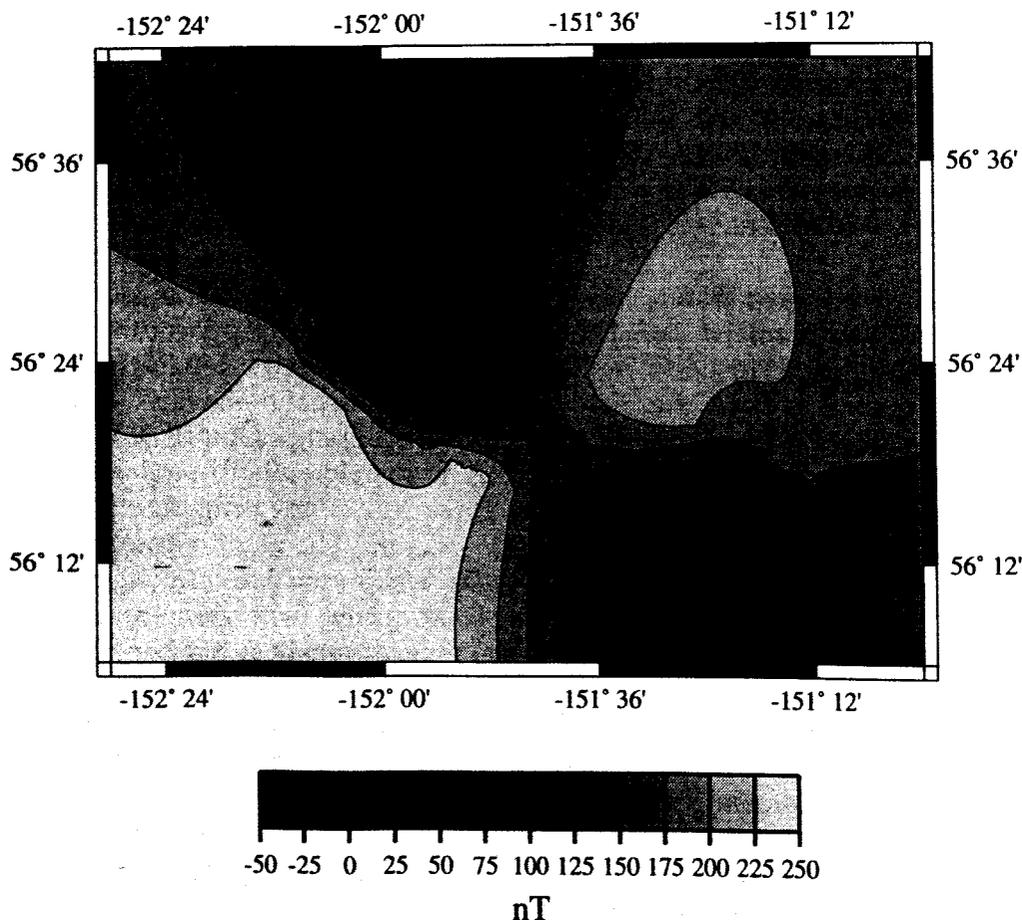
Während den Messungen traten erhebliche technische Probleme an dem Protonenpräzessionsmagnetometer auf. Die Empfindlichkeit der Apparaturen bezüglich äußerer Einflüsse erforderte mehrfache Wartungs- bzw. Reparaturarbeiten, bevor eine brauchbare Basis zur Datenakquisition vorhanden war. Neben den von Hoffmann und Ranero (Flüh et al., 1994: Fahrtbericht SONNE 96) beschriebenen Problemen der Energieversorgung der Registriereinheit, stellten sich im folgenden fehlerhafte Kabelverbindungen sowie die Verlegung der Bordkabel und der Einfluß der Fahrtgeschwindigkeit als wesentliche Quelle von Störungen der Registrierung heraus. Der Gewinn an qualitativ guten Messungen, die einer sofortigen Interpretation zugeführt werden konnten, war dementsprechend gering, bzw. die gemessenen Daten bedurften einer intensiven Aufbereitung.

Das verwendete Feldmagnetometer G-866 (EG&G Geometrics, CA, USA) besteht aus dem Sensor, einem nichtmagnetischen Gehäuse, das mit einer hydrogenen Flüssigkeit, zumeist Kerosin, gefüllt und innerhalb dessen sich eine Spule befindet. Über ein gegen Induktion abgeschirmtes Kabel ist dieser Sensor mit der Registriereinheit, einem Analog-/Digitalschreiber und einem Personalcomputer verbunden. Von hier aus wird die Aufnahme der Daten gesteuert, bzw. die Triggerrung des Meßkreises vorgenommen. Zur Messung des Magnetfeldes wird in die Spule des Sensors ein Strom geleitet, der mit seinem magnetischen Feld die Protonen der Atome des Kerosins gleichrichtet. Nach Abschalten dieses Stromes richten sich die Protonen wieder im Magnetfeld der Erde aus, und die Frequenz

dieser Schwingungen ist, nachdem sie als induzierter Strom von der vom Kerosin umgebenen Spule an die Registereinheit weitergeleitet wird, ein Maß für die Stärke dieses Feldes. Das Auflösungsvermögen des Gerätes beläuft sich nach Herstellerangaben auf 1 nT (1 nano Tesla  $\approx$  1 gamma  $\approx$   $10^{-5}$  Gauss), die Totalintensität im Meßgebiet um 53000 nT.

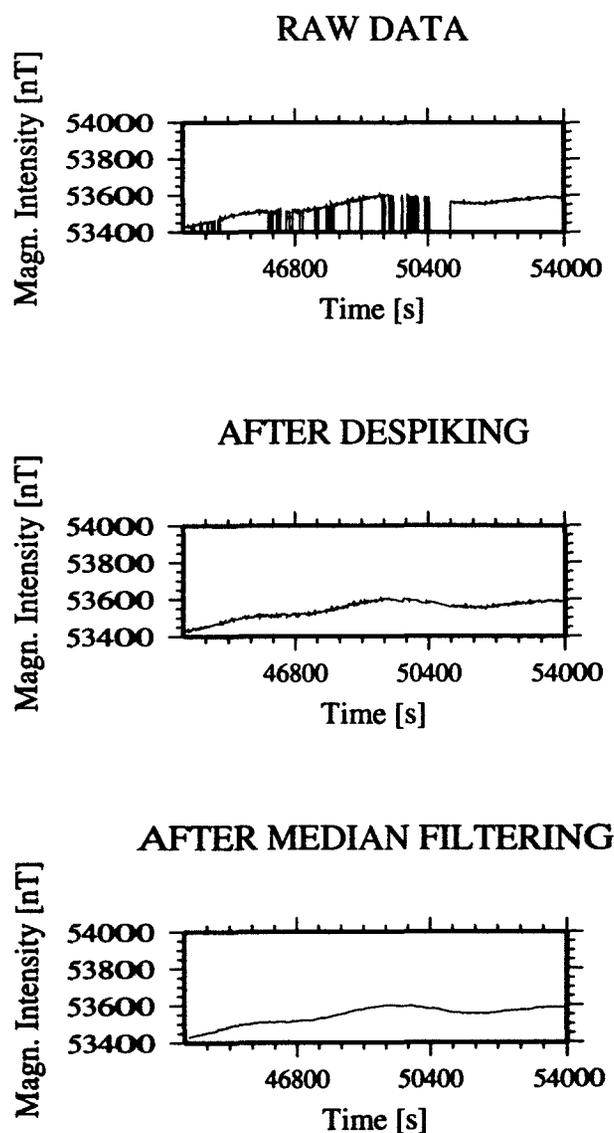
In der verwendeten Meßkonfiguration wurde der Sensor 180 m hinter dem Schiff geschleppt; es wurde die maximale Länge des Schleppkabels ausgenutzt, um Einflüsse des Schiffskörpers gering zu halten. Das Bordkabel wurde so verlegt, daß keine stromführenden Leitungen die Verbindungskabel kreuzten. Im Verlauf der Ausfahrt wurden in den Meßgebieten EDGE vier und ALBATROSS neun Profile mit insgesamt über 600 km Länge vermessen.

### Albatross Magnetik Anomalien



**Abb. 24:** Ausschnittskarte magnetischer Anomalien aus dem Meßgebiet ALBATROSS. Deutlich sind die positiven Anomalien bis zu 250 nT zu erkennen.

Die aufgenommenen Meßwerte beinhalten das Datum als julianischen Tag, die Zeit und den gemessenen Wert. Sie werden mit der Schiffsnavigation der Profile (Koordinaten und Zeit) zu Tracks verarbeitet, der entstehende Datensatz enthält die vollständigen Angaben des Profils. Im folgenden werden Editierung und Filterung nach Datenanalysen durchgeführt, hier Despiking, Amplituden-Mittelwertfilterung, Beseitigung des linearen Trendes und Resampling. Die verwendeten Programmsequenzen sind GMT- Routinen, UNIX- und C- Programmen entnommen. Der Output ist ein Grid, in dem einzelnen Koordinatenpaaren Werte zugeordnet sind, die sich in einer Karte des Meßgebietes darstellen lassen.



**Abb. 25:** Oben, Rohdaten, mit negativen Spikes behaftet; Mitte, nach der Despikingsequenz; Unten, nach Mittelwertfilterung.

## 5. Arbeiten in der Wassersäule

### 5.1 Einsatz des Kranzwasserschöpfers und der Multisonde

S. Lammers, G. Rehder, A. Stavenhagen und G. Winckler

#### 5.1.1 Einleitung

Vorrangiges Ziel der Probennahme mit dem Kranzwasserschöpfer war die Detektion von erhöhten Methankonzentrationen als Indikator von Fluidaustrittsstellen. Aus diesem Grund konzentrierte sich die Probennahme in der Regel auf den bodennahen Bereich der Wassersäule.

Als weitere hydrochemische Parameter wurden Sauerstoffgehalt (Titration nach Winkler) und Nährstoffkonzentrationen (Nitrat, Nitrit, Phosphat, Ammonium, Silikat, bestimmt. An ausgewählten Stationen wurden Proben zur späteren Messung des  $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Isotopenverhältnisses und der Tritiumkonzentration entnommen. An einem Teil der Stationen wurden 2 Schöpfer aus der jeweils untersten Tiefe für bakterielle Untersuchungen verwendet.

Stations-Nr.	Datum Gebiet	Arbeits-	Latitude (° N)	Longitude (° W)	Wassertiefe (m)
11-1	28.07.	EDGE	57°40,57'	148°07,72'	3286
11-2	28.07.	EDGE	57°40,63'	148°08,10'	3244
19	30.07.	EDGE	57°32,05'	148°07,90'	4472
20	30.07.	EDGE	57°26,10'	148°01,10'	4946
23-1	31.07.	EDGE	57°25,97'	148°01,10'	4969
23-2	31.07.	EDGE	57°26,00'	148°01,35'	4978
30	02.08.	EDGE	57°22,98'	148°22,00'	4978
36	04.08.	EDGE	57°30,87'	147°53,03'	4972
37	04.08.	EDGE	57°26,80'	148°12,10'	4828
40.	05.08.	EDGE	57°29,40'	148°23,90'	5008
44	06.08.	ALBATROSS	57°58,27'	152°02,05'	5376
49-1	07.08.	ALBATROSS	56°05,88'	151°44,89'	5379
49-2	07.08.	ALBATROSS	56°05,93'	151°55,11'	4825
51	08.08.	ALBATROSS	56°09,00'	152°21,00'	4204
69	08.08.	EDGE	57°27,00'	148°00,50'	4832
73	12.08.	EDGE	57°26,60'	148°01,00'	4932
79	15.08.	SHUMAGIN	54°18,06'	157°13,46'	4736
80	15.08.	SHUMAGIN	54°23,01'	157°18,49'	3947
95	17.08.	SHUMAGIN	54°06,60'	157°22,40'	5946
103-1	19.08.	SHUMAGIN	57°18,10'	157°11,70'	4880
103-2	19.08.	SHUMAGIN	57°18,10'	157°11,70'	4843

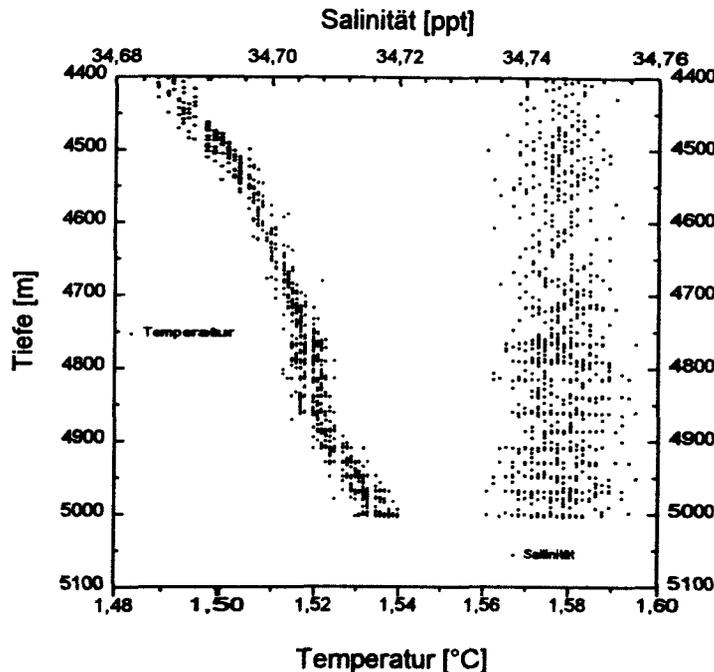
Tab. 3: Stationen von Kranzwasserschöpfer und Multisonde während SO97-1.

Insgesamt kam der Kranzwasserschöpfer 21 mal zum Einsatz, wobei an den Stationen 23, 44 und 103 jeweils zwei Casts zur Charakterisierung der gesamten Wassersäule durchgeführt wurden (Tab. 3).

### 5.1.2 Geräteinsatz

Die Beprobung der Wassersäule erfolgte mit dem bordeigenen Kranzwasserschöpfer. Das Gerät ist ausgestattet mit 12 *Hydrobios*-Schöpfern (Volumen 10 Liter) und einer ME-Multisonde zur kontinuierlichen Aufnahme von Druck, Temperatur, Leitfähigkeit, Sauerstoffkonzentration, Transmission und Schallgeschwindigkeit. Aus diesen Parametern werden rechnerisch die Salinität, die Dichte Sigma T und die potentielle Temperatur ermittelt.

Die an den Einsatz des Gerätes gestellten Anforderungen wurden nur teilweise erfüllt. Die Probennahme selbst, d.h. die Funktion der Schöpfer und Schöpferventile, der Auslösemechanismus sowie die Ansteuerung durch das Bordgerät, funktionierte fast einwandfrei. Einzige Einschränkung hierbei war die stellenweise fehlerhafte Rückmeldung des Schöpferzustandes nach Schließen des Schöpfers.



**Abb. 26:** Steuerung der Temperatur und Salinität am Beispiel der CTD-Station 69 im Tiefenintervall zwischen 4400 m und 5000 m.

Im Gegensatz hierzu zeigte sich die auf dem Fahrtabschnitt verwendete Sonde der Firma ME Meerestechnik Elektronik minimalen ozeanographischen Anforderungen nicht gewachsen. Auch der Austausch dieser Sonde gegen eine neu vom Hersteller kalibrierte Sonde gleicher Bauart (Station 51) durch den wissenschaftlich technischen Dienst führte nicht zu einer Verbesserung der Datenqualität, so daß wieder auf die ursprünglich eingesetzte Sonde zurückgegriffen wurde. Unter anderem gilt es folgendes zu bemängeln:

- Die Temperaturdaten weisen eine erhebliche Streuung von ca. 0.01-0.015°C auf, gegenüber einer vom Hersteller angegebenen Auflösung von 0.001°C und Genauigkeit von  $\pm 0.005^\circ\text{C}$ . Die Streuung der Salinitätswerte liegt in der Größenordnung von 0.02 ppt (Abb. 26), deutlich über der vom Hersteller angegebenen Auflösung von 0.001 ppt bzw. Genauigkeit von  $\pm 0.005$  ppt. Dies erschwert eine Charakterisierung unterschiedlicher Wassermassen und behindert die Auflösung schwacher Temperatur- und Salinitätsanomalien in der Wassersäule.

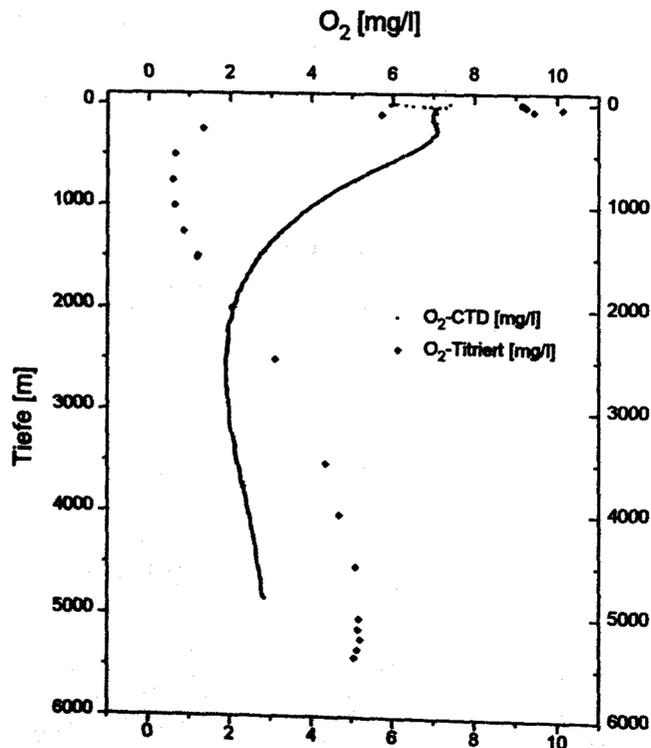


Abb. 27: Vergleich der mit den beiden unterschiedlichen Leitfähigkeitssensoren aufgenommenen Salinitätsdaten.

- Der Einsatz der zweiten Sonde lieferte im gleichen Wasserkörper eine andere Salinität als die auf den ersten Stationen verwendete Sonde (Tiefenwasser: 34.74 s bzw. 34.66 s, obwohl es sich nach Angabe von ME um neu kalibrierte Sensoren handelt (Abb. 27). Hieraus ergibt sich die Frage, ob neben des "Rauschens" der Daten auch noch systematische Fehler (Offsets) vorhanden sind. Literaturrecherchen ergaben, daß der typische Salzgehalt von nordpazifischem Tiefenwasser bei 34.68 s liegt (Tomczak and Godfrey, 1994).

- Die von der Firma ME eingesetzten Sauerstoffsonden scheinen uns völlig unbrauchbar. Zum einen sind die ermittelten Absolutwerte des Sauerstoffgehaltes vollkommen unrealistisch (auch negative Sauerstoffkonzentrationen sind durchaus keine Seltenheit). Darüberhinaus liefert die Sonde beim Hieven und Fieren des Gerätes unterschiedliche Werte. Unterbrechungen beim Fieren führten teilweise zu einer deutlichen Verschiebung des Kurvenverlaufs. Wie in Abb. 28 dargestellt, spiegeln die verwendeten Sauerstoffsensoren nicht einmal den qualitativen Verlauf des Sauerstoffprofils wider.

Es bleibt festzustellen, daß die auf diesem Fahrtabschnitt im Vordergrund stehende Probennahme mit dem Kranzwasserschöpfer erfolgreich verlief. Die oben beschriebenen Probleme bei der Datenqualität der hydrographischen Parameter ließen die angestrebte Detektion von Vent-induzierten Temperatur- und Salzanomalien im Wasserkörper nicht zu.

Aufgrund der von uns gemachten Erfahrung erscheint uns gerade für die Beprobung großer Wassertiefen die Anschaffung eines neuen Systems mit 24 Schöpfern und insbesondere einer neuen Multisonde erforderlich.

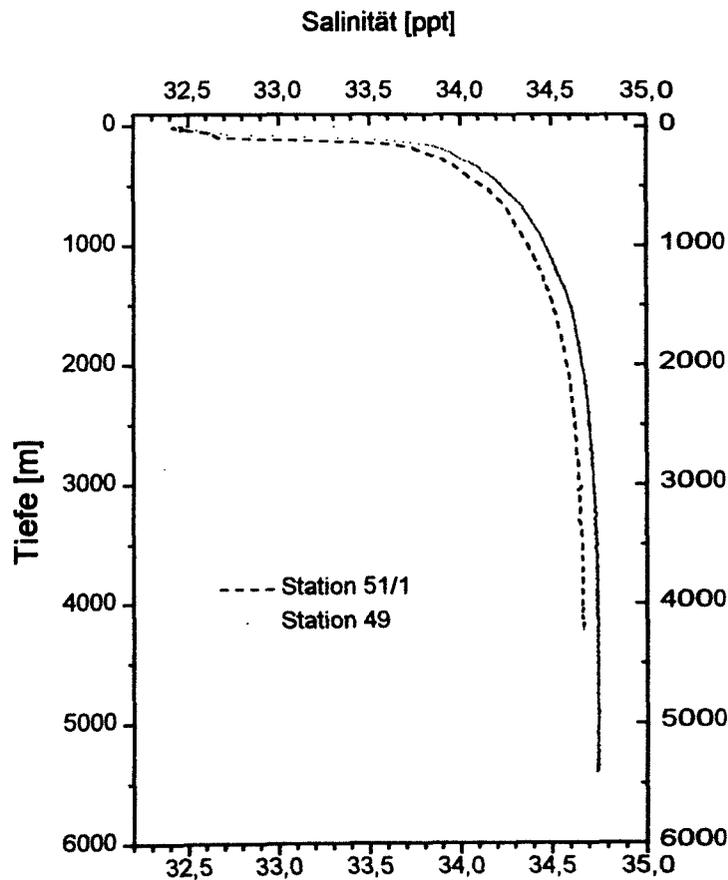


Abb. 28: Vergleich der mit der CTD-Sonde ermittelten O<sub>2</sub>-Konzentration mit der titrierten O<sub>2</sub>-Konzentration.

## 5.2 Methan in der Wassersäule

Stephan Lammers und Gregor Rehder

### 5.2.1 Einleitung

Die Bestimmung von gelöstem Methan, besonders in der bodennahen Wassersäule, wurde im Verlauf der gesamten SO97-1 Ausfahrt dazu benutzt, um - nach seismischer Vorerkundung - die Austritte von Fluiden am Meeresboden zu lokalisieren. Hierzu wurden CTD Profile entlang der Deformationsfronten aufgenommen und Wasserproben aus dem Kranzwasserschöpfer auf gelöstes Methan analysiert. Die Erfahrungen, die zuvor mit dieser Vorgehensweise im Nordatlantik (Gerlach und Graf, 1991; Suess und Altenbach, 1992; Suess et al., 1994) und im Südostpazifik (Suess, 1992) gemacht worden waren, konnten zeigen, daß die Ausbreitung am Meeresboden austretender Fluide mit Methananomalien in der Wassersäule korreliert waren, die sich über Distanzen von bis zu 10 Meilen nachweisen ließen. Als Anomalie in diesem Sinne werden Methankonzentrationen bewertet, die signifikant über der Hintergrundkonzentration des betreffenden Meeresgebietes liegen. Die durchgeführten Messungen zeigen, daß dieses Niveau im Nordostpazifik mit 8-12 nl/l vergleichsweise niedrig ist. Durch diesen Umstand, und den Anreicherungsseffekt der verwendeten Analyseverfahren, war es möglich, auch solche Konzentrationen als Indikator für Venting zu identifizieren, die noch unterhalb des Hintergrundniveaus von 20-30 nl/l anderer ozeanischer Bereiche lagen.

### 5.2.2 Methodik

Zur Beprobung der Wassersäule wurde eine bordeigene CTD Multisonde mit einem 12 x 10 Liter Kranzwasserschöpfer eingesetzt (vgl. Abschnitt 5.1). Die Messungen des gelösten Methans im Wasser wurden direkt im Anschluß an die Probenahme an Bord durchgeführt. Zur Gasextraktion wurden parallel zwei Systeme eingesetzt, die durch Anwendung von Vakuum und Ultraschall eine besonders schnelle Entgasung der Wasserproben ermöglicht (Schmitt et al., 1991). Der Wirkungsgrad dieser Extraktionsmethode in bezug auf Methan beträgt linear 62% bei einer Genauigkeit von  $\pm 5\%$  (Lammers und Suess, 1994). Die Analysen der extrahierten Gase auf Methan wurden an einem Gas-Chromatographen mit Flammen-Ionisationsdetektor durchgeführt. Die untere Bestimmungsgrenze der Methanmessungen lag bei 0.4 nl/l, die Nachweisgrenze bei 0.2 nl/l.

### 5.2.3 Ergebnisse

Im Verlauf der SO97-1 Expedition wurden an 17 Stationen (Tab. 3) insgesamt 21 CTD Profile aufgenommen und 223 Wasserproben aus dem Kranzwasserschöpfer auf ihren Methangehalt analysiert. Schwerpunkt der Untersuchungen war der bodennahe Bereich unterhalb von 3500 m Wassertiefe, dessen Methan-Anomalien Rückschlüsse auf Fluidaustritte am Meeresboden

erlauben. An insgesamt 6 Stationen wurden Profile der gesamten Wassersäule aufgenommen (Abb. 29). Es zeigten sich typische ozeanische Verteilungsmuster mit den niedrigsten (Hintergrund-) Konzentrationen von 8-15 nl/l in mittleren Tiefen unterhalb von 1000 m und erhöhten Werten bis über 100 nl/l nahe der Oberfläche, die durch Austauschprozesse zwischen Ozean und Atmosphäre sowie durch eine biogene Methanproduktion im oberflächennahen Wasser hervorgerufen werden. Infolge dieser Methanproduktion werden Konzentrationen bis zum zehnfachen des Äquilibriumwertes zwischen Atmosphäre und Wasseroberfläche beobachtet, der unter den hier vorherrschenden Bedingungen bei 50-60 nl/l liegt. Das in diesem Sinne prägnanteste Hintergrundprofil mit den höchsten Methanwerten an der Oberfläche (104 nl/l) und den niedrigsten Hintergrundkonzentrationen im tiefen Bereich (8 nl/l) wurde an Station 19 im EDGE-Gebiet aufgenommen.

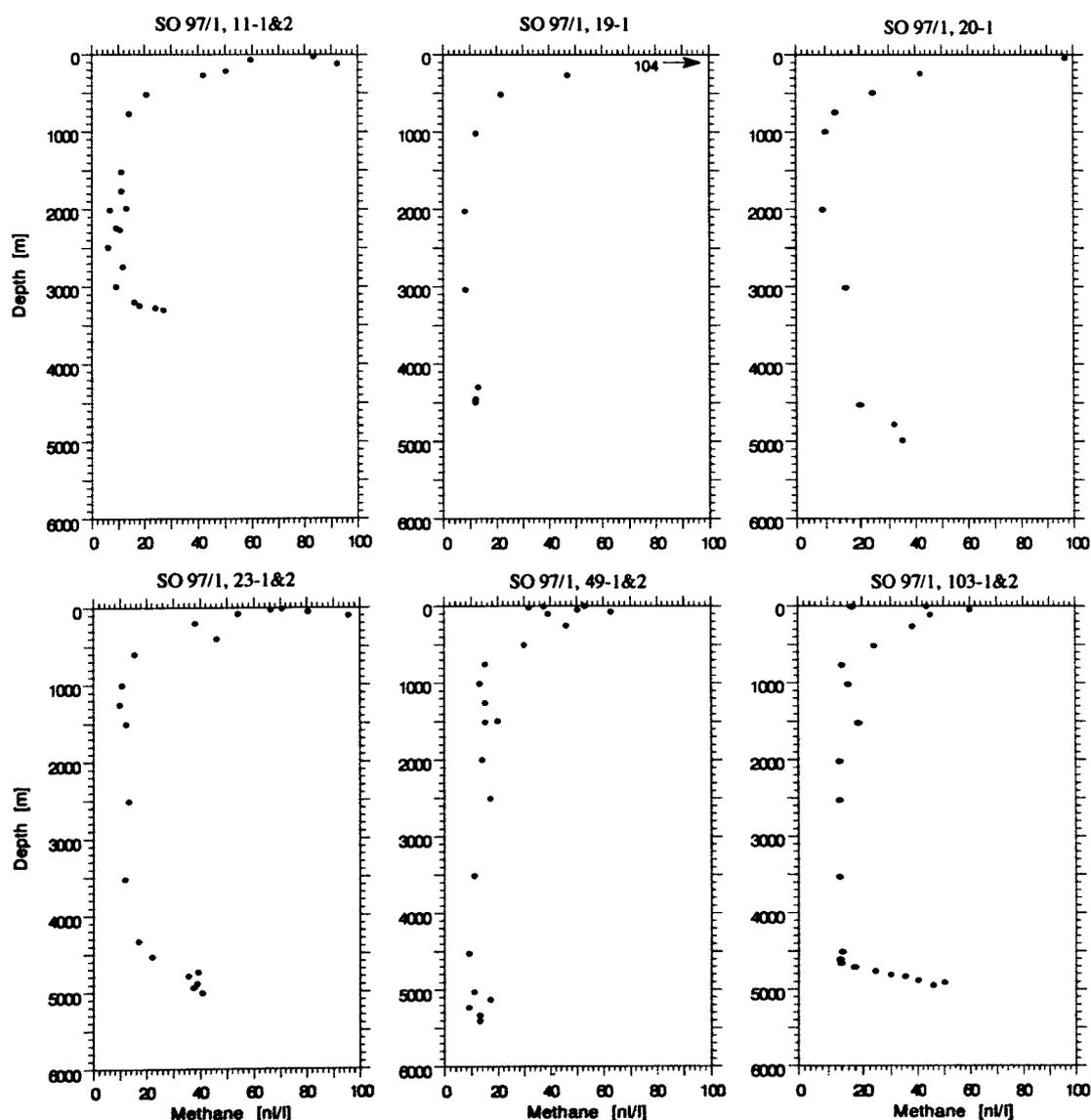


Abb. 29: Methanprofile der Stationen 11, 19, 20, 23, 49 und 103 über die gesamte Wassersäule.

Von den Gesamtaufnahmen in Abbildung 29 zeigen die Profile 11, 20, 23 und 103 außerdem signifikant erhöhte  $\text{CH}_4$ -Konzentrationen im bodennahen Bereich, die von Methanquellen am Meeresboden hervorgerufen werden.

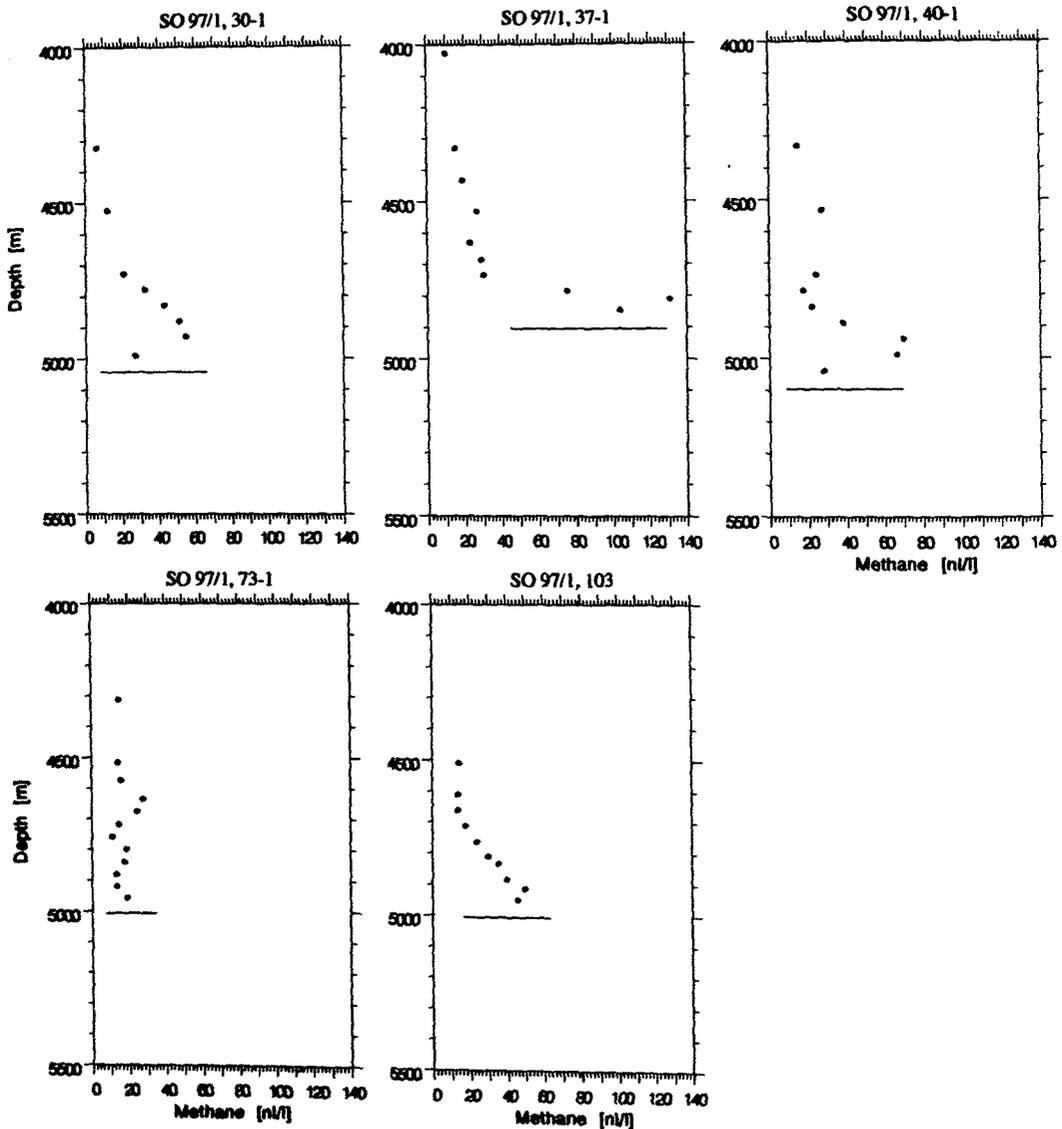


Abb. 30: Hochauflösende bodennahe Methanprofile der Stationen 30, 37, 40, 73 und 103.

Zur genaueren Lokalisierung von Fluidaustritten wurden in unmittelbarer Nähe von auffälligen Bodenstrukturen insgesamt 5 hochauflösende bodennahe Methanprofile mit Probenabständen von 20-50 m aufgenommen (Abb. 30).

Die Suche nach Methan-Anomalien in der bodennahen Wassersäule konzentrierte sich im Arbeitsgebiet EDGE entlang der ersten im Südosten gelegenen Deformationsfront des Akkretionskeiles, wo insgesamt 11 Methanprofile (12-40, 69,

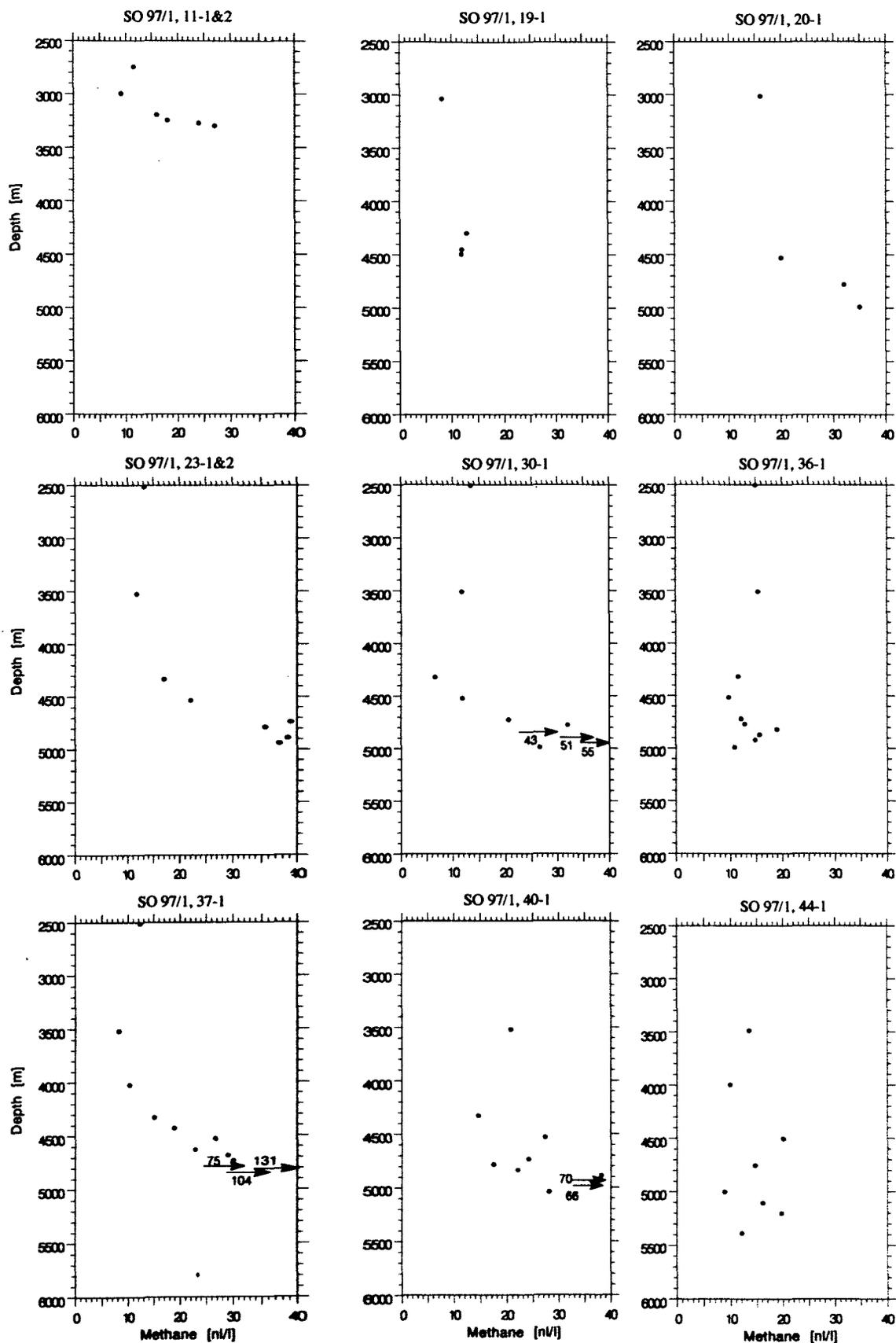


Abb. 31: Methan-Tiefenprofile der Stationen 11 - 44.

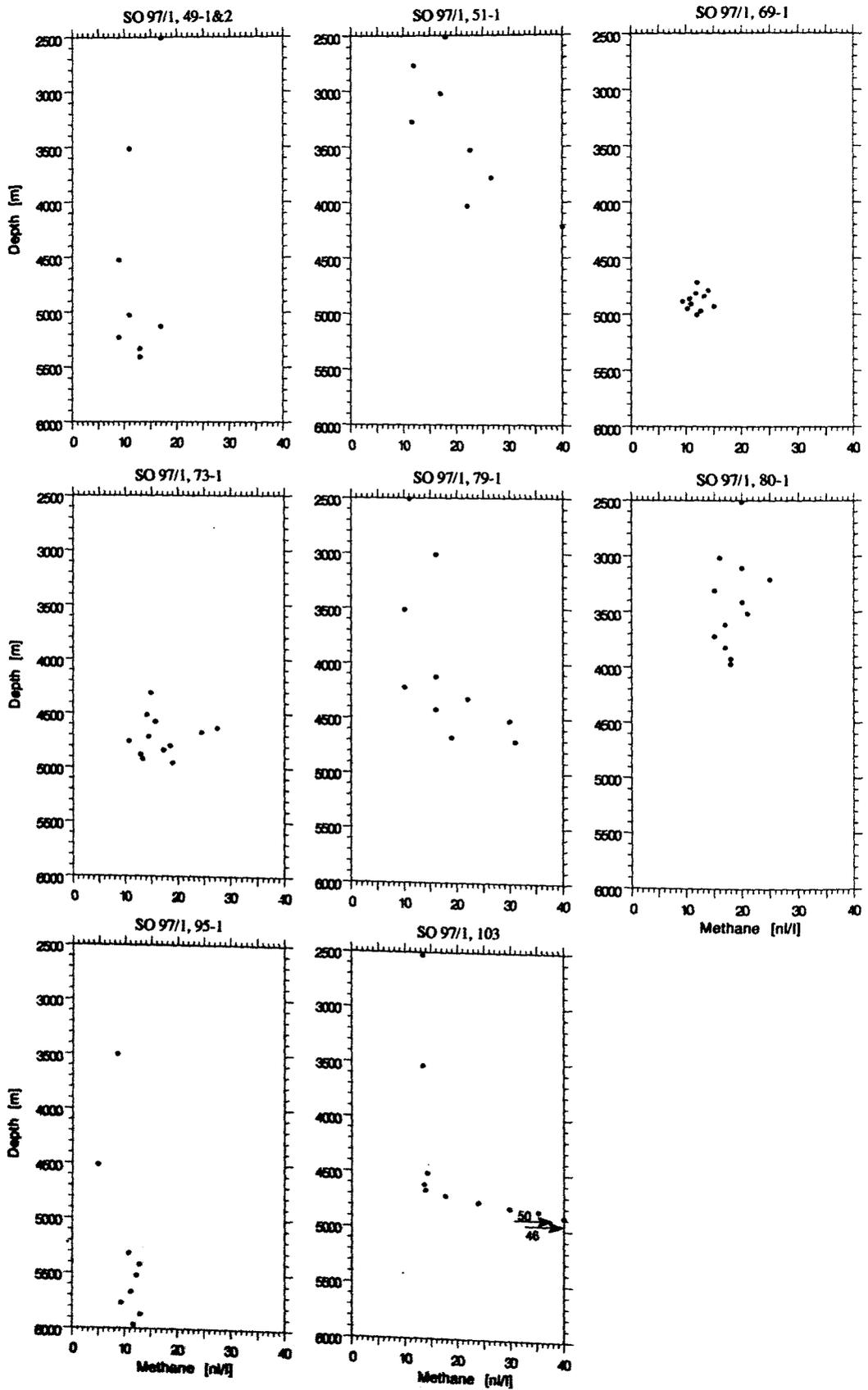


Abb. 32: Methan-Tiefenprofile der Stationen 49 - 103.

73) aufgenommen wurden (Abb. 3, 31 und 32). Es zeigte sich, daß bodennahe CH<sub>4</sub>-Anomalien fast überall vorhanden waren, jedoch z.T. nur 20-30 nl/l über der Hintergrundkonzentration lagen. Eine Ausnahme hiervon stellt das Profil 19 dar, das auch bodennah keine signifikante Abweichung von der 10 nl/l Hintergrundkonzentration aufweist. Erste deutlichere Hinweise auf aktives Venting ergaben die Profile der Stationen 30, 37 und 40 (Abb. 31) innerhalb einer Einbuchtung der Deformationsfront im SW des Arbeitsgebietes, an denen bodennahe Konzentrationen von 55-131 nl/l gemessen wurden (Abb. 3). Bei der anschließenden Exploration in der näheren Umgebung wurden Vent-Lokationen gefunden. Das im nördlichen Teil des Arbeitsgebietes im Bereich eines distaleren Akkretionsrückens über die gesamte Wassersäule aufgenommene Profil 11 zeigt ein nur wenig geringeres Niveau der Methan-Anomalie am Boden als die übrigen Profile. Insgesamt fällt die Häufigkeit und das relativ geringe Niveau der Methan-Anomalien auf, die jedoch eindeutig auf Venting zurückzuführen sind. Darüber hinaus wurden nur in den Profilen 30 und 40 bodennahe Ausbreitungen von Methan-Plumes festgestellt, die offenbar von hangaufwärts gelegenen Fluidaustritten freigesetzt werden (Abb. 30).

Die Erkundungen im ALBATROSS-Gebiet beschränkten sich auf insgesamt 4 Profile an drei Stationen (44, 49-1 und 2, 51), wobei das kombinierte Profil 49 - ähnlich wie Profil 19 - den typischen ozeanischen Methanhintergrund abbildet (Abb. 29). Da auch die Messungen an der Station 44 keine und an der Station 51 nur äußerst vage Hinweise auf Venting erbrachten, wurde keine intensivere Prospektion des ALBATROSS-Gebietes durchgeführt.

Mit insgesamt 7 Profilen an 6 Stationen (51-103) war die Methansuche im SHU-MAGIN-Gebiet der zweite Schwerpunkt der SONNE 97-1 Expedition. Im Unterschied zum EDGE-Gebiet wurden die Messungen hier jedoch auch hangaufwärts im Bereich der zweiten und dritten Deformationsfront durchgeführt. Den wichtigsten Hinweis auf aktives Venting lieferte das Profil 103-1, in dessen Nachbarschaft hangaufwärts ein Vent-Feld gefunden wurde, während sich an den übrigen Stationen keine konkreten Hinweise fanden.

### 5.3 Nährstoffe und Sauerstoff in der Wassersäule

A. Bleyer, B. Domeyer und K. Wallmann

Die Nährstoffe Nitrat, Phosphat, Ammonium und Nitrit wurden simultan an einem vom Institut für Meereskunde in Kiel entwickelten und gelieferten Autoanalyser (AA) gemessen. Die Nitratlinie wurde mit einer Verdünnungsschleife versehen, durch die das Probenaliquot um den Faktor 3 verdünnt wurde. Auf diese Weise konnten die hohen Nitratkonzentrationen im Bodenwasser zuverlässig bestimmt werden. Die zur Nitratreduktion verwendete Cadmiumsäule mußte nach ca. 2 Wochen erneuert werden, da auch sulfidhaltige Porenwasserproben am AA vermessen wurden, die den Kupferbelag auf den Cadmiumkörnern durch die Fällung von Kupfersulfid zerstörten. Bei der Ammonium-Be-

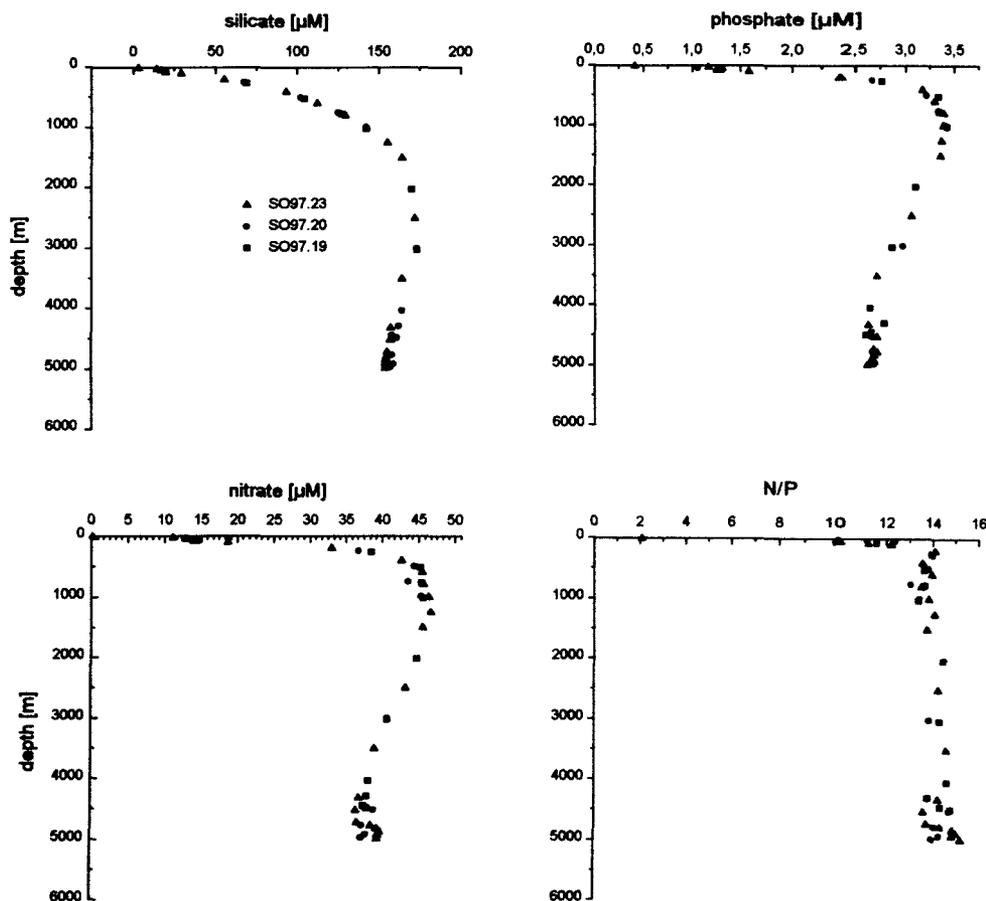
stimmung traten Blindwertprobleme auf, da die Ammoniumkonzentration im Porenwasser bis zu 10 000 Mal höher als im Bodenwasser war und auch durch intensives Waschen ein Memorieeffekt nicht vollständig ausgeschaltet werden konnte. Daher wurden ausgewählte Bodenwasserproben mit der Handmethode am UV/VIS-Spektrometer Lambda 2 (Firma Perkin Elmer) vermessen. Zur Steigerung der Nachweisstärke wurde dabei eine 5 cm lange Küvette mit einem Durchmesser von 1 cm verwendet. Die Silikatkonzentrationen in der Wassersäule wurden ebenfalls am Spektrometer bestimmt. Der Probendurchsatz wurde dabei mit Hilfe einer Durchflußküvette mit automatischer Probenansaugung erhöht. Aufgrund der hohen Konzentrationen mußten die Proben vor der Reagenzienzugabe mit destilliertem Wasser um den Faktor 10 verdünnt werden. Weiterhin wurden die Sauerstoffgehalte mit Hilfe der Winkler-Titration und der anorganische Kohlenstoff (TIC) durch gaschromatographische Messungen bestimmt. In der Tabelle 4 sind die an den einzelnen CTD's erfaßten Parameter aufgeführt.

<u>Station</u>	<u>Sauerstoff</u>	<u>Silikat</u>	<u>Phosphat</u>	<u>Nitrat</u>	<u>Ammonium</u>	<u>Nitrit</u>	<u>TIC</u>
11	+	+	+	+	+		
19	+	+	+	+	+		
20	+	+	+	+	+		
23	+	+	+	+	+		
36	+	+					
37	+						
40	+						
49	+	+	+	+	+	+	+
69	+						
103	+	+	+	+	+	+	+

Tab. 4: CTD-Stationen an denen während SO97-1 Messungen der Nährstoffe in der Wassersäule durchgeführt wurden.

Der vollständige Datensatz kann dem Tabellenanhang (Anhang III.2) entnommen werden. In Abb. 33 sind die an den Stationen SO97-19, -20, -23 bestimmten Nährstoffprofile dargestellt. Die Konzentrationen sind unterhalb der photischen Zone sehr hoch und erreichen maximale Werte von 173 µM Silikat, 3.4 µM Phosphat und 46 µM Nitrat. Dabei liegt das Silikatmaximum in wesentlich größerer Tiefe als die Phosphat- und Nitratmaxima, da die Auflösung von Opal langsamer als der Abbau organischer Substanzen verläuft. Das Bodenwasser des Nordpazifiks gehört zu den ältesten Wassermassen des Weltozeans und hat daher die hier gezeigten ausgesprochen hohen Nährstoffgehalte (Tomczak and Godfrey, 1994). Der fast vollständige Nährstoffverbrauch im Oberflächenwasser zeigt eine intensive Primärproduktion an und deutet auf eine relativ ungestörte Schichtung der Wassersäule hin. Der extrem stark ausgebildete Silikatgradient zeigt, daß die Opalschaler einen hohen Anteil an der Primärproduktion haben

und in der tieferen Wassersäule wieder aufgelöst werden. Im bodennahen Bereich unterhalb von ca. 4900 m Wassertiefe steigen die Nitratkonzentrationen an. Dies ist möglicherweise auf die Erosion von anoxischen Sedimenten und den Transport der Partikel in der Nepheloidschicht zurückzuführen. Anoxische Sedimente haben sehr hohe Ammoniumgehalte, die nach einer Verfrachtung ins oxische Milieu durch mikrobielle Nitrifikation zu Nitrat umgesetzt werden. Die Phosphatgehalte zeigen ebenfalls eine leichte Zunahme im bodennahen Bereich, die durch den gleichen Prozeß erklärt werden kann, da aus erodierten Sedimenten durch Lösungs- und Desorptionsreaktionen Phosphat freigesetzt werden kann. Die aus den Nitrat-, Nitrit-, Ammonium- und Phosphat-Werten berechneten molaren N/P-Verhältnisse sind in der photischen Zone wesentlich niedriger als im übrigen Wasserkörper. Dies deutet darauf hin, daß die gelösten stickstoffhaltigen Ionen nicht nur durch Fixierung in organischer Substanz sondern auch beim mikrobiellen Abbau organischer Substanz in Schwebstoffen durch Denitrifikation gezehrt werden.



**Abb. 33:** Nährstoff-Profile in der Wassersäule an den Stationen SO97-19, SO97-20 und SO97-23. N/P ist hier und in allen folgenden Abbildungen das aus den Nitrat-, Nitrit-, Ammonium- und Phosphatwerten berechnete molare N/P-Verhältnis.

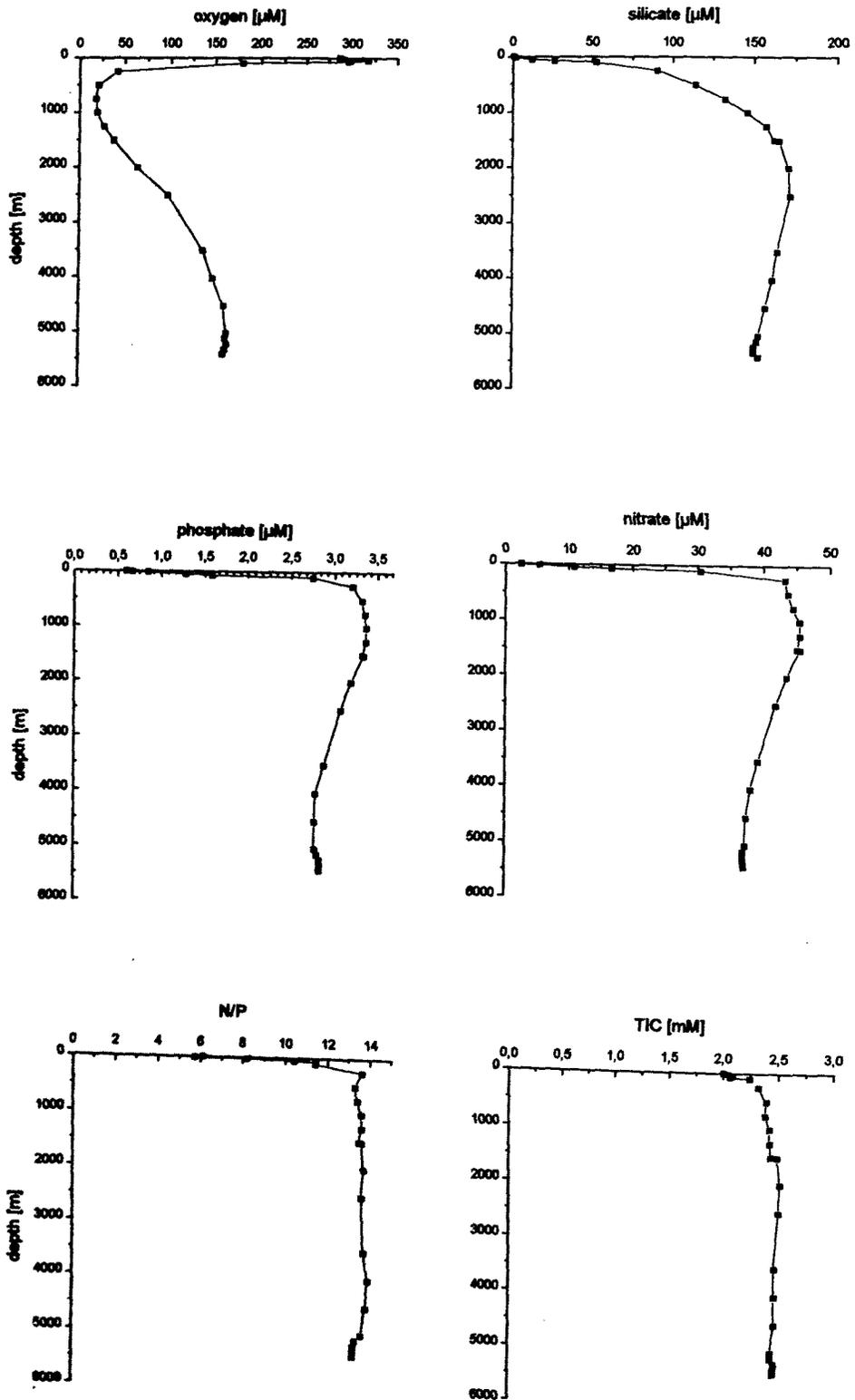


Abb. 34: Sauerstoff- und Nährstoff-Profile in der Wassersäule an der Station SO97-49.

und in der tieferen Wassersäule wieder aufgelöst werden. Im bodennahen Bereich unterhalb von ca. 4900 m Wassertiefe steigen die Nitratkonzentrationen an. Dies ist möglicherweise auf die Erosion von anoxischen Sedimenten und den Transport der Partikel in der Nepheloidschicht zurückzuführen. Anoxische Sedimente haben sehr hohe Ammoniumgehalte, die nach einer Verfrachtung ins oxische Milieu durch mikrobielle Nitrifikation zu Nitrat umgesetzt werden. Die Phosphatgehalte zeigen ebenfalls eine leichte Zunahme im bodennahen Bereich, die durch den gleichen Prozeß erklärt werden kann, da aus erodierten Sedimenten durch Lösungs- und Desorptionsreaktionen Phosphat freigesetzt werden kann. Die aus den Nitrat-, Nitrit-, Ammonium- und Phosphat-Werten berechneten molaren N/P-Verhältnisse sind in der photischen Zone wesentlich niedriger als im übrigen Wasserkörper. Dies deutet darauf hin, daß die gelösten stickstoffhaltigen Ionen nicht nur durch Fixierung in organischer Substanz sondern auch beim mikrobiellen Abbau organischer Substanz in Schwebstoffen durch Denitrifikation gezehrt werden.

Die Abb. 34 zeigt die an der Station SO97-49 gemessenen Profile. Die Sauerstoffwerte im Oberflächenwasser zeigen mit Werten von bis zu 317  $\mu\text{M}$  eine deutliche Übersättigung gegenüber der Atmosphäre an, die auf die starke Primärproduktion zurückgeführt werden kann. Zudem tritt in ca. 500 bis 1000 m Tiefe ein deutliches Sauerstoffminimum auf, das durch den intensiven Abbau organischer Substanz verursacht wird. Der Minimalwert von 19  $\mu\text{M}$  zeigt, daß der Sauerstoff dort fast vollständig verbraucht ist. Die Nährstoffprofile entsprechen den an den übrigen Stationen gemessenen Werten. Das N/P-Verhältnis zeigt neben den niedrigen Werten in der photischen Zone ein Minimum im Bereich des Sauerstoffminimums, das als Hinweis auf Denitrifikations-Prozesse gewertet werden kann. Die TIC-Konzentrationen spiegeln ebenfalls die Bildung und den Abbau organischer Substanz wider und haben im Bodenwasser hohe Werte von ca. 2.45 mM, die auf das große Alter zurückgeführt werden können. Die Nährstoff- und Sauerstoffkonzentrationen waren an allen Stationen in etwa gleich groß. Es konnten keine signifikanten regionalen Variabilitäten in der Wasserzusammensetzung festgestellt werden.

## 5.4 Helium und Tritium

G. Winckler

### 5.4.1 Einleitung

Die Bestimmung der beiden Heliumisotope,  $^3\text{He}$  und  $^4\text{He}$ , liefert einen Beitrag zur chemischen Charakterisierung der an Vent-Lokationen austretenden Fluide. Die vorrangige Fragestellung hierbei ist, durch welches geochemisches Reservoir die Fluide dominiert werden.

Während ihrer Zirkulation durch das Sediment reichern sich die austretenden Fluide mit spezifischen Spurenstoffen an. Ein Beispiel dafür ist radiogenes  $^4\text{He}$ ,

welches *in situ* durch radioaktive *alpha*-Zerfälle in Kruste und Sediment produziert wird. Die Größe des akkumulierten Signales hängt im wesentlichen von der Aufenthaltszeit im Sediment ab und läßt so Rückschlüsse auf die Quelle und den Zirkulationsprozeß der Fluide im Sediment zu.

Andererseits läßt sich anhand der Heliumisotopensignatur auch eine Mantelbeeinflussung nachweisen, da primordiales Helium stark an  $^3\text{He}$  angereichert ist. So sollten mantelbeeinflusste Fluide ein deutlich kleineres  $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Verhältnis aufweisen. Mit Hilfe der isotopischen Signatur läßt sich also entscheiden, ob und in welchem Umfang die austretenden Fluide einem sedimentären Krusten- oder Manteleinfluß ausgesetzt waren.

#### 5.4.2 Durchgeführte Arbeiten

Auf dem Fahrtabschnitt 97-1 wurden insgesamt 123 Kranzwasserschöpfer-Proben aus der Wassersäule zur Bestimmung des Heliumisotopenverhältnisses entnommen. Diese Proben verteilen sich auf die Stationen 23-1, 23-2, 36, 40 und 69 im Untersuchungsgebiet EDGE, die Stationen 49-1, 49-2 und 51-1 im Untersuchungsgebiet ALBATROSS und die Stationen 80, 95, 103-1 und 103-2 im Untersuchungsgebiet SHUMAGIN. Darüberhinaus wurde an der Doppelstation 49-1+2 ein sich kontinuierlich über die gesamte Wassersäule erstreckendes Profil zur Bestimmung der Tritiumkonzentration aufgenommen.

Ziel der Beprobung mit dem Kranzwasserschöpfer ist die Aufnahme von Profilen mit Schwerpunkt auf dem bodennahen Bereich der Wassersäule. Die bisherigen Erfahrungen (z.B. während SO78) lassen eine Detektion von vent-induzierten Heliumanomalien in der Wassersäule wegen des erheblichen Verdünnungseffektes nicht erwarten. Die Daten aus der Wassersäule dienen daher vorrangig als Information über das Backgroundsignal im Hinblick auf die gezielte Vent-Beprobung mit der VESP-Probenkammer.

Die Analysen der Proben werden am Heliummassenspektrometer der Arbeitsgruppe "Spurenstoffozeanographie" am Institut für Umweltphysik (Universität Heidelberg) durchgeführt werden. Zunächst werden die im Wasser gelösten Gase an einem Hochvakuumstand extrahiert. Nach Abtrennung der Edelgase Neon und Helium von den übrigen Gasen erfolgt dann die massenspektrometrische Messung des  $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Verhältnisses sowie der Helium- und Neonkonzentration.

## 5.5 Microbiology

D. Eardly

### 5.5.1 Introduction

Deep-sea bacterial communities are a relatively understudied area in microbiology. Basic information such as species composition and abundance are unknown for many deepsea areas.

Fluid venting in subduction zones is a new area in marine research with few measurements of a variety of physical, chemical and biological parameters. Due to the presence of certain clam species and elevated levels of methane from vent fluid, it is likely that specialized communities of bacteria exist in and around these vents. The purpose of the microbiology work on this cruise was to obtain deep water and sediment samples from both active venting and non-venting sites to compare bacterial community structure at the DNA level.

The vast majority of marine bacteria (90-99.9%) cannot be cultured in the laboratory. Standard techniques for identification, which rely on the ability to isolate and culture a bacterium, are therefore not reliable for determining species composition and dominance in a particular marine habitat. Increasingly, microbial ecologists are using nucleic acid-based techniques (DNA and RNA) to study bacterial community structure in the marine environment. These techniques are independent of the culturability of the bacteria being studied since nucleic acids can be extracted directly from the sample. In most of these studies, the nucleotide sequence of the DNA that codes for the 16S ribosomal RNA gene is determined. The 16S rRNA gene is in every living cell. Certain regions of the gene are identical in all species (conserved regions) while other variable regions are unique to each species of bacteria. The sequence of these variable regions are used to identify the groups of bacteria present in a sample.

The Polymerase Chain Reaction (PCR) is a powerful technique used in genetic studies. It allows the duplication, up to  $10^6$  fold, of a region of DNA that lies between two known regions of sequence. A small amount of DNA that has been extracted from a particular sample is added to a biochemical cocktail that includes two small DNA "primers" (regions of known sequence that bind to different conserved regions of the 16S rRNA) and an enzyme capable of copying DNA. A three-step thermal cycle is applied to this reaction with the result that many copies are made of the unknown DNA that lies between the two primers. The PCR products obtained contain many different sequences that correspond to the different bacteria that were present in the sample from which the DNA was originally extracted. These products are then cloned into a laboratory strain of *Escherichia coli* to create a library of sequences that were obtained from a particular sample. Each clone of *E. coli* contains one type of PCR product. Finally, the sequence of the PCR product in the clones is determined by the Sanger method. The DNA sequence is then compared to other known sequences in a database and a phylogenetic tree is made to show the relatedness of the sequence to known bacterial se-

quences. In this way, it is possible to qualitatively determine what groups and species of bacteria are present in a sample without the use of culture.

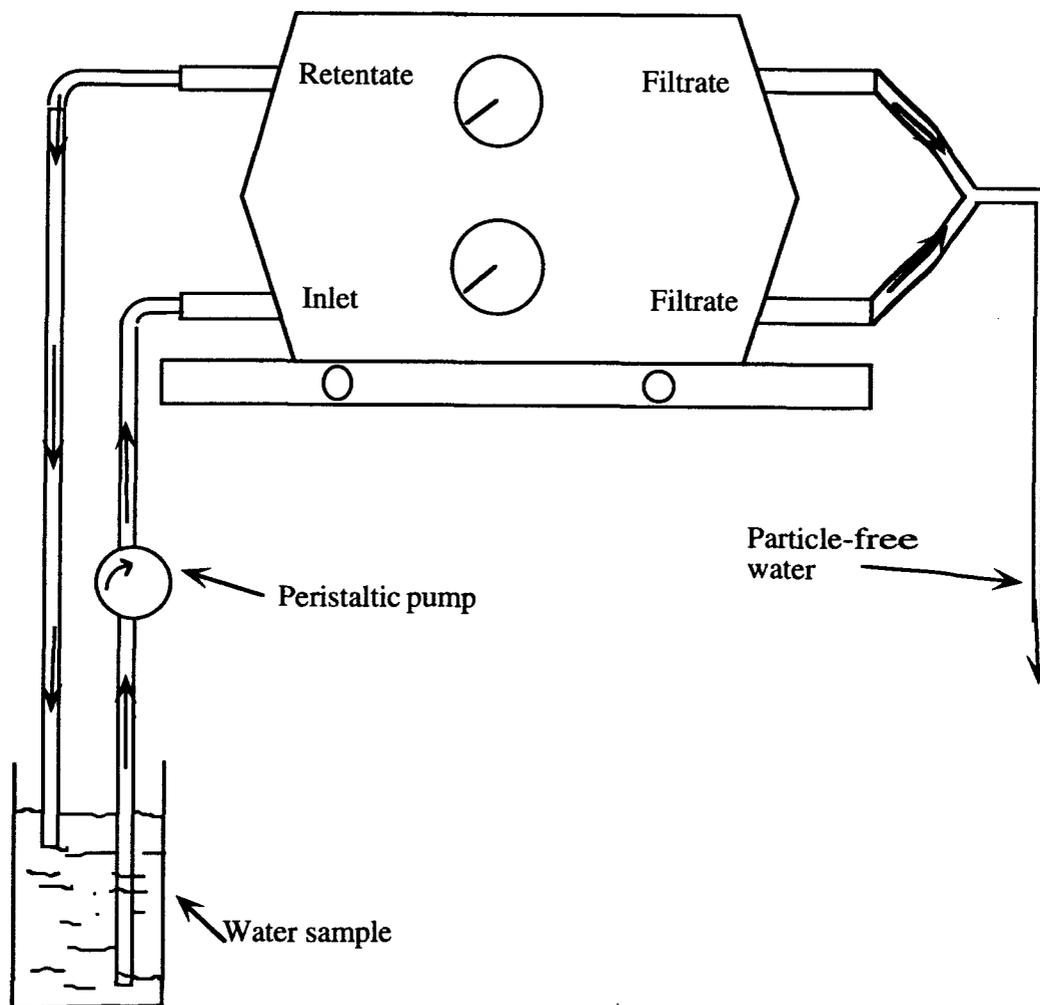
### 5.5.2 Materials and Methods

Water samples (20 litres) were collected using a CTD/Niskin bottle rosette. The bacteria in the water samples were concentrated by means of tangential flow filtration (Figure 35) using the Sarticon-Mini system (Sartorius Inc.) fitted with a 0.1µm microstart module. In some cases, the filtrate from the microstart module was run through a 100 kilodalton ultrastart module to concentrate marine viruses that can pass through a microstart module. 20litre samples were concentrated to 200 ml. Sub-samples, for bacterial biomass determinations, were taken before and after concentration and fixed with formaldehyde (2% final concentration). 20 ml of each bacterial concentrate was also fixed with glutaraldehyde (3% final conc.) for electron- microscopy studies. The remainder of the concentrate was fixed by adding 100 mls of absolute ethanol.

Sediment samples were taken with a multiplecorer. The core was cut into 2 cm sections down to 20 cm depth and dispensed into separate bags. For bacterial biomass determination, 1cc from each section was placed in a 15 cc centrifuge tube containing 8.5 ml of particle-free water and 0.5 cc of 40% formaldehyde added. The samples were not processed further on the cruise. Upon return to Galway, the bacterial DNA in the samples will be extracted and the 16srRNA genes PCR amplified and sequenced.

Stat. Nr. SO97/	Gear	Date 1994	Latitude (°N)	Longitude (°W)	Depth (m)
11-1	CTD	28.07	57°40.85'	148°08.47'	3357
23-1	CTD	31.07	57°25.98'	148°01.20'	4500
30	CTD	02.08	57°22.99'	148°22.05'	5097
36	CTD	04.08	57°:31.00'	147°53.02'	5099
40	CTD	05.08	57°19.40'	148°24.00'	5148
44	CTD	06./07.08	55°56.58'	152°00.76'	5509
72	MUC	12.08	57°27.68'	148°00.87'	4744
79	CTD	15.08	54°17.73'	157°14.14'	4807
95	CTD	17.08	54°06.30'	157°22.86'	6109
103-1	CTD	19.08	54°18.10'	157°11.38'	4912
117	SPI (VPH)	22.08	54°02.88'	160°55.41'	0-20
118	SPI (VPH)	22.08	54°00.45'	161°22.92'	0-20
119	SPI (VPH)	22.08	54°03.58'	161°29.71'	0-20
120	SPI (VPH)	22.08	54°09.76'	161°33.89'	0-20

**Tab. 5:** Station list of water and sediment samples. VPH means vertical phytoplankton net haul.



**Fig. 35:** Tangential flow Filtration unit. The water sample is pumped through the inlet line into the filter unit that contains a cellulose-acetate cross-flow filter. Water containing bacteria and other particulate matter is returned to the sample vessel while particle-free water is pumped out through the filtrate line. The water sample decreases in volume while retaining bacteria. Sample volume can decrease from 20 l to 22 mls.

## 6. Vent-Beobachtung mit dem TV-Schlitten EXPLOS G. Bohrmann, P. Linke, H. Sahling, M. Schumann, E. Suess

Im Rahmen der Vent-Suche und der näheren Beobachtung und Charakterisierung von Vent-Feldern wurde während SO-97 der bordeigene TV-Schlitten eingesetzt. Dieses Schlittensystem EXPLOS (*Exploration System*) wurde neben der Detektionen von Methananomalien in der unteren Wassersäule als das wichtigste Gerät zur Ortung von Fluidaustrittsstellen benutzt. Die Auswahl der EXPLOS-Tracks wurde anhand bathymetrischer Detailkarten (siehe Kapitel 4.1) vorgenommen, wobei höffig erscheinende morphologische Strukturen, wie Abbruchkanten, Steilstufen und andere typisch erscheinende Deformationsstrukturen des Akkretionskeils nach tektonischen Gesichtspunkten ausgesucht wurden. Da in dem gesamten Bereich des Aleutengrabens zuvor noch keine tektonisch induzierten aktiven Fluidaustrittsstellen beobachtet wurden und die Vent-Suche während SO-96 nur mäßige Erfolge erbracht hatte, war mit zeitaufwendigen Suchfahrten während SO-97 zu rechnen.

Das Auffinden der Cold Seeps mit Hilfe des TV-Schlittens ist möglich durch die makroskopische Ortung von chemosynthetisch lebenden Organismengemeinschaften, welche sich im Bereich der Fluidaustrittsstellen ansiedeln. Wie schon in anderen Untersuchungsgebieten nachgewiesen, sind besonders die calyptogenen Muscheln (*Bivalvia*), die Muscheln der Gattung *Solemya* sowie Arten aus dem systematisch im Umbruch befindlichen Stamm der Pogonophoren typische Besiedler von Kaltwasseraustrittsstellen. Für eine große Anzahl von Organismen sind endosymbiontische Bakterien nachgewiesen worden, die aufgrund ihrer chemoautotrophen Lebensweise in der Lage sind, energiereiche Verbindungen zu nutzen. Die Oxidation von Methan und/oder Schwefelwasserstoff aus den Fluiden liefert die Energie für die Bakterien, welche organische Substanzen unentwegt ausscheiden, wovon die Wirtstiere profitieren. Bei den Calyptogena-Arten sind die Bakterien in den Kiemen lokalisiert, bei den Pogonophoren im Trophosom, einer Umbildung des larval noch angelegten Verdauungstraktes. In allen drei Untersuchungsgebieten EDGE, ALBATROSS und SHUMAGIN wurden Cold Seeps mit der assoziierten Begleitfauna angetroffen.

### 6.1 Gerätekonfiguration

Das bordeigene TV-Schleppsystem ist mit Video- und Fotokamera ausgerüstet. Das s/w Signal der Video-Kamera (OSPREY) wird über das 18.2 mm Koaxkabel zum Schiff übertragen und kann auf den verschiedenen Labor-Monitoren beobachtet werden. Eine ständige Korrektur des Schlittens ist daher durch die Schiffsführung und durch die Seillänge über die Winden, sowie eine fortlaufende Dokumentation möglich. Mit einem Recorder im Geologielabor kann das Videosignal aufgezeichnet werden. Drei Halogenlampen (ROS QL 3000) à 150 W sorgen für die Ausleuchtung am Boden und werden über die Telemetrie an Bord gere-

Stations- Nr.	Arbeits- Gebiet	Geologische Einheit	Datum	Beginn		Ende		Fotos Fotos		techn. Bemerkungen
				(UTC)	WT (m)	(UTC)	WT (m)	A	B	
1	Unimak	2. Deformationsrücken	24.06.	-	4402	-	4663	-	-	Station abgebrochen
2	Edge	Hauptdeformationsrücken	02.07.	18:41	3763	23:13	4782	360	360	
3	Edge	Hauptdeformationsrücken/Edge-Profil	03.07.	18:58	3847	22:45	4691	280	280	
4	Edge	4. und 5. Deformationsrücken	06.07.	13:13	2790	18:45	3594	407	407	
5	Edge	4. Deformationsrücken	08.07.	03:51	3539	08:51	3761	200	-	Kamera B defekt
6	Edge	7. Deformationsrücken	11.07.	07:30	2611	12:51	3304	354	354	
7	Edge	Hauptdeformationsrücken	11.07.	21:21	4341	03:21	4770	355	355	
8	Albatross	2. Deformationsrücken	20.07.	16:08	4847	21:26	5252	442	442	
9	Albatross	3. Deformationsrücken	23.07.	19:12	3860	01:00	4961	222	222	
10	Albatross	2. und 3. Deformationsrücken	24.07.	16:24	3995	01:11	5220	492	492	
12	Edge	4. Deformationsrücken	28.07.	15:17	2809	15:27	2838	36	36	Kabel defekt, abgebrochen
18	Edge	4. und 5. Deformationsrücken	29./30.07.	23:04	2806	04:30	3192	201	-	Kamera B defekt
21-1	Edge	1. und 2. Deformationsrücken	30.07.	-	4693	-	4693	-	-	Kamera defekt, abgebrochen
21-2	Edge	1. und 2. Deformationsrücken	30.07.	18:28	4681	00:05	4997	-	330	Kamera A defekt
34	Edge	Hauptdeformationsrücken	03.08.	15:00	4120	19:20	5022	160	160	
35	Edge	1. und 2. Deformationsrücken	03.08.	23:47	4527	04:27	4979	147	147	
41	Edge	Transversal-Störung S Hauptdeform.	05.08.	15:27	4553	16:53	4829	81	81	
50	Albatross	1. und 2. Deformationsrücken	07.08.	21:14	4892	03:07	5394	282	282	
77	Shumagin	1. und 2. Deformationsrücken	14.08.	15:41	5562	21:05	5872	220	-	Fehler bei der Diaentwicklung
78	Shumagin	3. Deformationsrücken	14./15.08.	01:30	5065	04:25	5548	209	93	Fehler bei der Diaentwicklung
81	Shumagin	Steilkante oberer Kontinentalthang	15.08.	15:42	2979	22:01	4400	234	231	
82	Shumagin	Vent-Canyon	16.08.	01:38	4546	04:29	4896	110	-	Kamera B defekt, Lichteinfall
89	Shumagin	3. und 4. Rücken	16./17.08.	19:34	4509	01:14	5381	151	148	
90	Shumagin	Vent-Canyon	17.08.	04:41	4715	06:17	4939	119	118	
96	Shumagin	3. Deformationsrücken	17.08.	19:17	4813	22:18	5525	109	107	

Tab. 6: Übersicht der EXPLOS-Einsätze während SO-96 (Stationen 1-10) und SO-97 (Stationen 12-96) mit technischen Daten.

gelt. Die Stromversorgung wird durch zwei 12V Naß-Batterien für Einsätze bis zu ca. 12 Stunden bereitgestellt.

Eine Stereo-Kamera (*Photosea 5000*) mit 28 mm Weitwinkelobjektiven wird ebenfalls über die Telemetrie ausgelöst. Die Stereo-Bildpaare werden mit Rollfilmen von 33 m Länge (36 mm Kleinbildformat; *KODAK Ektachrom 400 ASA*) durchgeführt, auf denen ca. 800 Bilder Platz finden. Zwischen zwei Bildern ist eine Aufladezeit der Blitze von 8 Sekunden zu berücksichtigen.

Als wichtiges Gerät am EXPLOS ist weiterhin die CTD (*SIS 6000*) zu nennen, deren Daten auch direkt über die Telemetrie zum Schiff übertragen werden und somit eine relativ gute Tiefenkontrolle gewährleisten. Während die Messung der Leitfähigkeit, Temperatur und Druck recht gut mit Daten der CTD-Multisonde übereinstimmen, werden von dem zur Verfügung stehenden Rechenprogramm falsche Werte für Salinität und Schallgeschwindigkeit errechnet (siehe Fahrtbericht SO-96).

Das SSBL-Navigationssystem (*Super Short Baseline System*) von SIMRAD (HPR 1507), welches während SO-96 im Responderbetrieb zum Einsatz kam, stand leider für die Reise SO-97-Fahrt nicht mehr zur Verfügung.

## 6.2 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die 10 Suchfahrten mit dem TV-Schlitten der SO-96-Fahrt wurden während SO-97 um weitere 15 Tracks im Aleutengraben ergänzt (Tab. 6), wobei 7 Einsätze im Gebiet EDGE, einer in ALBATROSS und sieben weitere im Arbeitsgebiet SHUMAGIN gefahren wurden. Abzüglich der Fier- und Hievzeiten konnten im Durchschnitt pro Einsatz drei bis fünf Stunden reine Beobachtungszeit am Meeresboden durchgeführt werden, welche sich zu einer Gesamtbeobachtungszeit von ca. 55 Stunden addiert (Tab. 6). Neben der direkten Beobachtung standen die Video- und Film-Dokumente einer weiteren Auswertung zur Verfügung. Die Entwicklung der Dia-Filme an Bord des FS SONNE war bei der Identifikation unbekannter Tiere und geologischer Strukturen eine große Hilfe (ein Dank an den Doc!). Größere technische Schwierigkeiten führten während der Station 12 durch einen Kabeldefekt und während Station 21-1 aufgrund einer Kamerastörung zum Abbruch der Tracks. Zusätzlich konnte während einiger Suchfahrten (18, 21-2 und 82) nur mit einer Fotokamera gearbeitet werden.

Im Arbeitsgebiet EDGE waren während SO-96 eine Reihe von EXPLOS-Profilen im Bereich des Hauptsteilanstieges (ca. 4600-3800 m) durchgeführt worden, an dessen Basis im seismischen Profil 302 das Décollement in Oberflächennähe gelangt. Aufgrund der tektonischen Struktur und der abgeleiteten Entwässerungsraten der geophysikalischen Arbeitsgruppe war das Auffinden von aktiven Entwässerungsphänomenen in diesem Bereich am wahrscheinlichsten. Weitere TV-Beobachtungen des Meeresboden wurden während SO-96 im Bereich

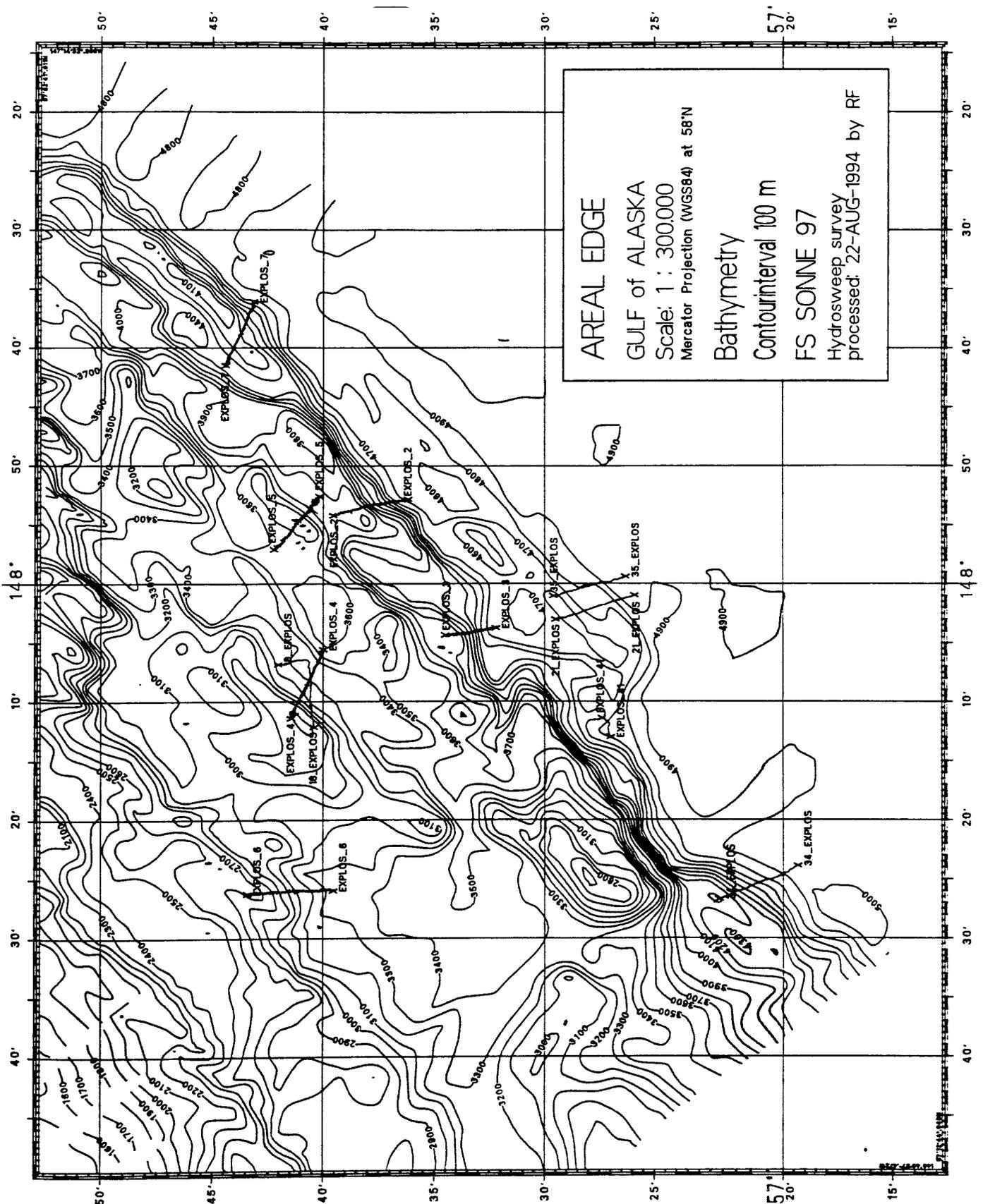


Abb. 36: Karte des Arbeitsgebietes EDGE mit Lage aller EXPLOS-Fahrttracks. Die Tracks Nr. 2-7 wurden während SO96-2 gefahren, während die Tracks 18, 21, 34, 35 und 41 während SO97-1 durchgeführt wurden.

älterer Akkretionsrücken durchgeführt, wobei nur an einer Stelle (EXPLOS 4) im Bereich des 4. und 5. Deformationsrückens (Tab. 6; Abb. 36) Anzeichen von aktivem Venting beobachtet werden konnte (Flüh et al., 1994: Fahrtbericht SO-96). Während SO-97 wurde diese Struktur mit einem erneuten EXPLOS-Einsatz aufgesucht (18). Da aber hier keine zusätzlichen Indizien für aktive Fluidaustritte bei der TV-Beobachtung zu sehen waren, wurde die Stelle weiterhin nicht mehr aufgesucht, obwohl in der Methandetektion der Wassersäule zwar eine nur leichte aber doch signifikante Anomalie zu sehen war (siehe Kapitel 5.2).

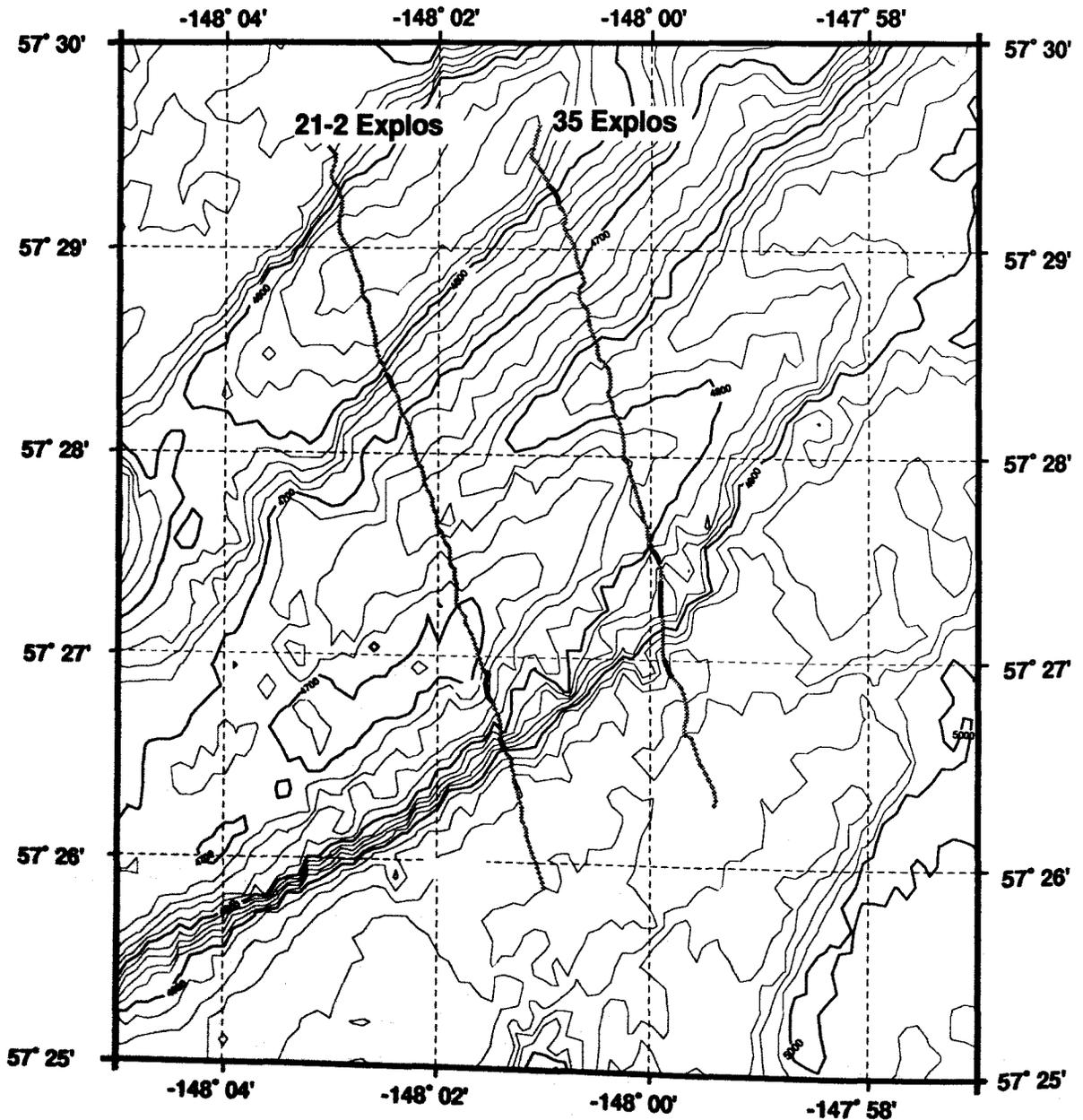


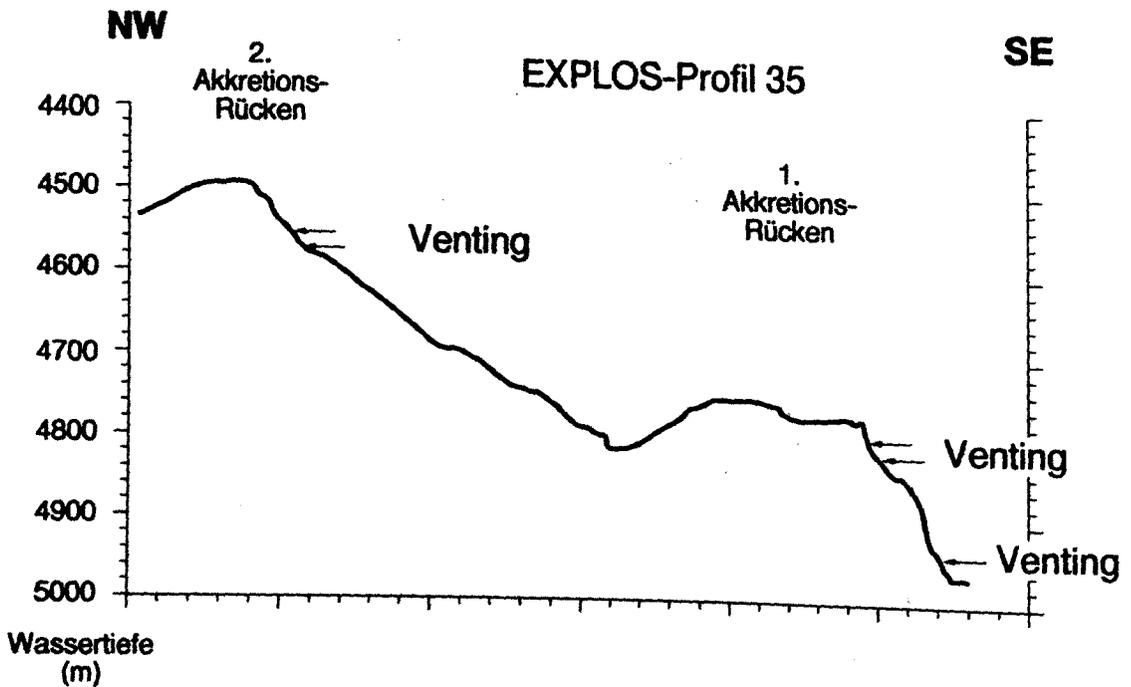
Abb. 37: Fahrtroute von EXPLOS 21-2 und 35 im Vent-Gebiet von EDGE im Bereich des 1. und 2. Deformationsrückens. Das Vorkommen von Vent-Feldern entlang der Tracklinie ist in schwarz markiert.

Die Ventsuche mit EXPLOS im EDGE-Gebiet wurde aufbauend auf den Erkenntnissen der SO-96 auf die tiefsten morphologischen Rückenstrukturen im unmittelbaren Grabenbereich konzentriert. Der EXPLOS 34-Track (Tab. 6, Abb. 36) im westlichen Teil des EDGE-Gebietes überdeckte die Stufe der Hauptdeformationsfront, wobei allerdings im Gegensatz zu den drei anderen EXPLOS-Profilen dieser Strukturzone (Abb. 36) ein wesentlich größerer Tiefenbereich (>5000 m Wassertiefe) beobachtet werden konnte. Mit dem EXPLOS-Profil 41 wurde ein NW/SE streichender Hang beprobt, dessen Struktur wahrscheinlich durch eine quer zum Streichen der Deformationsachse angelegte Transformstörung geprägt ist. Beide Profilmfahrten zeigten keine Hinweise auf aktives Venting.

Die gewünschten Erfolge stellten sich mit den beiden EXPLOS-Tracks 21-2 und 35 ein (Abb. 36, 37, 38 und 39). Die beiden Profile wurden parallel zueinander über die beiden ersten akkretionären Erhebungen (als erster und zweiter Rücken bezeichnet) gefahren und zeigten in exemplarischer Weise, daß die beobachteten Fluidaustrittsstellen (Abb. 37) sich im Streichen der geologischen Strukturen weiterverfolgen lassen. Abb. 38 zeigt die Tiefenprofile, welche von der CTD des TV-Schlittens während der Profilmfahrt aufgezeichnet wurden. Die Vent-Befunde sind entsprechend ihrer Tiefe dort eingetragen (die CTD-Tiefe liegt etwa 20-30 m höher als die angezeigte HS-Tiefe). Im östlichen Profil (EXPLOS 35) treten die Ventfelder des zweiten Rückens etwa 40 m höher (in 4560-4580 m Tiefe) als im westlichen Profil auf, wo sie in 4600-4620 m Tiefe vorkommen. Ähnlich geringe Abweichungen sind auch bei der Parallelisierung am ersten Rücken festzustellen (Abb. 37).

Auffälligerweise treten in allen Profilen die Vents an den SE-Hängen der Rücken auf, welches nur mit Hilfe spezifischer geologischer Strukturen des Untergrundes zu verstehen ist. Die tektonischen Strukturen dieser Rücken sind zwar grob vom seismischen Profil EDGE 302 abgeleitet (siehe Kapitel 2) und als Antiklinalstrukturen bekannt, aber die Lage von detaillierten Internstrukturen, wie Schichtgrenzen und Störungsbahnen konnten bisher nicht untersucht werden. Aufgrund von Vergleichen mit anderen Subduktionsgebieten können allerdings Analogiestrukturen erwartet werden. Im Falle von akkretionären Antiklinalen ist bei einem SW-vergenten Faltenbau mit Auf- und Überschiebungen zu rechnen, deren Bahnen an den SE-Flanken der Rücken die Morphologie schneiden und damit möglichen Entwässerungsbahnen den Zutritt in die freie Wassersäule erlauben. Außerdem sind die SE-Flanken der Rücken im Gegensatz zu den NW-Flanken die Bereiche, in denen durch den tektonischen Vorschub deutlich mehr Hangversteilerung und damit Erosion stattfindet. Diese tektonisch induzierte Freilegung von Entwässerungsbahnen, sowohl von Störungs- als auch schichtparallelen Flächen, an den SE-Flanken der Rücken läßt sich sehr deutlich an der Morphologie des ersten Rückens in den Querprofilen beobachten (Abb. 38). Am ersten Rücken sind vorwiegend zwei Niveaus von Fluidaustrittsstellen zu sehen. Das obere Niveau liegt charakteristisch unterhalb einer 15-25 m hohen Steilwand, die in Streichrichtung sehr deutlich ein subrezent-rezentes tektonisch-induziertes Hangzerreißen dokumentiert. Die Lebensgemeinschaften der Ventvergesellschaftung sind auf einer flachen Terrasse zu finden, wobei die

zahlreichen Beobachtungen mit dem TV-Greifer belegen, daß viele Ventfelder im Hangknick direkt unterhalb der Steilstufe vorkommen. Nach SE nimmt die Hangversteilerung unterhalb der Terrasse wieder zu, und im Bereich kurz oberhalb der Hangfußschüttung sind weitere Ventfelder dokumentiert (Abb. 38). Diese Sedimentschuttfächer im Fußbereich enthalten, wie die TV-Beobachtungen zeigten, eine Menge umgelagerten Materials. Unter anderem sind Kies- bis Block-große Festgesteinskomponenten, welche als glaziale Dropstones wohl ursprünglich von driftendem Eis verfrachtet wurden, zu finden. Weiterhin finden sich dort aber auch nur leicht verfestigte Mudstone-Komponenten mit relativ scharfkantigen Umrissen, die wohl als Abbruchmaterial von den Steilhängen herzuführen sind.



**Abb. 38:** Profildarstellung des Meeresbodens während EXPLOS-Route 35. Die Wassertiefen sind den Daten der CTD-Sonde des TV-Schlittens entnommen und liegen in diesem Tiefenbereich im Durchschnitt 20-30 m höher als die HS-Wassertiefe anzeigt. Die beobachteten Fluidaustrittsstellen sind angezeigt.

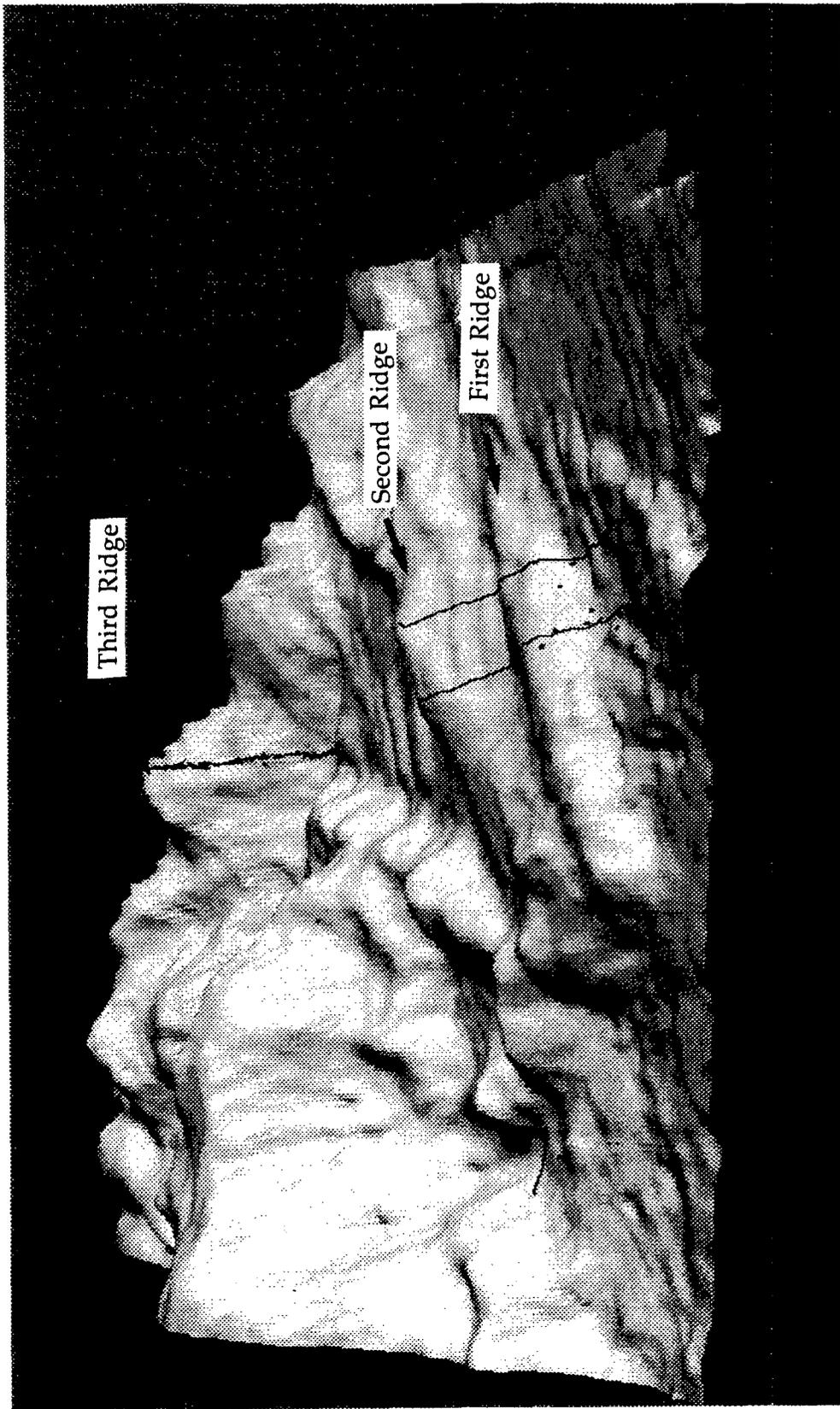


Abb. 39: 3-D-Darstellung des näheren Untersuchungsgebietes von EDGE mit 1. und 2. Deformationsrücken und Anstieg zum 3. Akkretionsrücken (Blickrichtung etwa von S nach N).

Im Arbeitsgebiet **ALBATROSS** wurde das EXPLOS-Profil 50 zwischen 4900 bis 5400 m gelegt, wodurch der erste und zweite Deformationsrücken unterhalb einer breiten Verebnung (Abb. 40) beobachtet werden konnte. Während SO-96 wurden die Tracks 8, 9 und 10 in Bereichen höherer tektonischer Einheiten gefahren, ohne dabei Ventfelder detektieren zu können (siehe Flüh et al. 1994: Fahrtbericht SO-96). Das EXPLOS-Profil 50 wurde relativ weit im NW im Bereich der Verebnung begonnen, da die Seismik eine Backthrust im rückwärtigen Teil der zweiten Deformationsfront enthält (siehe Kapitel 2), welche wie in anderen Subduktionszonen nachgewiesen häufig Fluidaustritte begünstigt.

Ventfelder wurden im **ALBATROSS**-Gebiet, wie auch im **EDGE**-Gebiet nur an der durch Steilstufen gekennzeichneten SE-Flanke des Rückens und zwar nur am ersten Deformationsrücken vereinzelt in Wassertiefen zwischen ca. 5250 - 5350 m gefunden. Dieser Bereich ist im morphologischen Querprofil, deutlich als ein flacherer Hang am Hangfuß zu identifizieren. Die Schuttsedimente mögen die starke Zerstreung der Ventfelder erklären, da sie wahrscheinlich massivere Austrittsstellen überdecken und somit kanalisierte Bahnen in Einzelkanäle entzweien.

Im Untersuchungsgebiet **SHUMAGIN** waren während SO-96 keine EXPLOS-Profilfahrten durchgeführt worden, so daß keine Anhaltspunkt für eine Ventbeprobung vorlagen. Es mußten daher größere Tiefenbereiche abgesucht werden, um aktive Vents zu finden. Insgesamt wurden 7 Profile gefahren (Tab. 6), die sich im wesentlichen auf mittlere Tiefenbereiche der Aleuten Terrasse konzentrierten (Abb. 41: EXPLOS 78, 82, 89, 90 und 96). EXPLOS-77 überdeckte die erste und zweite Deformationsfront zwischen 5550 und 5850 m Wassertiefe, wobei leider in diesem tiefsten Bereich des Akkretionskeiles zu unserem Erstaunen keine Vents zu finden waren. Hier muß allerdings hinzugefügt werden, daß die Übertragungsqualität des Videosignals im tiefsten Profilabschnitt leider sehr schlecht war und ein zweiter Versuch in diesem tektonischen Abschnitt aus Zeitgründen nicht mehr durchgeführt werden konnte. Der EXPLOS 81 wurde in relativ flachen Wassertiefen zwischen 3000 und 4400 m gefahren und überdeckte den prominenten Steilhang oberhalb der Aleuten Terrasse, welcher als Übergangsbereich des Akkretionskeiles zur kontinentalen Kruste angesehen wird (Abb. 41). Auch hier konnten keine Fluidaustrittsstellen gefunden werden.

Einzelne Muschelfelder bzw. vereinzelt Muscheln wurden in **SHUMAGIN** lediglich während der drei EXPLOS-Profile 78, 82 und 90 gefunden (Tab. 6; Abb 41). Die beiden letztgenannten Tracks belegen Fluidaustritte in einer komplizierten Canyonstruktur, welchen wir Vent-Canyon, während der späteren Beprobungsversuche auch Stress-Canyon nannten (Abb. 42). Der Canyon selbst ist eine quer zum Streichen der Akkretionsstruktur angelegte Vertiefung, die wahrscheinlich durch eine dextrale Blattverschiebung verursacht wurde. Im Detail sind zwei Richtungen von Erosionskanälen zu sehen, die wohl zu verschiedenen Zeiten aktiv waren und deren Erosionsstrukturen zum Teil wieder verfüllt sind. So ist vor allem südlich der Hauptvertiefung eine starke Verflachung

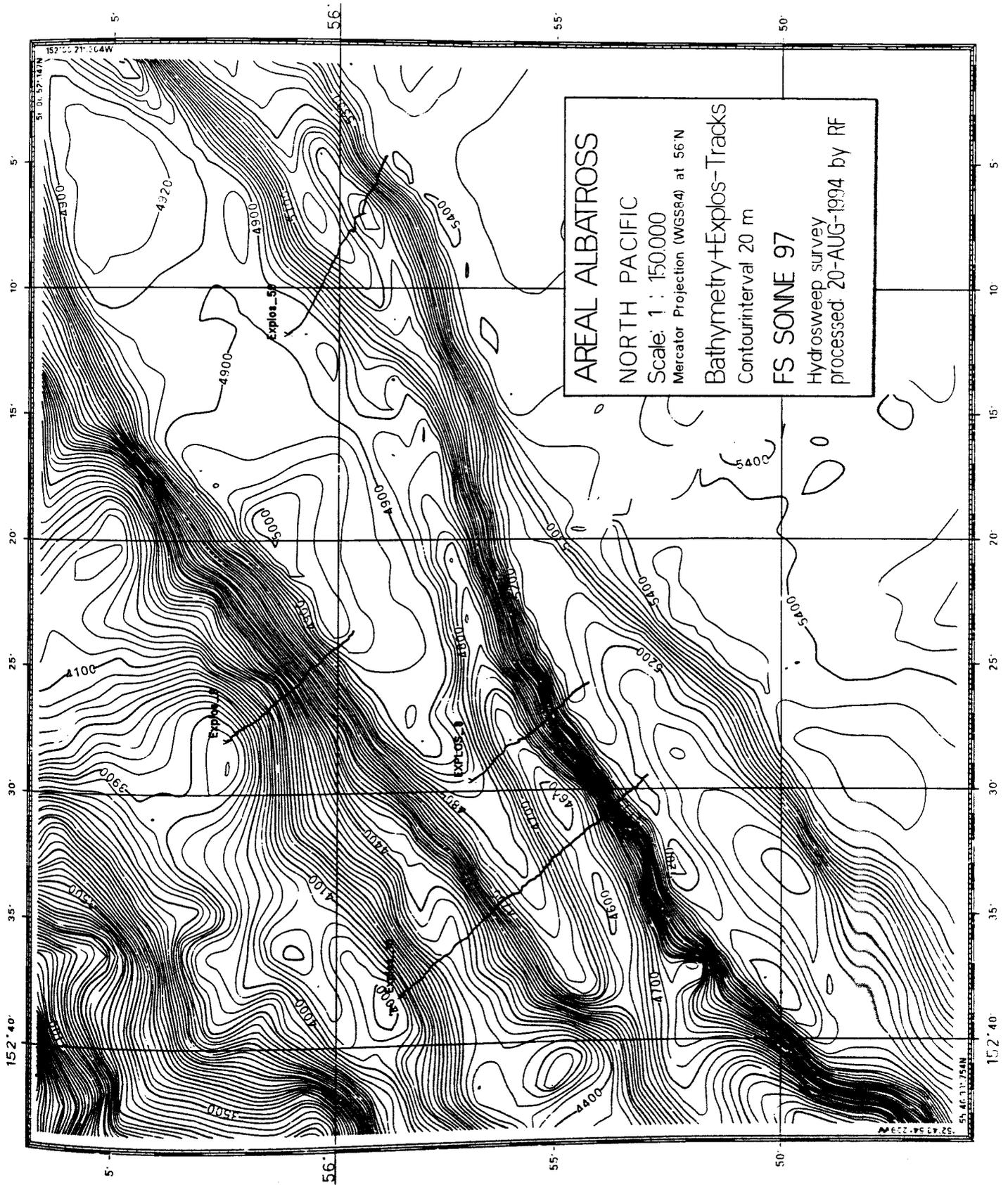
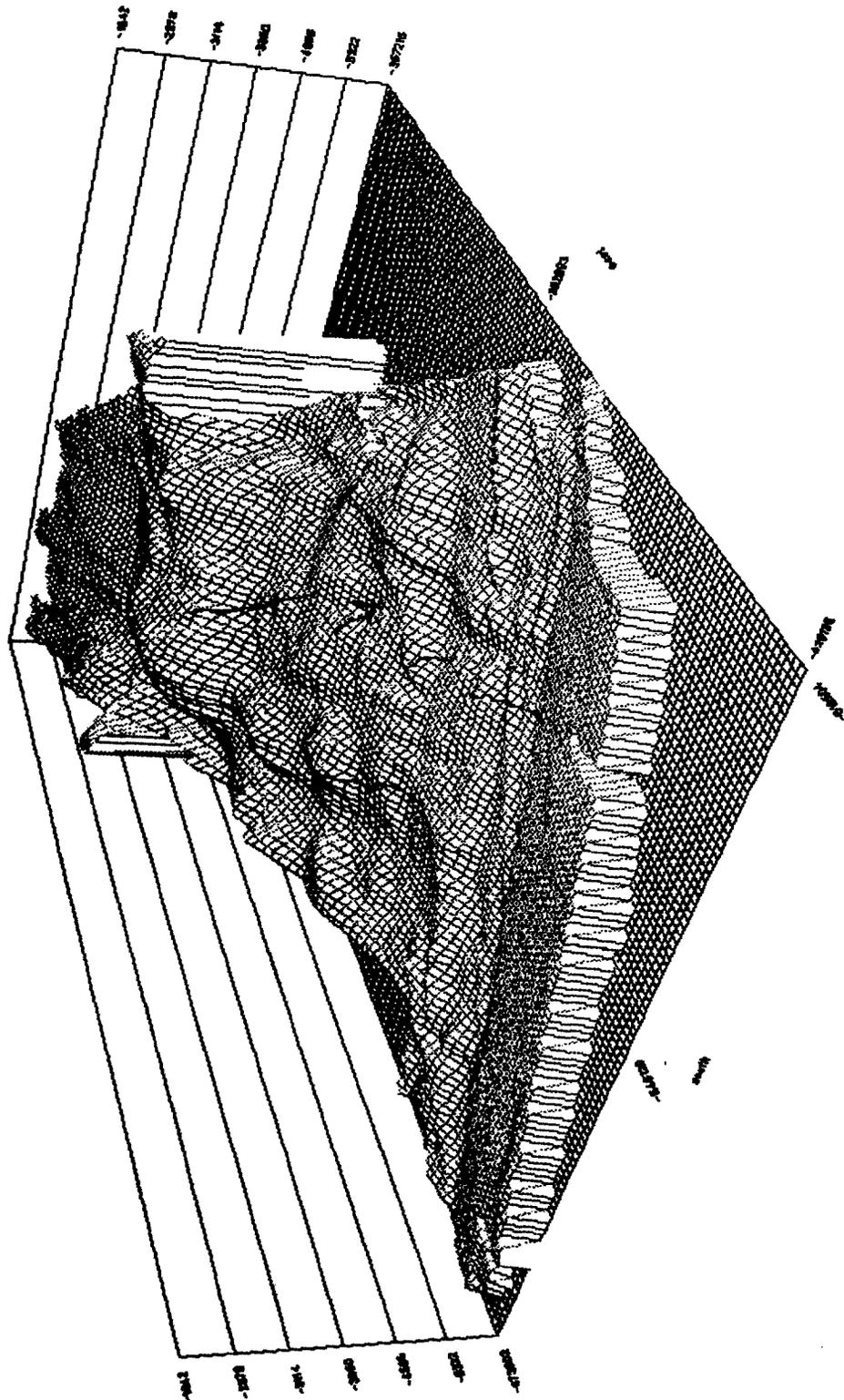


Abb. 40: EXPLOS-Tracks im Arbeitsgebiet ALBATROSS (SO96-2: EXPLOS 8—10; SO97-1: EXPLOS 50).



**Abb. 41:** 3-D-Übersichtsdarstellung im Bereich von SHUMAGIN mit EXPLOS-Track-Linien (Blickrichtung von Südost).

zu sehen, welche wie die Videobeobachtung zu erkennen gab mit z.T. sehr grobem Sedimentmaterial aufgeschüttet ist. Ventfelder, welche zum Teil mit Mineralpräzipitaten assoziiert sind, traten an beiden Flanken des Canyons (EXPLOS 82 und 90) auf.

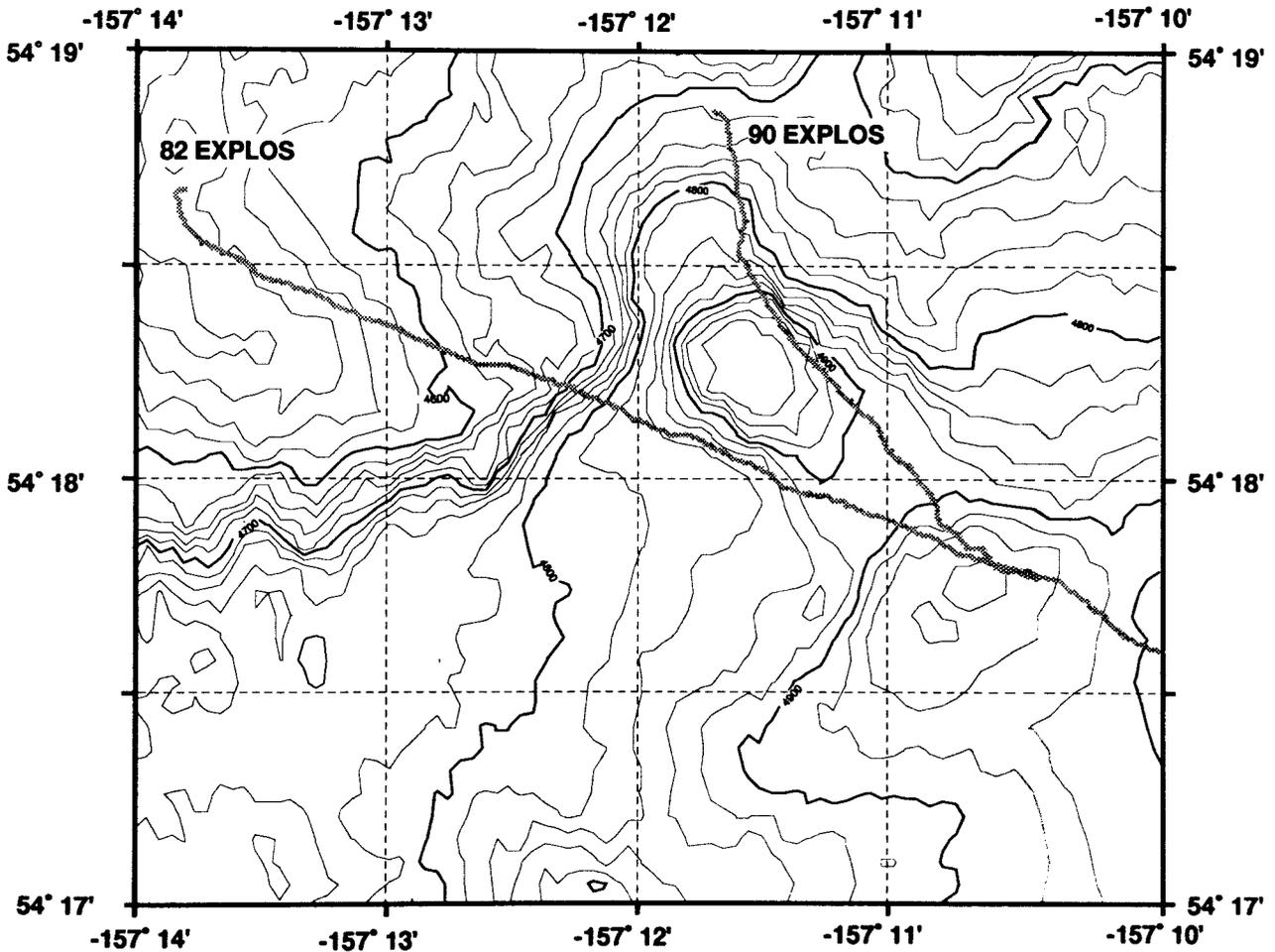


Abb. 42: Karte im Bereich des Vent-Canyons mit Lage der EXPLOS-Fahrtroute.

In allen drei Untersuchungsgebieten EDGE, ALBATROSS und SHUMAGIN haben wir Cold Seeps mit der assoziierten Begleitfauna angetroffen. Die räumliche Anordnung der Muschelfelder unterscheidet sich deutlich voneinander. Im Untersuchungsgebiet EDGE sind die in Feldern angeordneten lebenden calyptogenen Muscheln in sehr hoher Dichte in einem deutlich abgegrenzten Bereich von bis zu einem Meter Durchmesser angeordnet. Der einmalige Einsatz des EXPLOS im Untersuchungsgebiet ALBATROSS zeigte ebenfalls in abgesetzten Feldern angeordnete Muscheln. Im Untersuchungsgebiet SHUMAGIN lagen die calyptogenen Muscheln zum großen Teil nicht in

Nestern, sondern über eine weitläufigere Fläche verteilt vor. Das läßt auf eine unterschiedliche Ausstromart der Fluide aus dem Boden schließen. Im Untersuchungsgebiet EDGE gelangen die Fluide kanalisiert an die Oberfläche, so daß eine große Anzahl von Calyptogenen diese Stellen besiedeln. Im Untersuchungsgebiet SHUMAGIN tritt das Wasser eher diffus aus dem Boden hervor, was sich in einer ebenfalls weitläufiger besiedelten Fläche mit weniger calyptogenen Muscheln belegen läßt. Die große Anzahl leerer Schalen von *Solemya* unterstützt die Theorie, daß *Solemya* an Stellen mit diffusiven Austritt von Fluiden lebt. Die dichten Bestände von röhrenbewohnenden Tieren in direkter Nähe von Vents, die wir leider nicht beproben konnten, geben Hoffnung auf dort siedelnde Pogonophoren.

Neben den lebenden Calyptogenen, deutlich erkennbar an ihrer senkrechten Orientierung im Sediment, lagen stets auch tote Muscheln im Umkreis der Felder. Durch Fotos und Videoaufzeichnungen deutlich belegt, sind Muscheln in der Lage, sich kriechend fortzubewegen und hinterlassen eine charakteristische V-förmige Kriechspur. Es kann sich bei den toten Muscheln bei gehäuftem Auftreten um inaktive Vents handeln, bei vereinzelt herumliegenden vermutlich aber um dort hingekrochene und verendete Tiere. Auf den Fotos sind keine Räuber wie z.B. große Crustaceen zu entdecken, auch weisen die leeren Muschelschalen keinerlei Fraßspuren auf. Natürliche Mortalität und das Versiegen der Kaltwasseraustrittsstellen scheinen eine deutlichere Rolle zu spielen als Predatoren.

Die Nutzung der energiereichen organischen Verbindung in den austretenden Fluiden ist den chemoautotrophen Bakterien vorbehalten, die damit diätrophische Stufe der Primärproduzenten einnehmen. Dabei gibt es innerhalb der Gattung *Calyptogena* den Übergang zwischen den sich ausschließlich von den Ausscheidungsprodukten der Bakterien ernährenden Arten und den Arten, die noch zusätzlich zur Filtration befähigt sind und auf diesem Wege auch frei lebende chemoautotrophe Bakterien nutzen können.

Diese frei an den Cold Seeps lebenden Bakterien dienen der Makrofauna als wichtige Nahrungsquelle, da der Eintrag organischen Materials aus der euphotischen Zone sehr gering ist und dieser, wenn vorhanden, an exponierten Stellen effektiver genutzt werden kann. Eine Sedimentprobe zur Bestimmung des Chlorophyllgehaltes wird diese Hypothese näher betrachten.

Im Untersuchungsgebiet EDGE haben wir am distalen Schalenende vieler Calyptogenen Anemonen (Actinaria, Anthozoa) festgeheftet gefunden. Diese siedeln an dem ins freie Wasser ragenden Vorderende der Muscheln und haben selbst bei kriechenden Bivalven ihre Tentakeln ausgestreckt. Da wir an keinem Hartsubstrat in der Nähe von Vents Actinien gefunden haben, scheinen sie als überwiegende Nahrungsquelle den Faeces der Muscheln und nicht die frei lebenden Bakterien zu nutzen. Es sind makroskopisch, neben den Anemonen, keine weiteren Sekundärkonsumenten zu erkennen, was bei einer so hohen Produktivität an den Cold Seeps sehr verwundert.

## 7. Vent-Beprobung mit dem Ventsampler VESP

### 7.1 Einsatz des Ventsamplers

P. Linke, A. Cremer und T. Schott

Zur gezielten Beprobung und Quantifizierung der Ausstromraten der Vent Fluide wurde ein am GEOMAR entwickelter TV-geführter Ventsampler (VESP) eingesetzt. Dieses Gerät war zum ersten Mal 1992 auf der SONNE-Reise 78 vor Peru erfolgreich eingesetzt worden (Suess, 1992; Linke et al., 1994) und wurde entsprechend den damaligen Erfahrungen modifiziert und ausgebaut.

VESP besteht im wesentlichen aus zwei Komponenten: der Probenkammer und dem Absatzgestell. Letzteres ist ein modifiziertes Multicorer-Gestell, an dessen zentralen Absatzstempel die Probenkammer befestigt ist, welche dann durch eine Wasserhydraulik gedämpft auf den Meeresboden abgesenkt werden kann. Das Gestell ist zugleich Träger für die Unterwasser-Video-Ausrüstung (Kamera, Scheinwerfer und bidirektionale Daten- und Energie-Telemetrie) sowie für Zusatzkomponenten (Photokamera, Blitz, Temperaturlanze und Transponder) und kann in Wassertiefen bis zu 6000 m eingesetzt werden. Das Absenken der Temperaturlanze erfolgt wie bei der Probenkammer über die Wasserhydraulik nach Absetzen des Gestells am Meeresboden; die Eindringtiefe wird bestimmt durch das Eigenwicht und die Sedimentbeschaffenheit.

Die Probenkammer selbst ist ein kommerzielles Polyäthylen-Faß, welches am Boden aufgeschnitten ist und an der Oberseite eine Austrittsöffnung besitzt, in der ein Rohr mit einer Thermistor-Strömungssonde eingesetzt ist. Das Faß ist in zwei Hälften geschnitten, welche über Schnappverschlüsse einen schnellen Zugang zu den eigentlichen Probennehmern ermöglichen. Diese fünf 5-Liter Wasserschöpfer werden über einen Schrittmotor ausgelöst; die Intervalle zwischen der Probennahme werden vor dem Einsatz in eine Speicher-CTD programmiert, welche zugleich Aufzeichnungseinheit für die Thermistor-Strömungssonde ist. Nach erfolgter Probennahme wird die Ausstromöffnung der Probenkammer mit einer Ventilklappe verschlossen, um eine *in situ* Baseline bei Nullausstrom aufzuzeichnen; diese bietet eine Korrekturmöglichkeit für die im Labor durchgeführte Kalibrierung. Der Probennahmezyklus, die Datenregistrierung und die Photo-Auslösung werden über die Bordtelemetrie-Einheit aktiviert. Hier wird zudem auch die Stromversorgung für Videokamera und Scheinwerfer über den schiffsseitigen Koaxdraht (oder für Gerätetests ohne Draht über einen entsprechenden Kabelsimulator) auf die Unterwassereinheiten übertragen.

Während SO97-1 wurde VESP zudem schiffsseitig mit einem Ultra-short Baseline (USBL) Transponder (SIMRAD) ausgestattet, um die Position des Gerätes in Beziehung zu der Schiffsposition zu erfassen. Dies erwies sich besonders bei der Aufnahme des Gerätes vom Meeresboden als äußerst hilfreich und zeitsparend im Vergleich zu der zeitaufwendigen Auslegung eines Transpondernetzes. Der Ventsampler wurde während der SO97-1 insgesamt 16 mal eingesetzt. Wie aus Tab. 7 ersichtlich, konnte das Gerät 6 mal in unmittelbarer Nähe (max. 1-2 m

Station	Datum	am / vom		Latitude °N		Longitude °W		Wassertiefe	Gewinn	Bemerkungen
		Boden		Anfang / Ende		Anfang / Ende	HS (m)			
SO97/										Position des abgesetzten Gerätes
24	31.07.94	18:06/19:16		57°26.99'/57°26.83'		148°01.49'/148°01.46'		4872/4808	3 Schöpfer	abgesetzt: 57°26.83'N/148°01.46'W, 4803m
29-1	01.08.94	21:53/00:10		57°26.59'/57°26.37'		148°02.32'/148°00.45'		4753/4981		abgebrochen, Gerät nicht abgesetzt
29-2	02.08.94	04:40/06:34		57°26.55'/57°25.54'		148°02.28'/148°00.74'		4768/4981		abgebrochen, Gerät nicht abgesetzt
32	03.08.94	01:06/04:41		57°27.29'/57°26.61'		148°01.65'/148°01.21'		4974/4948	leer	abgesetzt: 57°26.56'N/148°01.11'W, CTD defekt
38-1	04.08.94	17:27/19:33		57°27.22'/57°26.26'		148°00.06'/147°59.28'		4906/4970		keine Beprobung
38-2	04.08.94	23:38/00:54		57°27.34'/57°26.98'		147°59.81'/147°59.81'		4924/4974		keine Beprobung
42	05.08.94	20:43/23:56		57°27.75'/57°27.26'		148°00.03'/148°00.35'		4788/4877	5 Schöpfer	abgesetzt: 57°27.26'N/148°00.35'W
67	11.08.94	01:45/05:23		57°27.16'/57°27.45'		147°59.86'/148°00.20'		4776/4804	5 Schöpfer	abgesetzt: 57°27.04'N/147°59.90'W
70	11.08.94	18:46/20:58		57°27.42'/57°27.26'		148°00.10'/147°59.67'		4798/4972		abgesetzt, keine Beprobung
71	12.08.94	00:55/03:04		57°27.21'/57°27.13'		148°00.36'/148°00.43'		4870/4862	5 Schöpfer	abgesetzt: 57°27.13'N/147°59.92'W
75	12.08.94	20:43/02:21		57°27.37'/57°26.76'		148°00.13'/147°59.81'		4983/4979		mehrfach abgesetzt, keine Beprobung
76	13.08.94	02:18/03:38		57°27.35'/57°27.13'		148°00.12'/148°00.19'		4842/4972		keine Beprobung
101	18.08.94	21:37/00:23		54°18.33'/54°17.43'		157°12.75'/157°10.34'		4628/4921		mehrfach abgesetzt, keine Beprobung
104	19.08.94	16:21/19:18		54°18.29'/54°17.86'		157°12.46'/157°11.74'		4662/4892	5 Schöpfer	abgesetzt: 54°17.96'N/157°11.59'W
108	20.08.94	17:17/18:33		54°18.39'/54°18.32'		157°12.36'/157°11.79'		4704/4891		Profil abgebrochen wegen hoher Trübung
115	21.08.94	20:22/21:00		54°17.72'/54°18.03'		157°10.87'/157°11.02'		4938/4938		keine Beprobung

Tab. 7: Einsatz von Vent-Sampler VESP während SO97-1.

Entfernung) eines Muschelfeldes auf dem Meeresboden abgesetzt und mit Ausnahme der Station 32 auch der Probennahmezyklus gestartet werden. Im Arbeitsgebiet SHUMIGAN gelang es auf Station 104 einmalig, VESP direkt über einem Muschelfeld abzusetzen und die austretenden Fluide zu beproben.

## 7.2 Ergebnisse der Ausstrommessungen

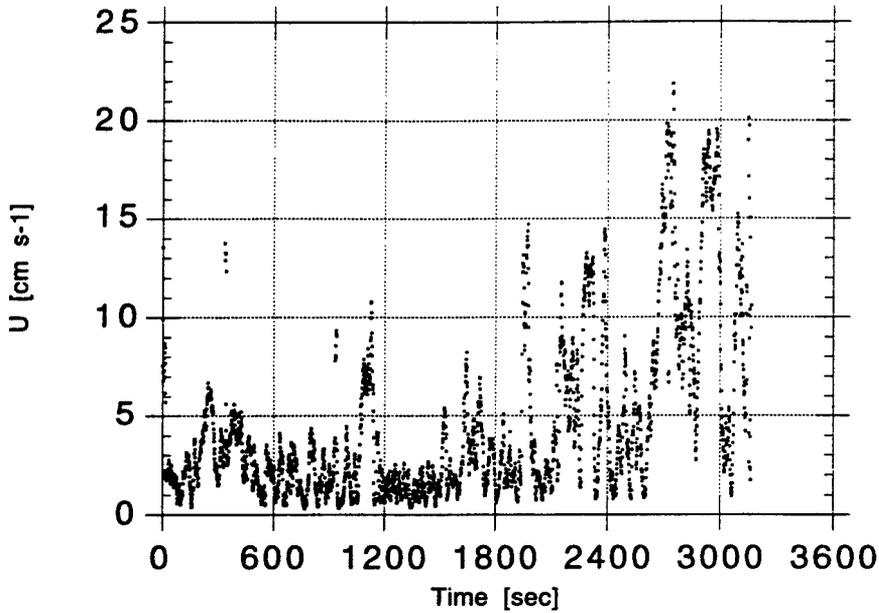
P. Linke, A. Cremer, T. Schott

Auf der ersten Absetzstation (24) im Arbeitsgebiet EDGE zeigen die Meßwerte der Strömungssonde hohe Schwankungen, die zum großen Teil auf Bewegungen der Probenkammer durch Zug des Schiffdrahtes zurückzuführen sind (Abb. 43). Bei einfacher Mittelung der gemessenen Ausstromraten über die ersten 30 Minuten, ergeben die Messungen daher einen unrelastisch hohen Ausstrom von  $344 \text{ l m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , bei ausschließlicher Berücksichtigung der geringeren Meßwerte zwischen den Ausstromspitzen hingegen einen Ausstrom von ca.  $60 \text{ l m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . Ähnliches gilt für Station 42, bei der die Messungen während der ersten 20 Minuten der Aufzeichnung zunächst einen gleichmäßigen und niedrigen Fluß zeigen, der dann aber in dem darauffolgenden Zeitraum große Schwankungen aufweist (Abb. 44). Dies wird auch in den Temperaturmessungen der Temperaturlanze dokumentiert, die zu diesem Zeitpunkt einen Anstieg der Sedimenttemperatur durch Torsion aufzeichnete. Dies deckt sich auch mit den Video-Beobachtungen, die zeigten, daß die Probenkammer bewegt wurde und dabei auch tiefer in das Oberflächensediment eindrang. Eine Mittelung der Strömungswerte in den ersten, von den Bewegungen unbeeinträchtigten 20 Minuten ergibt einen Ausstrom von  $40 \text{ l m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ .

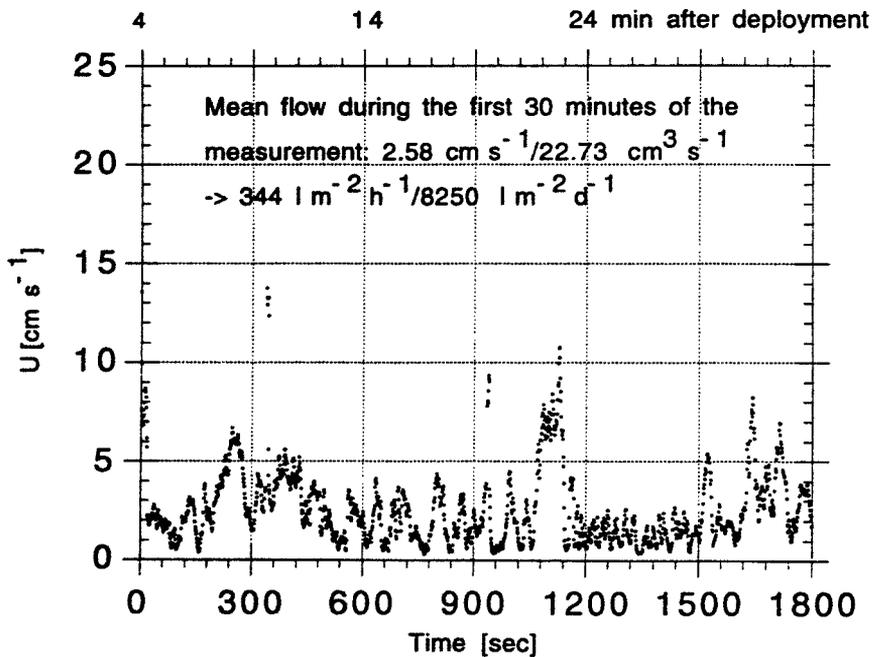
Die Strömungsmessung auf Station 67 zeigen einen erhöhten Ausstrom von im Mittel  $423 \text{ l m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ; hier ist auch der Effekt des Verschließens der Ausstromöffnung deutlich zu erkennen, kurz bevor die Probenkammer wieder angehievt wird (Abb. 45). Auf Station 71 ergibt die Messung ein sehr unruhiges Strömungsmuster mit vielen Strömungsspitzen (Abb. 46). Dies kann als ein Hinweis auf eine mangelnde Abdichtung der Probenkammer gewertet werden. Die gemittelten Meßwerte ergeben einen Ausstrom von  $345 \text{ l m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . Die Station, an welcher die beste Positionierung der Probenkammer direkt über einem Muschelfeld erzielt wurde, zeigt die niedrigsten Ausstromraten ( $10.6 \text{ l m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , siehe Abb. 47). Zugleich wurden jedoch an dieser Station die höchsten Methanwerte in der Probenkammer gemessen (Abb. 48). Der zeitliche Verlauf der Methanwerte deutet jedoch an, daß das methanhaltige Vent-Sediment durch das Aufsetzen der Probenkammer resuspendiert und somit sofort hohe Konzentrationen von Methan in die Kammer eingebracht werden, die durch den geringen Ausstrom des Vent kaum noch gesteigert werden konnten und zu einem exponentiellen Anstieg der Methankonzentration in der Kammer führen. Die geringe Ausstromaktivität von Station 104 wird zudem noch durch das gleichmäßige Temperaturprofil des Sedimentes unterstrichen, welches einen linearen Verlauf mit dem steilsten Temperaturgradienten (ca.  $0.01^\circ\text{C}/10 \text{ cm}$ ) von insgesamt 5 aufgenommenen Profilen zeigt (Abb. 49).

Die Ausstrom-Daten und die Konzentrationen der austretenden Fluide spiegeln eine ganze Reihe von Schwierigkeiten deutlich wider, die sich aus der schwierigen Beprobung der auf dieser Reise neu entdeckten Vent-Felder mit konventionellen kabelgeführten Geräten ergeben. Ein wichtiges Kriterium dieser Vents ist sicherlich ihre geringe und fleckenhafte Ausdehnung; die meisten der vorgefundenen Muschelfelder hatten ein Grundfläche von ca.  $1\text{-}2 \text{ m}^2$ . Diese

### SO97-24 VESP flowmeter data

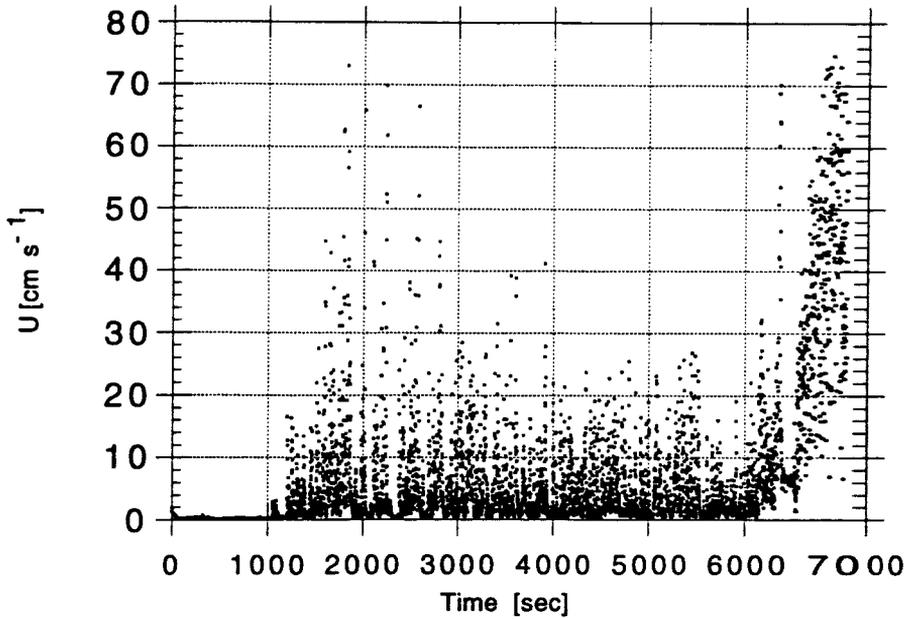


### SO97-24 VESP flowmeter data

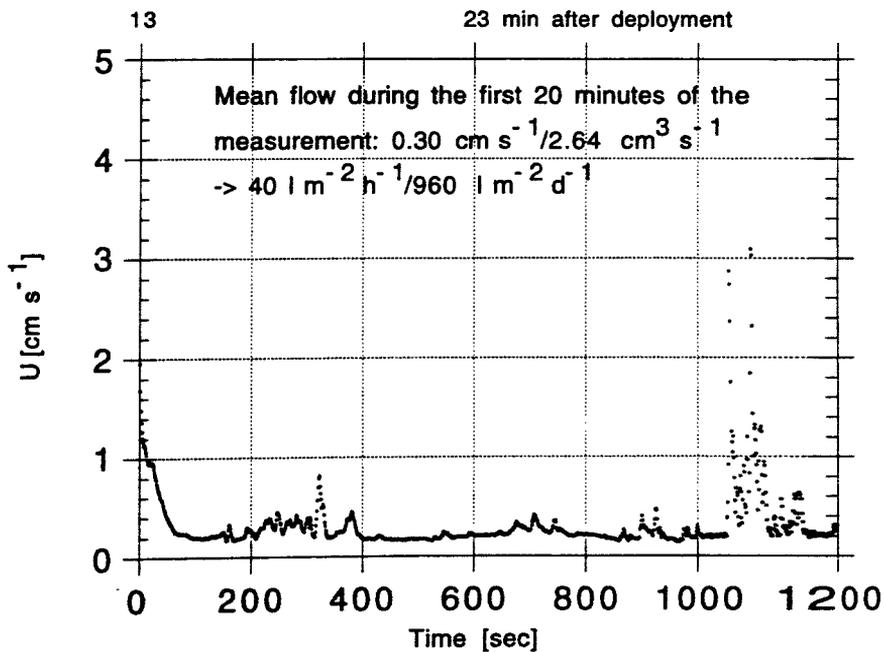


**Abb. 43:** Aufzeichnung der Thermistor-Strömungssonde auf Station 24 über den gesamten Meßzeitraum (Diagramm oben) und über die ersten 30 Minuten (Diagramm unten).

### SO97-42 VESP flowmeter data

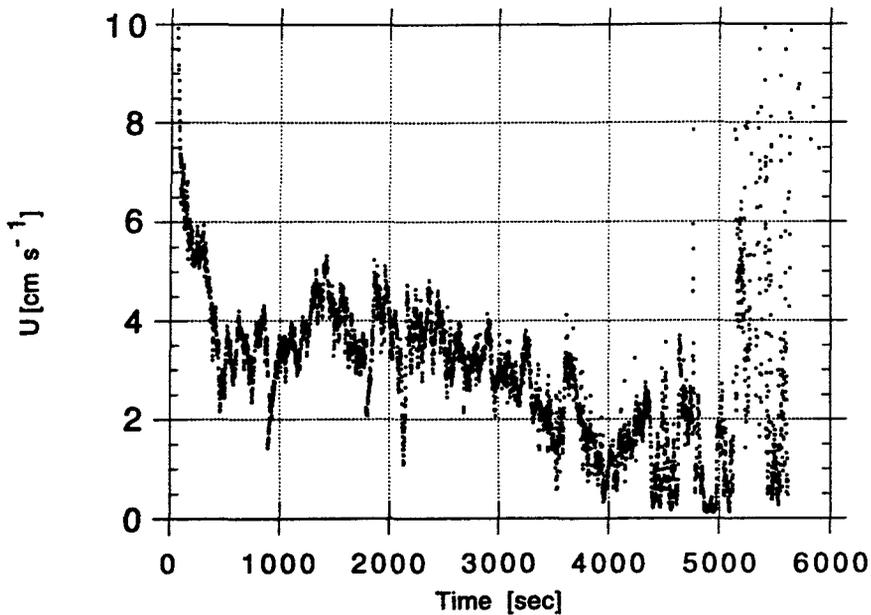


### SO97-42 VESP flowmeter data



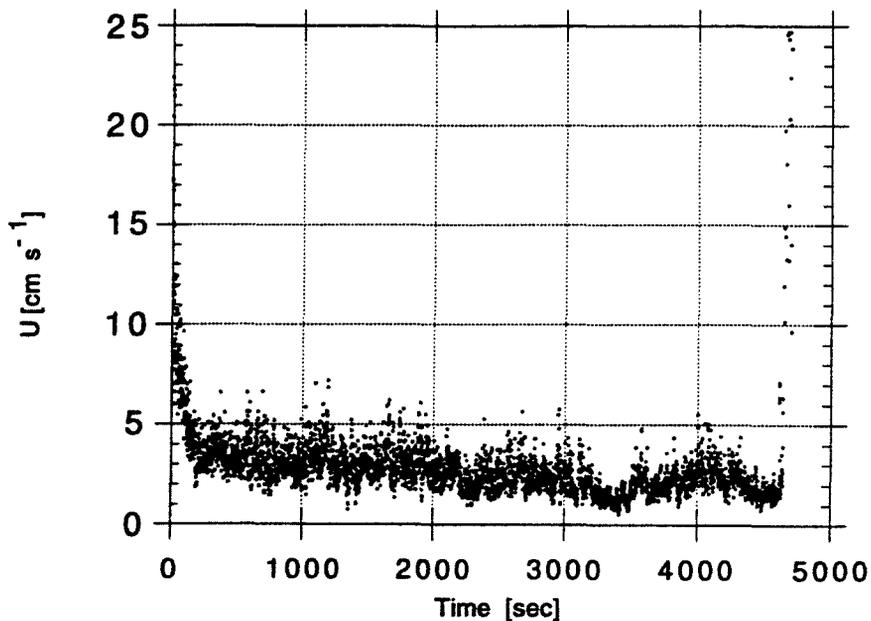
**Abb. 44:** Aufzeichnung der Thermistor-Strömungssonde auf Station 42 über den gesamten Meßzeitraum (Diagramm oben) und über die ersten 20 Minuten (Diagramm unten). Deutlich ist der Effekt der Bewegung der Probenkammer auf den Ausstrom zu erkennen.

**SO97-67**  
**VESP flowmeter data**

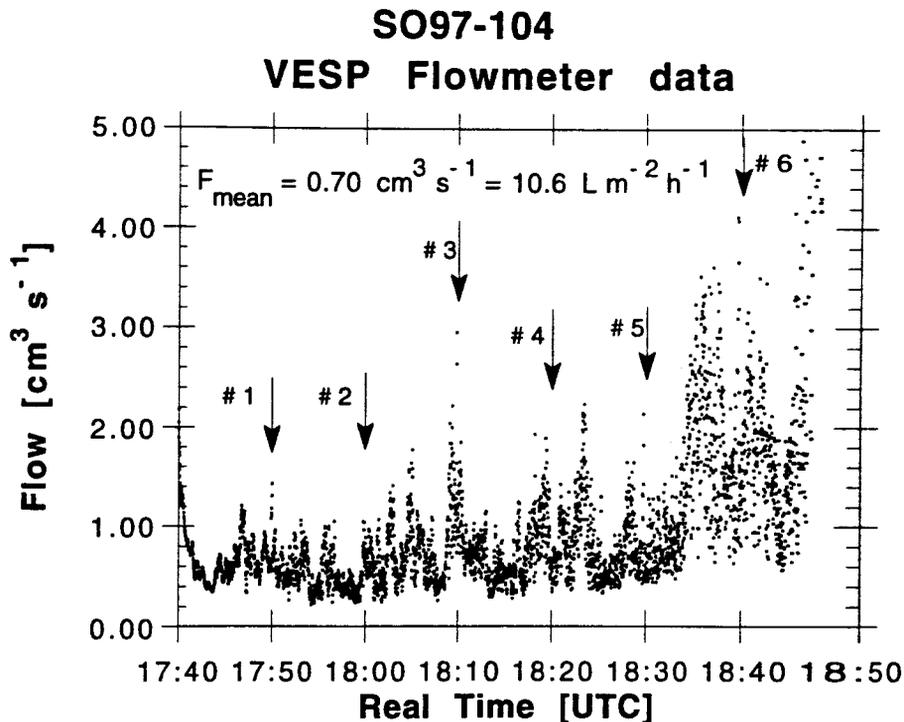


**Abb. 45:** Aufzeichnung der Thermistor-Strömungssonde auf Station 67 über den gesamten Meßzeitraum. Zu erkennen ist auch der Effekt des Verschließens der Ausstromöffnung kurz vor Anheben des Gerätes.

**SO97-71**  
**VESP flowmeter data**



**Abb. 46:** Aufzeichnung der Thermistor-Strömungssonde auf Station 71 über den gesamten Meßzeitraum.



**Abb. 47:** Aufzeichnung der Thermistor-Strömungssonde auf Station 104 über den gesamten Meßzeitraum. Eingezeichnet ist auch der Zeitpunkt der Probennahme der 5 Wasserschöpfer (#1-5) sowie der Zeitpunkt des Verschließens der Ausstromöffnung. Der Maßstab der Aufzeichnung ist im Vergleich zu den übrigen Abbildungen stark vergrößert.

Fläche in einer Wassertiefe von ca. 5000 m gezielt zu beproben, ist auch unter Zuhilfenahme von Videokameras an passiv geschleppten Probennahmegeräten immer noch ein Glücksspiel und erfordert ein Höchstmaß an Präzision in der Navigation und dem Geräte-Handling. Hier würde eine aktiv gesteuerte Probennahme die Erfolgsquote und damit auch das Kosten-/Nutzenverhältnis sicherlich deutlich positiver erscheinen lassen.

Die Standzeiten, in denen VESP ohne Erschütterungen oder Bewegung der Probenkammer fest am Meeresboden stand, betragen zwischen 30 und 70 Minuten. Somit mußte ein Beprobungsintervall von maximal 10 Minuten eingehalten werden, um alle 5 Wasserschöpfer und die Strömungsklappe zu schließen. Längere Standzeiten, die bei den vorgefundenen geringen Ausstromraten nötig gewesen wären, um einen deutlichen Austausch des Probenkammervolumens (ca. 150 l) und damit eine deutliche zeitliche Veränderung der geochemischen Parameter des Bodenwassers hin zu denen der austretenden Vent-Fluide zu erzielen, konnten leider nicht durchgeführt werden.

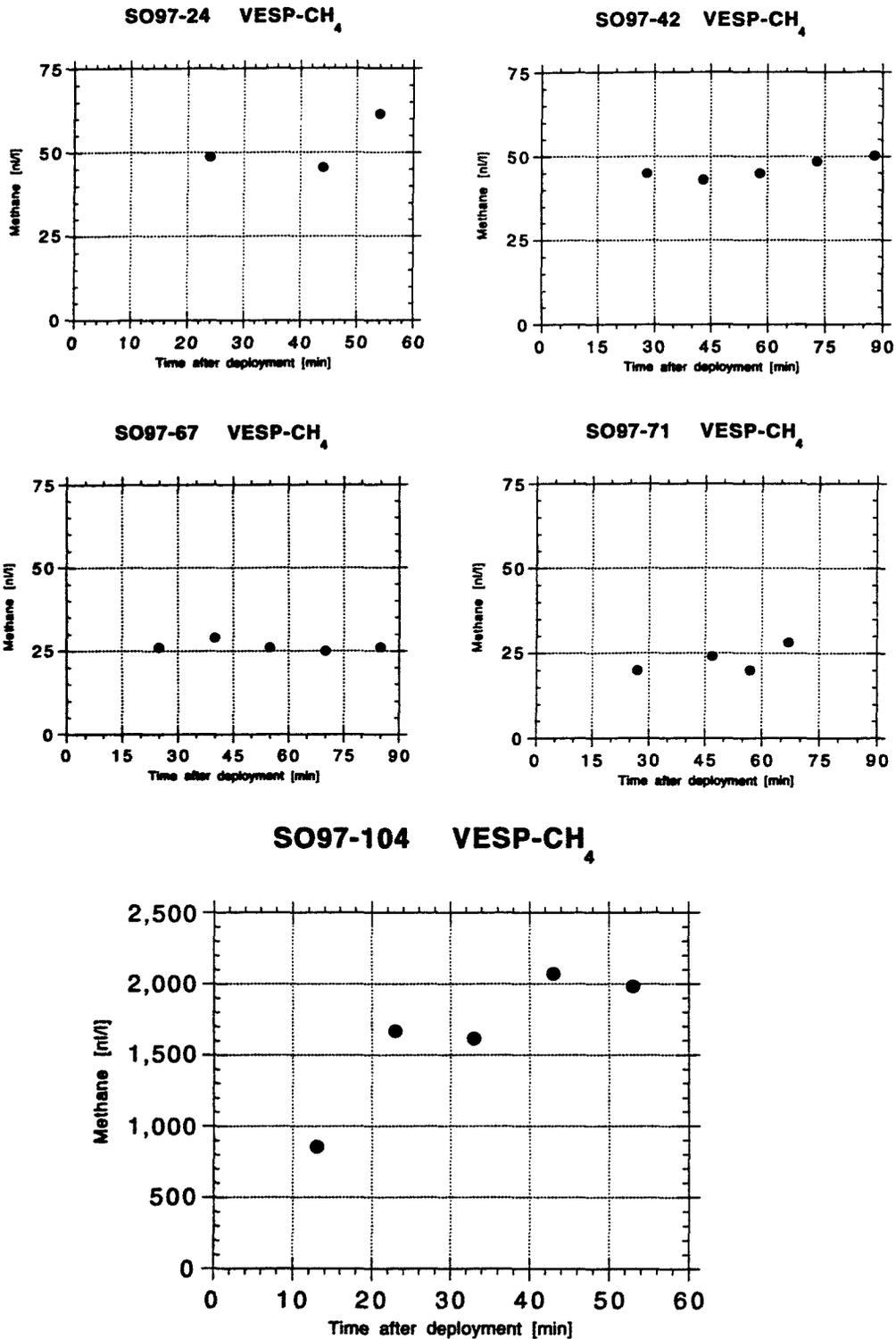
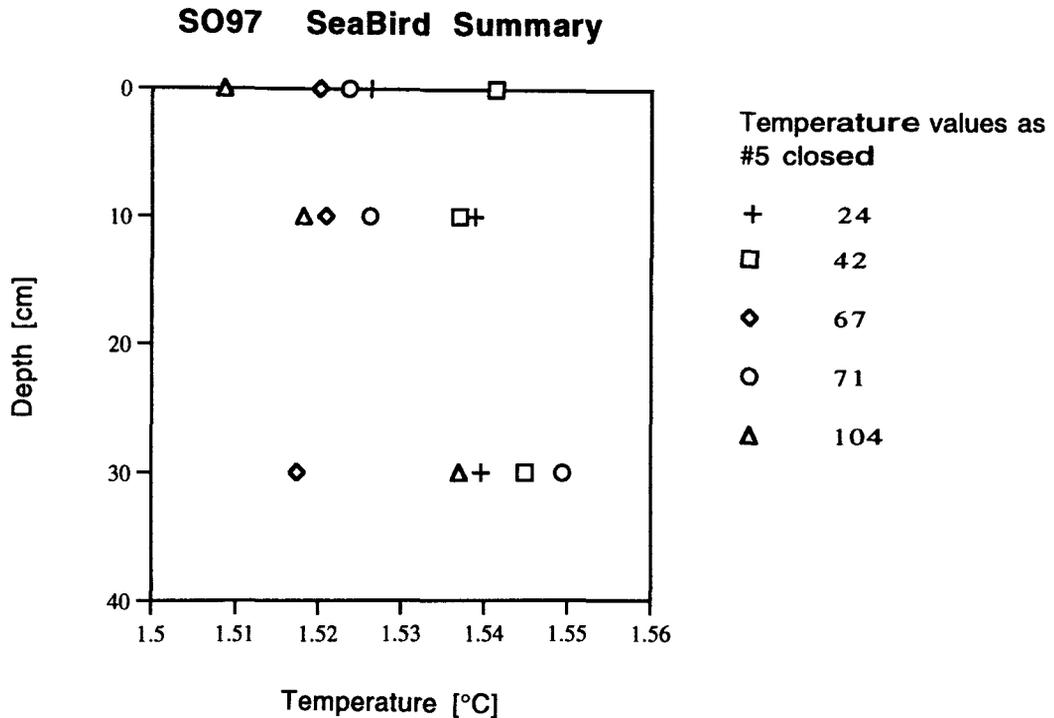


Abb. 48: Zusammenfassung der aus den Wasserschöpfnern der Probenkammer extrahierten Methankonzentrationen an den 5 Absetzpositionen. Auf Station 104 wurden die deutlich höchsten Methankonzentrationen gemessen.



**Abb. 49:** Zusammenfassung der Temperaturprofile an den 5 Absetzpositionen der Probenkammer. Die Meßwerte sind zu dem Zeitpunkt aus der jeweiligen Temperaturkurve der 3 Sensoren genommen, als der Wasserschöpfer #5 in der Probenkammer geschlossen hat. Zu diesem Zeitpunkt, kurz vor der Aufnahme des Gerätes, sind die Sensoren optimal an die Umgebungstemperatur angeglichen.

Schon die 1992 vor Peru durchgeführten Ersteinsätze (SO-78) hatten auf die Notwendigkeit hingewiesen, die Probenkammer während der Probennahme und Datenregistrierung vom Schiff abzukoppeln. Dies gilt besonders, solange in Deutschland keine gezielten Tauchboot- oder ROV-geführten Beprobungen möglich sind. Es entstand bereits zu diesem Zeitpunkt die Idee, ein gesteuertes Lander-System zu entwickeln, welches videogeführt über einer aktiven Austrittsquelle abgesetzt, hier vom Schiffsdraht abgekoppelt und über einige Tage verankert werden kann. Die Wiederaufnahme des Gerätes kann dann nach akustischem Auftauchsignal ähnlich den Freifall-Lander-Systemen erfolgen (free return VESP).

Im Verlauf der Reise SO97-1 zeigte sich beim wiederholten Einsatz des inzwischen stark verbesserten VESP die Notwendigkeit dieses neuen Konzeptes. Die geringen Ausstromraten an den auf dieser Reise neu entdeckten Vents machen aber auch eine Neukonzeption der vorhandenen Probenkammer nötig. Zum einen ist es erforderlich, das Totvolumen der Probenkammer deutlich zu verringern und zum anderen für eine bessere Durchmischung des eingeschlossenen Volumens Sorge zu tragen.

Die diesjährige SONNE-Reise brachte die Möglichkeit, umfangreiche Erfahrungen für die oben skizzierte Neuentwicklung zu sammeln. So wurde während der gesamten Fahrt über Probleme der Rahmenkonstruktion, die Wahl der richtigen Auslöser und ein neues Konzept der Beprobung diskutiert, was zu wichtigen Erkenntnissen führte, und die geplante Neuentwicklung als realisierbar erscheinen läßt. Anteil hieran hatten sowohl die mitreisenden Wissenschaftler als auch Teile der Besatzung, die aus ihren zahlreichen Erfahrungen im Handling von Meeresinstrumenten eine Reihe wertvoller Anregungen lieferten. Die Konzeption eines derartigen Gerätes wird im Rahmen einer ingenieur-technischen Diplomarbeit durchgeführt werden.

### 7.3 Geochemische Analysen

K. Wallmann, A. Bleyer und B. Domeyer

Die Nährstoff- und Sauerstoffgehalte in den VESP-Proben zeigten nur sehr geringe zeitliche Änderungen, so daß große Anstrengungen unternommen werden mußten, um Meßwerte mit möglichst kleinen Fehlerbreiten zu erzeugen. Die Proben zur Nährstoffbestimmung wurden vor den Analysen durch 0,45 µm Membranfilter filtriert, um die Schwebstoffe abzuscheiden. Die Nitrat-, Phosphat- und Nitritkonzentrationen wurden am Autoanalyser in 5-facher Wiederholung bestimmt. Die Silikatkonzentrationen wurden in jeder Probe 5 - 8 Mal am Spektrometer ermittelt. Die Ammoniumkonzentrationen wurden in 2 - 3 facher Messung in 5 cm Küvetten photometrisch gemessen. Die tiefsten Wasserproben aus den korrespondierenden CTD's und die Bodenwasserproben aus den MUC-Rohren wurden ebenfalls mehrfach bestimmt, um die Nährstoffkonzentrationen im bodennahen Wasser vor Beginn der Beprobung mit dem VESP zu erfassen. Zur Minimierung des Meßfehlers, der aus geringfügig unterschiedlichen Kalibrierungsreihen resultiert, wurden diese Bodenwasserproben gemeinsam mit den VESP-Proben in einer Reihe vermessen. Die Sauerstoffwerte wurden in jeweils 2 - 3 Parallelproben durch Winkler-Titration bestimmt. Die Ergebnisse sind im Anhang tabellarisch zusammengefaßt (Anhang I.3).

Bei der Dateninterpretation wurden die Silikatkonzentration genutzt, um die Ausflußraten des Vent-Wassers zu bestimmen. Silikat wird im Gegensatz zu den anderen Nährstoffen von den Vent-Organismen nicht oder nur in geringem Maße aufgenommen. Zudem sind die Silikatkonzentrationen im Porenwasser und Ventwasser stets wesentlich höher als im Bodenwasser, so daß sie im VESP mit der Zeit zunehmen sollten. Die Sauerstoffkonzentrationen wurden als Maß für den Stoffumsatz der Organismen verwendet, da diese reduzierte anorganische Substanzen wie Ammonium, Methan und Sulfid mit Sauerstoff oxidieren und die dabei freigesetzte Energie nutzen. Es wurde also eine Abnahme der Sauerstoffwerte im VESP erwartet. Die durch lineare Regression ermittelten zeitlichen Änderungen sind in Tabelle 8 aufgeführt.

**Tab. 8:** Zeitliche Änderung der Silikat- und Sauerstoffkonzentrationen im VESP-Wasser (n: Anzahl der Meßpunkte, R: Korrelationskoeffizient).

Station	n	Silikat		n	Sauerstoff	
		R	Fluß [nmol/l/min]		R	Fluß [nmol/l/min]
SO97-24	4	0.030	+9 +/-38	4	0.001	+9 +/-215
SO97-42	6	0.601	+20 +/-8	6	0.977	-76 +/-6
SO97-67	6	0.396	-35 +/-22	6	0.347	-12 +/-8
SO97-71	4	0.986	+49 +/-4	4	0.995	-48 +/-2
SO97-104	6	0.132	+19 +/-24	6	0.350	-30 +/-21

Tab. 8 zeigt, daß nur an den Stationen SO97-42 und SO97-71 signifikante Änderungen der Konzentrationen gemessen werden konnten. Aus dem Silikatfluß wurde an diesen Stationen der Wasserfluß berechnet. Dabei gilt die folgende Massenbilanz:

$$F(\text{Si}) = F(\text{VW}) * [\text{SiVW}] + F(\text{SiDiff}) - F(\text{VW}) * [\text{SiBW}]$$

mit:

- F(Si): im VESP gemessener Silikatfluß  
 F(VW): Vent-Wasser-Fluß  
 [SiVW]: Silikatkonzentration im Vent-Wasser  
 F(SiDiff): diffusiver Silikatfluß aus dem Sediment  
 [SiBW]: Silikatkonzentration im Bodenwasser

Für [SiVW] wurde ein Wert von 400 µM angenommen, der der mittleren Silikatkonzentration in den beprobten Vent-Sedimenten entsprach. Als Bodenwasser-Konzentration wurde der mittlere im VESP gemessene Wert von 157 µM verwendet. Da die zeitliche Änderung der Silikatkonzentration nur sehr gering war, kann er als annähernd konstant angesehen werden. Der diffusive Silikatfluß wurde aus der Konzentrationsdifferenz zwischen Bodenwasser und Porenwasser, dem molekularen Diffusionskoeffizienten und der abgeschätzten Porosität mit Hilfe des 1. Fick'schen Gesetzes berechnet. Er war um 2 Größenordnungen kleiner als der gemessene Fluß und wurde daher im folgenden vernachlässigt. Um den gemessenen Silikatfluß auf die Sedimentoberfläche beziehen zu können, wurden die Grundfläche von VESP mit 0.234 m<sup>2</sup> und das abgeschätzte VESP-Volumen von ca. 150 l in die Rechnung miteinbezogen. Die Volumenänderung durch das sequentielle Schließen der Schöpfer im VESP wurde dabei vernachlässigt.

Die Sauerstoffzehrung wurde auf der Grundlage des so abgeschätzten Vent-Wasserflusses und der folgenden Massenbilanz bilanziert:

$$F(\text{Sa}) = F(\text{VW}) \cdot [\text{SaVW}] - F(\text{VW}) \cdot [\text{SaBW}] - Z(\text{Sa})$$

mit:

- F(Sa): im VESP gemessener Sauerstofffluß  
 F(VW): Vent-Wasser-Fluß  
 [SaVW]: Sauerstoffkonzentration im Vent-Wasser  
 [SaBW]: Sauerstoffkonzentration im Bodenwasser  
 Z(Sa): Sauerstoffzehrung durch Vent-Organismen

Die Porenwasser-Analysen zeigten, daß die Vent-Sedimente bis zur Oberfläche ein anoxisches Milieu bilden. [SaVW] hat also den Wert Null. Die mittlere Sauerstoffkonzentration im VESP betrug 158 µM. Die so berechneten Werte sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

**Tab. 9:** Vent-Wasser-Fluß und Sauerstoffzehrung.

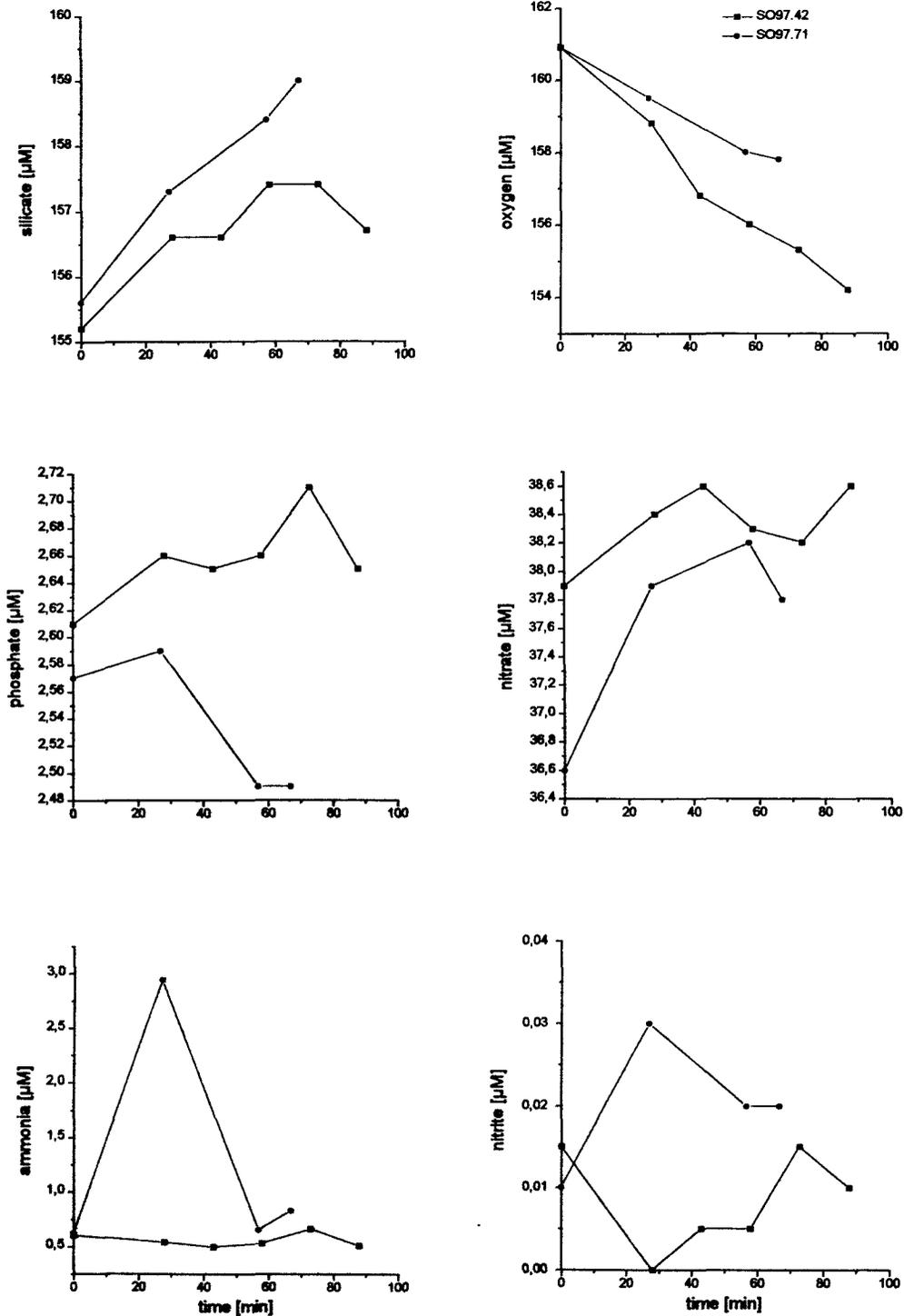
Station	Vent-Wasser-Fluß		Sauerstoffzehrung	
	[l/m <sup>2</sup> /h]	[cm/h]	[mmol/m <sup>2</sup> /h]	[g C/m <sup>2</sup> /yr]
SO97-42	3	0.3	2.5	260
SO97-71	8	0.8	0.6	65

Die berechneten Ausflußraten liegen in der gleichen Größenordnung wie die durch den Strömungssensor direkt gemessenen Werte. Durch die Messung von Lithium und Barium im Porenwasser und den VESP-Proben sollen im Labor bei GEOMAR alternative Parameter zur Ausflußbestimmung geschaffen werden, die möglicherweise den Ausstrom sensitiver nachweisen können. Bei der Berechnung der Sauerstoff-Zehrung in den Einheiten g C/m<sup>2</sup>/yr wurde angenommen, daß 1 mol organischer Kohlenstoff durch 1 mol Sauerstoff mineralisiert wird. Die so berechneten Werte zeigen, daß die abbaubare Kohlenstoffmenge die gleiche Größenordnung wie die Primärproduktion in der photischen Zone des offenen Ozeans hat. Da nur ca. 1 % des primärproduzierten organischen Materials den Meeresboden erreichen, zeigen diese Werte, daß der Sauerstoffverbrauch nur zu einem geringen Teil aus der Mineralisierung der vertikal eingetragenen organischen Substanz erklärt werden kann und ganz überwiegend auf die Oxidation reduzierter Komponenten des Vent-Wassers zurückzuführen ist. Da die Vent-Lokationen stets in Hangnähe gefunden wurden, kann zudem ein lateraler Partikeleintrag aus erodierten Sedimenten von Bedeutung sein und zur Versorgung der Vent-Organismen beitragen.

In Abb. 50 sind die im VESP an den Stationen SO97-42 und SO97-71 gemessenen Konzentrationen der Nährstoffe und des Sauerstoffs in Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen. Die Phosphat-, Nitrat-, Ammonium- und Nitrit-Konzentrationen wiesen im Gegensatz zum Silikat und Sauerstoff keine kontinuierliche zeitliche Änderung auf. An der Station SO97-71 wurden in der 1. VESP-Probe wesentlich höhere Ammonium-, Nitrit- und Nitrat-Werte als im zuvor beprobten Bodenwasser ( $t = 0$  min) gefunden. Dies ist wahrscheinlich auf die Aufwirbelung von anoxischen Sedimenten beim Absetzen von VESP auf die Sedimentoberfläche zurückzuführen. Das dabei freigesetzte Ammonium wird durch Nitrifizierungs-Prozesse rasch in Nitrit und Nitrat umgewandelt. Die anschließende Abnahme der Ammonium-Konzentration bestätigt, daß die Vent-Organismen das freigesetzte Ammonium aktiv umsetzen. Dabei kann neben der Nitrifizierung eine Ammonium-Fixierung zum Aufbau organischer Substanz von Bedeutung sein. Eine Bilanzierung der Nitrifizierung über die Nitrat-Konzentrationen ist hier nicht möglich, da als zusätzliche Reaktion eine mikrobielle Denitrifikation erwartet werden kann, bei der unbekannte Nitratmengen zu elementarem Stickstoff reduziert werden. An den Stationen SO97-24, -67 und -104 wurde, ähnlich wie an der Station SO97-71, eine deutliche Zunahme der Ammonium-Konzentration nach der VESP-Absetzung und ein anschließender Abbau der Konzentration beobachtet (siehe Anhang I.3).

Das Ventwasser enthielt stets hohe Ammonium-Konzentrationen, so daß bei einem inerten Verhalten dieser Substanz eine kontinuierliche Zunahme der Ammonium-Werte im VESP resultieren sollte. Bei einer mittleren Konzentration von  $300 \mu\text{M}$  und einem Vent-Wasser-Fluß von  $5 \text{ l/m}^2/\text{h}$  sollte die Ammonium-Konzentration im VESP nach einer Stunde um mehr als  $2 \mu\text{M}$  zugenommen haben. Tatsächlich waren jedoch die Konzentrationen am Versuchsende stets kleiner als zu Versuchsbeginn. Dies zeigt deutlich, daß Ammonium von den Organismen umgesetzt wird. Ammonium dient dabei sowohl als Nährstoff wie auch als Energiequelle, da es in die organische Substanz eingebaut und/oder unter Freisetzung von nutzbarer Energie zu Nitrat oxidiert werden kann. Die mittlere Ammonium-Zehrung von ca.  $1.5 \text{ mmol/m}^2/\text{h}$  entspricht in etwa der Sauerstoff-Zehrung an den Stationen SO97-42 und -71 (siehe Tab. 9). Der überwiegende Teil des Sauerstoffverbrauchs kann also aus der Ammoniumoxidation erklärt werden, die als wichtiger energieliefernder Prozess an den untersuchten Vents angesehen werden muß.

Es ist beabsichtigt, die stabilen N-Isotope in den VESP- und Porenwasser-Proben zu messen, um so eine vollständige Bilanzierung des Stickstoffkreislaufs zu ermöglichen. Zudem sollen die Mangankonzentrationen gemessen werden, da auch die Oxidation von gelöstem Mn(II) zur Sauerstoffzehrung beitragen kann. Weiterhin wurden von allen VESP- und Vent-Proben Aliquote abgenommen, die zur Sulfidfixierung mit Zinkacetat-Lösung versetzt wurden. In diesen Proben soll im Labor am GEOMAR die Sulfidgehalte bestimmt werden, da die reduzierten Schwefelverbindungen im Ventwasser ebenfalls oxidiert werden und als Energiequelle dienen können.



**Abb. 50:** Zeitliche Änderung der Sauerstoff- und Nährstoffkonzentrationen im VESP-Wasser an den Stationen SO97-42 und SO97-71. Die für die Zeit  $t = 0$  min angegebenen Werte wurden in CTD- und MUC-Bodenwasserproben gemessen.

Unter der Annahme, daß der Sauerstoff überwiegend durch die Oxidation reduzierter anorganischer Verbindungen wie Ammonium, Sulfid und Methan verbraucht wird, kann die zum Aufbau organischer Substanz zur Verfügung stehende Energie abgeschätzt werden. Dabei muß berücksichtigt werden, daß die chemolithoautotrophen Mikroorganismen, die diese Oxidations-Reaktionen ausführen, nur ca. 10 - 20 % der freierwerdenden Gibb'schen Enthalpie nutzen können. Auf diese Weise resultiert ein Schätzwert für die neue Produktion von ca. 10 - 20 g organischem Kohlenstoff pro m<sup>2</sup> und yr. Dieser Wert entspricht in etwa der in 100 m Wassertiefe gemessenen Exportproduktion in der photischen Zone des offenen Ozeans und zeigt die Bedeutung der benthischen Primärproduktion an den Vent-Lokationen.

## 8. Vent-Beprobung, Sedimentologie und Geochemie

### 8.1 Einsatz der geologischen Geräte

M. Schumann und T. Schott

Zur Beprobung von ungestörten Sedimentoberflächenproben nebst überstehendem Bodenwasser wurde der Multicorer (MUC) mit einem Gesamtgewicht von ca. 0.75 Tonnen auf 4 Stationen eingesetzt (Tab. 10). Es wurden pro Einsatz acht Stechrohre von je 10 cm Innendurchmesser benutzt. Der MUC erzielte mit meist 20-30 cm Kerngewinn in 6-7 Stechrohren stets die erwarteten Erfolge. Gelegentlich hatte sich verfestigtes Sediment oder ein Dropstone zwischen der unteren Verschlussklappe und dem Rohr verklemmt, so daß die Probe während des Hievens ausgewaschen wurde.

Stations Nr.	Gerät	Arbeits-Gebiet	Latitude (°N)	Longitude (°W)	W.-Tiefe (m)	Gewinn
25	MUC	EDGE	57°26.82'	148°01.76'	4753	6 Rohre
28	KAL	EDGE	57°26.74'	148°01.66'	4776	leer
72	MUC	EDGE	57°27.68'	148°00.87'	4744	7 Rohre
74	KAL	EDGE	57°27.29'	147°00.40'	4784	leer
88	MUC	SHUMAGIN	54°16.81'	157°14.09'	4776	7 Rohre
100	DR	SHUMAGIN	54°18.13'	157°11.72'	4845	leer
107	DR	SHUMAGIN	54°18.39'	157°11.31'	4840	voll
111	KAL	SHUMAGIN	53°35.89'	156°59.66'	4704	5.23 m
112	MUC	SHUMAGIN	53°34.17'	157°00.39'	4630	7 Rohre

Tab. 10: Einsätze der geologischen Geräte während SO97-1 (ausführliche Daten siehe Stationsliste im Anhang I.1).

Zur Beprobung von längeren Kernsegmenten wurde ein Kastenlot (KAL) mit einem Querschnitt von 30 x 30 cm und einer Länge von 5.75 m benutzt. Es wurde mit einem Gewichtsatz von ca. 4.5 Tonnen während SO97-1 auf 3 Stationen eingesetzt (Tab. 10). Das KAL erbrachte auf Station 111 einen Kerngewinn von 5.23 m. Auf den beiden anderen Stationen 28 und 74 konnte leider kein Kerngewinn erzielt werden. Das Gerät wurde vermutlich aufgrund der unruhigen Morphologie im Bereich des Akretionskeiles am Eindringen gehindert, und auf Station 28 wurde nach einem Defekt an der geologischen Winde der Kern sehr wahrscheinlich in der Wassersäule ausgewaschen.

Die schiffseigene Dredge mit einer Kastenöffnung von 100 x 70 cm wurde auf 2 Stationen, 100 und 107 eingesetzt (Tab. 10). Auf der Station 107, in einem Canyon im Hangbereich des SHUMAGIN-Arbeitsgebietes konnte sie erfolgreich mit Probenmaterial gefüllt werden, während sie auf der Station 100 leer blieb (Tab. 10).

## 8.2 Vent-Beprobung mit TV-Greifer

G. Bohrmann, P. Linke, H. Sahling, M. Schumann und E. Suess

Für eine gezielte Beprobung, sowohl von Sedimenten als auch von Festgesteinen im Bereich von Vent-Gebieten, stellte sich während SO97-1 der TV-Greifer (TVG) als das wichtigste Instrument heraus. Obwohl die Sedimentoberfläche des Greifers bei der Probennahme zum Teil gestört wurde und ein Teil des Sedimentes auch beim Hieven ausgewaschen wurde, konnte eine erfolgreiche Beprobung durchgeführt werden (Tab. 11). Beim TVG handelt es sich um ein bordeigenes Probennahmegerät (Greifer A), welches von der Firma *Preussag Meerestechnik* entwickelt wurde. Das Gerät ist ein Backengreifer mit hydraulisch gesteuertem Öffnungs- und Schließmechanismus. Der Greifer ist mit einer TV-Kamera (*OSPREY 0111-6006*) und zwei Scheinwerfern (*ROS QL 3000*) ausgestattet und kann durch das Schiff geschleppt und Video-kontrolliert abgesetzt werden. Sowohl das Video-Signal als auch das manuelle Auslösen des Gerätes wird über das Kupferkoaxialkabel und die Telemetrie bewerkstelligt. Die Energie-Zufuhr wird über die beiden Naß-Batterien gewährleistet, und die Hydraulik der Greiferarme kann je nach Batterie-Leistung mehrfach betätigt werden. Die beprobte Grundfläche beträgt 1.82 m<sup>2</sup> (1.06 x 1.72 m).

Stations Nr.	Gebiet	Datum UTC	Beginn UTC	Ende UTC	Beprobung:		WT (m)
					Lat. °N	Long. °W	
22	EDGE	31.07	02:29	05:27	57°26.60'	148°01.28'	4800
31-1	EDGE	02.08	14:27	18:02	-	-	-
31-2	EDGE	02.08	18:28		57°26.44'	148°01.21'	4976
39	EDGE	05.08	02:53	06:32	57°27.18'	147°59.84'	4850
43	EDGE	06.08	02:30	07:15	-	-	-
65	EDGE	10.08	14:05	17:51	-	-	-
66	EDGE	10.08	18:10	21:48	57°26.98'	148°59.98'	4840
97	SHUMAGIN	18.08	02:07	03:12	54°17.98'	157°11.71'	4860
102	SHUMAGIN	19.08	03:46	05:22	-	-	-
105	SHUMAGIN	19.08	22:38	00:04	-	-	-
106	SHUMAGIN	20.08	03:20	06:06	-	-	-
109	SHUMAGIN	20.08	21:50	22:37	54°18.01'	157°10.90'	4872

**Tab. 11:** Übersicht der TV-Greifer-Stationen während SO-97 (ausführliche Daten siehe Stationsliste im Anhang I.1). Die angegebene Position ist die Schiffsposition. Die Wassertiefe ist eine abgeschätzte Tiefe nach der Karte und der Seillänge.

Die gezielte Beprobung von Vents erfolgte nach der Erkundung der Ventgebiete mittels EXPLOS. Im Gegensatz zu den anderen geschleppten Geräten, wie z.B. VESP, war für die Positionierung des Greifers das Eigengewicht von ca. 3 Tonnen von großem Vorteil. Über die Schiffsposition, Wassertiefe und Seillänge war die Positionierung des Greifers nach einiger Erfahrung, welche in jedem der Arbeitsgebiet neu gemacht werden mußte, recht gut durchzuführen. Daher

Arbeitsgebiet neu gemacht werden mußte, recht gut durchzuführen. Daher konnte bei nur 12 Einsätzen (Tab. 11) das Gerät in mindestens 4 Fällen sehr gut bis optimal am Meeresboden plaziert werden. Im EDGE-Arbeitsgebiet wurden 7 Einsätze und in SHUMAGIN 5 Einsätze gefahren (Tab. 11).

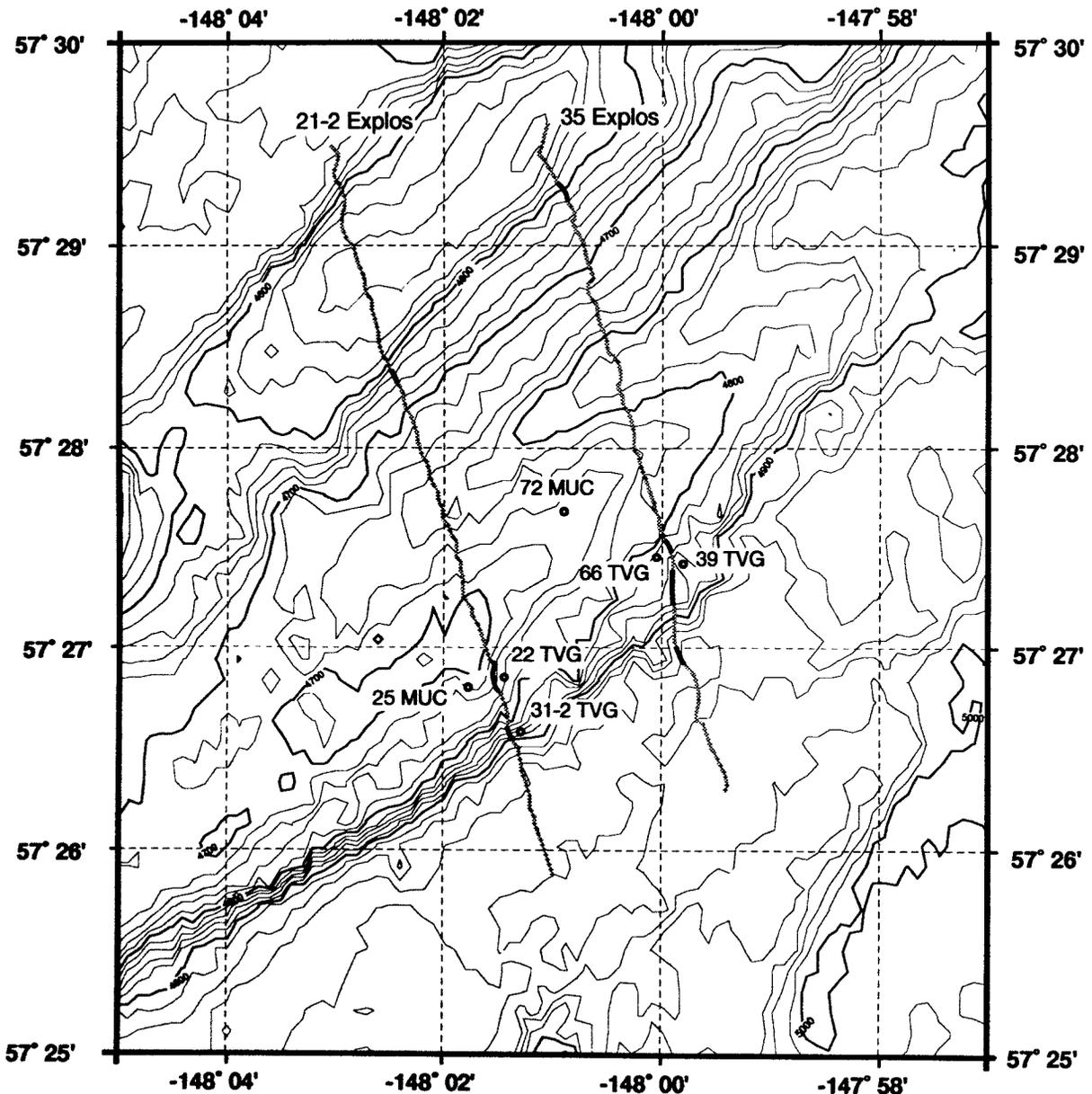


Abb. 51: Ausschnitt des Arbeitsgebietes in EDGE im Bereich der beiden ersten Deformationsfronten mit TV-Greifer-, MUC- und EXPLOS-Stationen.

Im EDGE-Arbeitsgebiet wurde der TV-Greifer zweimal auf dem westlichen EXPLOS-Track Nr 21-2 und zweimal auf dem östlichen EXPLOS-Profil Nr. 35 abgesetzt. In allen vier Fällen wurde das Gebiet auf der SE-Flanke des ersten Deformationsrückens beprobt (Abb. 51). Die beiden TV-Greifer-Stationen 22-1 und 66 konnten dabei jeweils ein Vent-Feld, dessen Oberfläche durch eine charakteristische Besiedlung von chemosynthetisch-lebenden Bivalven gekennzeichnet war, unmittelbar beproben. Die beiden TV-Greifer 39 und 31-2 wurden sehr nahe bei einem Vent abgesetzt (Abb. 51).

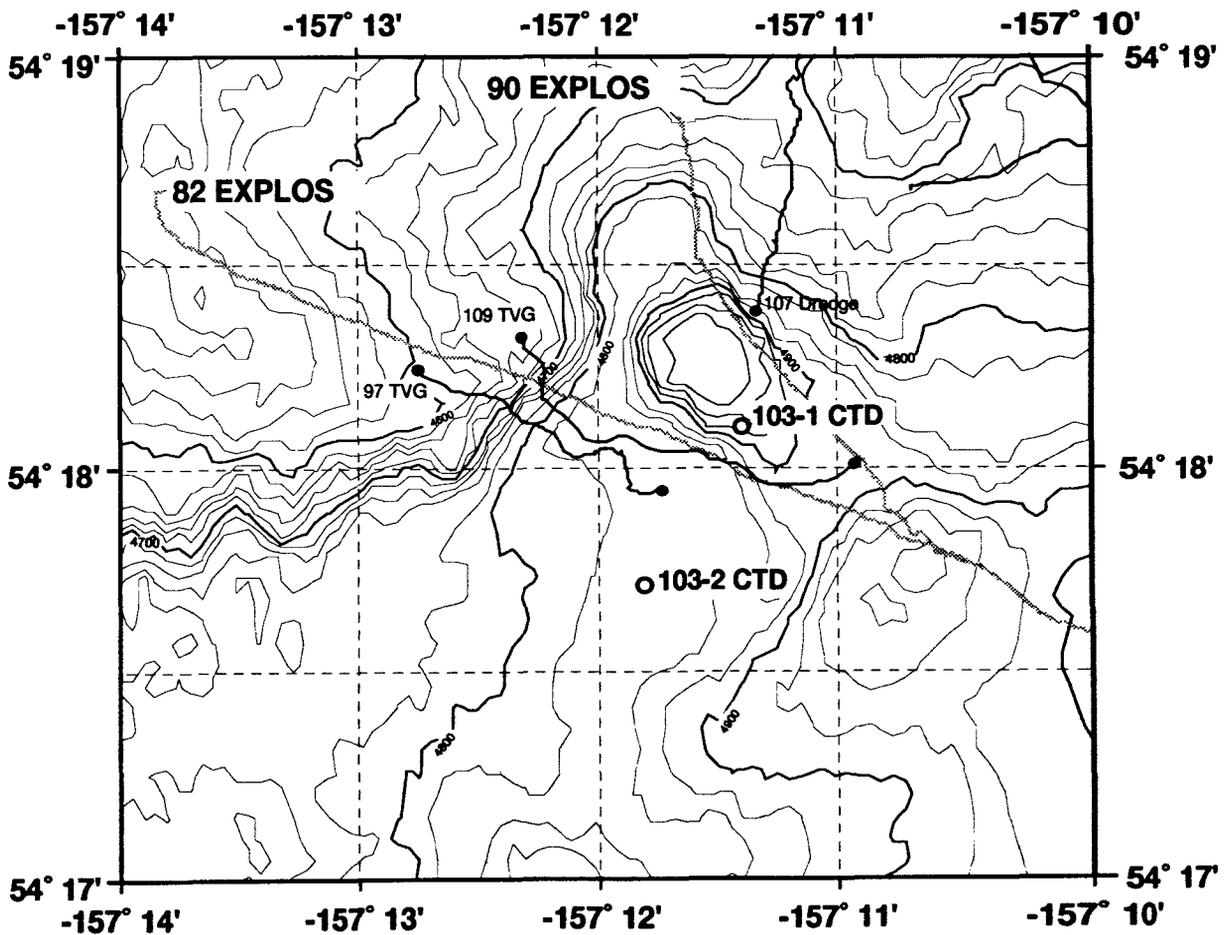


Abb. 52: Engeres Arbeitsgebiet des Vent-Canyons in SHUMAGIN mit TV-Greifer-Drege und EXPLOS-Profilen.

Im Arbeitsgebiet SHUMAGIN (Abb. 52) wurde der TVG ebenfalls auf einem Ventfeld im Bereich des Canyons oberhalb der Hauptdeformationszone abgesetzt. Aufgrund der Mineralpräzipitate am Boden konnte der Greifer jedoch nicht ganz geschlossen werden, und es wurde, bis auf wenige Reste von Krusten (siehe Kapitel 8.3) und Sedimentproben mit Pogonophoren, alles beim Hieven des Greifers ausgewaschen. Der zweite Greifer in diesem Arbeitsgebiet konnte aufgrund der Zeitknappheit nur gegen Ende der Reise außerhalb eines Vent-Feldes abgesetzt werden.

Von den biologischen Proben aus den drei TV-Greifern 22, 66 und 67 wurden jeweils Unterproben zur Isotopenbestimmung eingefroren und zur Artbestimmung und Biomasseabschätzung in Formol fixiert. Das gesamte Sediment des Greifers konnte aufgrund der kurzen Stationszeit nicht durchgesehen werden. Die oberflächlichen ca. 20 cm Sediment im TVG 22 wurden durch ein 1mm Sieb gewaschen und aus dem Muschelschill die Organismen herausgesammelt.

Tab. 12: Zusammenfassung der biologischen Beprobung der TVG SO97-1:

<u>Station</u>	<u>Datum</u>	<u>Proben (Formol)</u>	<u>Proben (gefroren)</u>
TVG 22 EDGE	31.7.1994	17 c.f. <i>Calyptogena</i> spec. 7 c.f. <i>Solemya</i> spec. > 1 mm gesiebte Unterprobe	? <i>Calyptogena</i> ? <i>Solemya</i> ? Pogonophora
TVG 66 EDGE	10.8.1994	113 c.f. <i>Calyptogena</i> spec. 5 c.f. <i>Solemya</i> spec. Pogonophoren Polychaeten Bivalvia/Gastropoda Actinaria	8 c.f. <i>Calyptogena</i> spec. 2 c.f. <i>Solemya</i> spec.
TVG 97 <u>SHUMAGIN</u>	18.8.1994	2 Pogonophoren	3 Pogonophoren

Die beprobten *Calyptogena* und *Solemya* in den beiden TVG 22 und 66 variieren nur sehr gering in der Schalenlänge, das deutet auf eine Altersklasse hin und wirft die Frage nach dem Lebensraum der jungen Stadien auf. Die schon auf den Bildern identifizierten Actinien wurden an den Muscheln gefunden, wobei meist eine Actinie eine Schale besiedelt, doch bis zu maximal vier anzutreffen waren. Die Anemonen waren stark zusammengezogen, und in einigen Fällen stülpte sich die Gastrovascularhöhle durch die Mundöffnung aus. Nach kurzer Zeit lösten sich alle Actinien von den Schalen ab, so daß diese getrennt konserviert wurden. Sehr wenige kleine (<1cm) Muscheln und Schnecken waren ebenfalls anzutreffen, doch die geringe Anzahl und Größe spricht gegen eine Vent-Assoziation.

*Solemya* und *Calyptogena* kamen gemeinschaftlich im TVG vor, doch besiedeln sie unterschiedliche Habitate, was man an der Lebensweise ebenfalls erkennen kann. *Solemya* lebt eingegraben im Sediment, dagegen stecken die calyptogenen Muscheln senkrecht im Sediment, etwa bis zur Hälfte in das Wasser ragend. Im

TVG 22 befanden sich verhältnismäßig mehr *Solemya* als *Calypptogena*, im TVG 66 überwiegen die Calypptogenen allerdings stark (Tab. 12). Die beiden Muschelarten scheinen kleinräumig unterschiedliche Lebensräume zu besiedeln, was zum einen an der interspezifischen Konkurrenz, zum anderen aber auch an der Anpassung an verschiedene Arten des Fluidaustritts liegen könnte. Das sehr konzentrierte Auftreten von Calypptogena deutet auf einen stark kanalisierten Ausstrom der Fluide hin.

### 8.3 Sedimentbeprobung und erste sedimentologische Ergebnisse

D. Beck, N. Biebow, G. Bohrmann, C. Didié, M. Oswald

Die sedimentologische Beprobung erfolgte während SO97-1 vorrangig in potentiellen Ventgebieten und diente vorwiegend zur Klärung von Ventphänomenen. Es wurden in den Untersuchungsgebieten EDGE und SHUMAGIN insgesamt 4 Multicorer, 5 TV-Greifer, ein Kastenlot sowie eine Dredge sedimentologisch beprobt. Die Tabelle 13 gibt einen Überblick über Art und Umfang des Probenmaterials. Neben den rein sedimentologischen und stratigraphischen Proben sind die Proben zur Bestimmung der sedimentphysikalischen Eigenschaften von besonderer Bedeutung. An diesen werden im Labor von GEOMAR Wassergehalt und Dichte bestimmt und können für weitere Analysen z.B. TOC- und Karbonat-Bestimmung genutzt werden. Zur Übersicht sind in der Tabelle 13 auch die Proben aufgelistet, welche für geochemische Untersuchungen genutzt wurden. Von allen Stationen wurden Probenprotokolle angelegt, welche am GEOMAR archiviert sind.

In dem Arbeitsgebiet EDGE (Abb. 51) wurden 2 Multicorer (Tab. 10) und 4 TV-Greifer (Tab. 11) beprobt. Der MUC 72 stammt vom Top des ersten Deformationsrückens und ist sedimentpetrographisch durch einen Diatomeen-führenden Mud gekennzeichnet, der in 33 cm Tiefe eine braune Lage enthielt, sonst aber recht homogen erscheint. Der MUC 25, welcher von der SE-Flanke des Rückens in der Nähe eines Ventgebietes gekernt wurde, scheint insgesamt aus etwas gröberem Material aufgebaut zu sein. Er besteht aus terrigenem Mud, der an der Oberfläche (0-2 cm) wenige Aschenpartikel enthält und im tieferen Teil als Sandy Mud zu klassifizieren ist. Die TV-Greifer haben Sedimente direkt aus Ventgebieten oder unmittelbar daneben beprobt. Sie bestehen auch aus terrigenen Muds, welche teilweise Diatomeen-führend sind und ein unterschiedlich hohen Anteil an Dropstones enthalten. Besonders beim TVG 31-2 war die Greiferoberfläche vorwiegend mit kiesgroßen Dropstones dicht belegt. Die beiden beprobten Sedimentrohre von TVG 39 enthielten zwischen 15-25 cm Sedimenttiefe besonders viele Dropstones. Der TVG 66, welcher auf der Oberfläche dicht mit calypptogenen Muscheln besiedelt war, bestand an der Oberfläche (0 - ca. 6 cm Tiefe) aus hellgrauem Mud mit unterschiedlicher Dropstoneführung und zeigte darunter eine sehr dunkle Sedimentfarbe. Es traten schwarze, röhrenförmige Bereiche auf, die vorwiegend aus Feinkies bestanden, wobei zwischen den Kieskomponenten eine sehr feine, suppage Matrix auftrat. Es ist anzunehmen, daß es sich dabei um die

eigentlichen Kanäle handelt, in denen die Fluide der Cold Seeps aufsteigen und schließlich ins Meerwasser austreten. In ihnen wurden auch vereinzelt in sehr kleinen Mengen gelbliche bis bräunliche Präzipitate von bisher unbekannter Zusammensetzung angetroffen und beprobt. Weiterhin markant waren bis zu dm große, bereits halbverfestigte Mudstone-Komponenten, die umgelagert besonders in den TVG-Stationen 31 und 39 auftraten und aus den Steilabhängen weiter oberhalb herzubeziehen waren.

Stations Nr.	Gerät	n	Kernlänge [cm]	N	M	He	PP	D	S	IS	B	Ch	U-Th
25	MUC	6	29-31	1/15	1/3	1/1	1/13	1/11	1/16	--/--	--/--	--/--	--/--
31-2	TVG	4	28-44	1/19	1/2	--/--	--/--	--/--	2/17	--/--	--/--	--/--	--/--
39	TVG	4	37-40	1/18	0/2	--/--	1/8	--/--	2/20	--/--	--/--	--/--	--/--
Methan Einzelproben													
66	TVG	8	26-50	4/82	0/6	--/--	4/49	--/--	4/51	--/--	--/--	--/--	--/--
PP - und Sediment-Proben, Spezialproben													
72	MUC	7	20-48	1/20	1/8	--/--	1/18	1/17	1/19	1/17	1/10	--/--	--/--
88	MUC	8	30-32	1/17	1/17	--/--	1/14	1/17	2/18	1/17	--/--	1/10	--/--
Ein Sedimentrohr sedimentpetrographisch bearbeitet													
97	TVG	0	0	0/1	0/2	--/--	--/--	--/--	--/--	--/--	--/--	--/--	--/--
TVG ausgewaschen, Krusten													
107	Dredge	0	0	--/--	--/--	--/--	--/--	--/--	--/--	--/--	--/--	--/--	--/--
Proben Sedimenten, Vulkanite Mudstones													
109	TVG	2	29	--/--	--/--	--/--	1/12	--/--	1/13	--/--	--/--	--/--	--/--
111	KAL	0	496	--/21	--/21	--/3	--/55	--/25	--/55	--/55	--/--	--/--	--/9
112	MUC	7	8-13	1/10	1/4	--/--	1/4	1/9	2/13	1/9	--/--	--/--	--/--

**Tab. 13:** Sedimentologische Beprobung während Expedition SO97 (N = Nährstoffe im Porenwasser, M = Methan-Proben, He = Helium-Proben, PP = Proben zur Bestimmung der physikalischen Eigenschaften, D = Dinoflagellaten, S = Sediementologie, Is = Isotopen, B = Bakterienproben, Ch = Chlorophyll, U-Th = Uran/Thorium-Proben; Zahlen stehen für Anzahl der Rohre/Anzahl der Proben).

Die Sedimente in dem weiter westlich gelegenen Arbeitsgebiet SHUMAGIN sind generell durch höhere Anteil an biogenem Opal-A von Diatomeen gekennzeichnet. Im Bereich des Vent-Canyons wurden zwei TV-Greifer-Proben geborgen (Abb. 52), von denen der TVG der Station 107 massive Präzipitate enthielt, welche das vollständige Eindringen des Greifers ins Sediment verhinderten. Es handelte sich um Karbonatkrusten, von denen erste XRD-Analysen am GEO-MAR bisher nur Calcitmineralogien nachweisen konnten. Die Krusten zeigen makroskopisch bereits einen Lagenbau, wobei besonders die obflächennahen Bereiche aus einem sehr feinkörnigen, dichten Material bestehen, das nach unten ins weiche Sediment verschiedenste Verwachsungsgefüge zeigt. Der MUC 88

stammt aus dem ventfernen Plateaubereich südlich des Vent-Canyons (Abb. 11). Das Sediment besteht aus einem Diatomaceous Mud, welcher im Oberflächenbereich oliv, darunter dunkelgraubraun und unterhalb von 17 cm dunkelgrau ist. In 5 cm Tiefe befand sich eine Aschenlage und in ca. 7 cm eine braune Manganreiche Lage, wie Smearslide-Analysen am Mikroskop belegten.

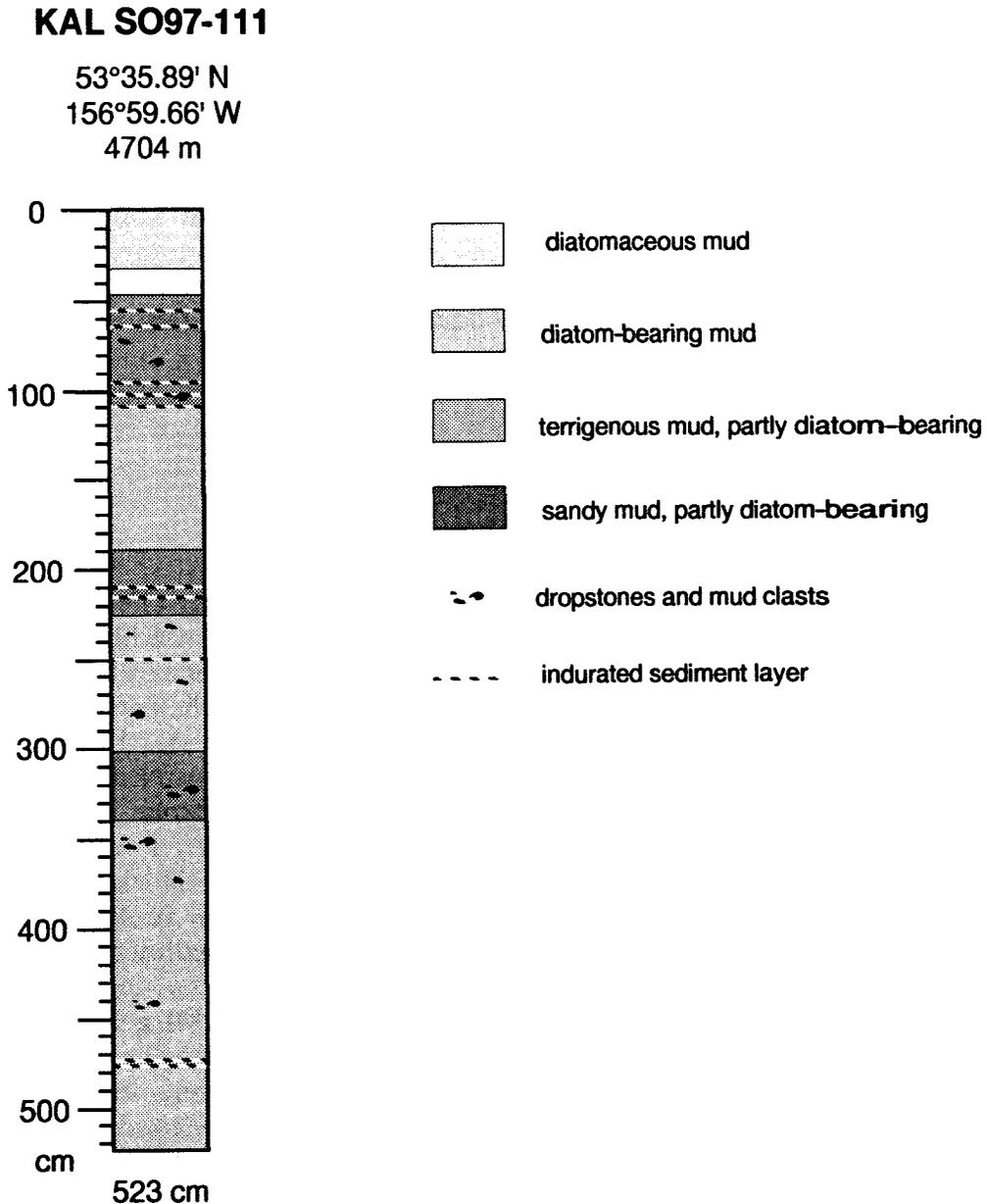


Abb. 53: Lithologische Sedimentkernaufnahme von Kastenlot SO97-111.

Südlich des eigentlichen Arbeitsgebietes von SHUMAGIN wurde südlich des Aleutengrabens auf der Pazifischen Platte der Sedimentkern 111 gewonnen (Tab. 10). Abb. 53 dokumentiert den lithologischen Aufbau. Die Sedimente bestehen aus einer Wechselfolge von terrigenen Muds, Diatomeen-führenden Muds und Sandy Muds. Auffällig ist eine an Diatomeen besonders reiche Lage zwischen ca. 33-44 cm. Es treten Dropstones vorwiegend basaltischer Lithologien und Mud Clasts in unterschiedlichen Horizonten auf. Weiterhin auffällig sind verfestigte dünne Lagen, welche ebenfalls im gesamten Sedimentprofil vorkommen (Abb. 53).

Die Dredge, welche die nordöstliche Flanke des Vent-Canyons beprobte (Abb. 52), enthielt helle und dunkle Mudstones, von denen einige Proben auch als Sandy Mudstones zu klassifizieren sind. Untergeordnet waren Sandsteinkomponenten neben einer Breccien-Probe, zwei Konglomeraten und einem konglomeratischen Sandstein zu finden. Die drei Vulkanitproben waren hellgraue, porphyrische Vulkanite mit Feldspäten. Alle Lithologien, die keine Mudstones darstellen, sind wahrscheinlich als Dropstones ins Sediment umgelagert worden und von weiter entfernten Liefergebieten abzuleiten.

#### 8.4 Geochemische Untersuchungen

K. Wallmann, A. Bleyer, B. Domeyer und S. Lammers

Aus den mit Multicorer (MUC), Kastenlot (KAL) und TV-Greifer (TVG) gewonnenen Sedimenten wurde unmittelbar nach der Probenahme im Kühlraum bei 4°C das Porenwasser ausgepreßt. Dazu wurde das Sediment aus den MUC-Rohren mit einem Stempel herausgedrückt und in 1 - 3 cm dicke Scheiben zerschnitten. Aus dem Kastenlot wurden unmittelbar nach dem Öffnen des Kastens Sedimente mit dem Spatel in 10 - 30 cm Abständen entnommen und ausgepreßt. Die Sedimente des TVG wurden auf unterschiedliche Weise beprobt. Zum einen wurden Plexiglasrohre in den Sedimentkörper gedrückt, um Tiefenprofile zu erhalten, und zum anderen wurden Sedimente aus bestimmten Horizonten mit dem Spatel entnommen. Dies waren die Oberflächensedimente, auf denen Muscheln lagen sowie schwarz gefärbte Gänge im tieferliegenden Sediment.

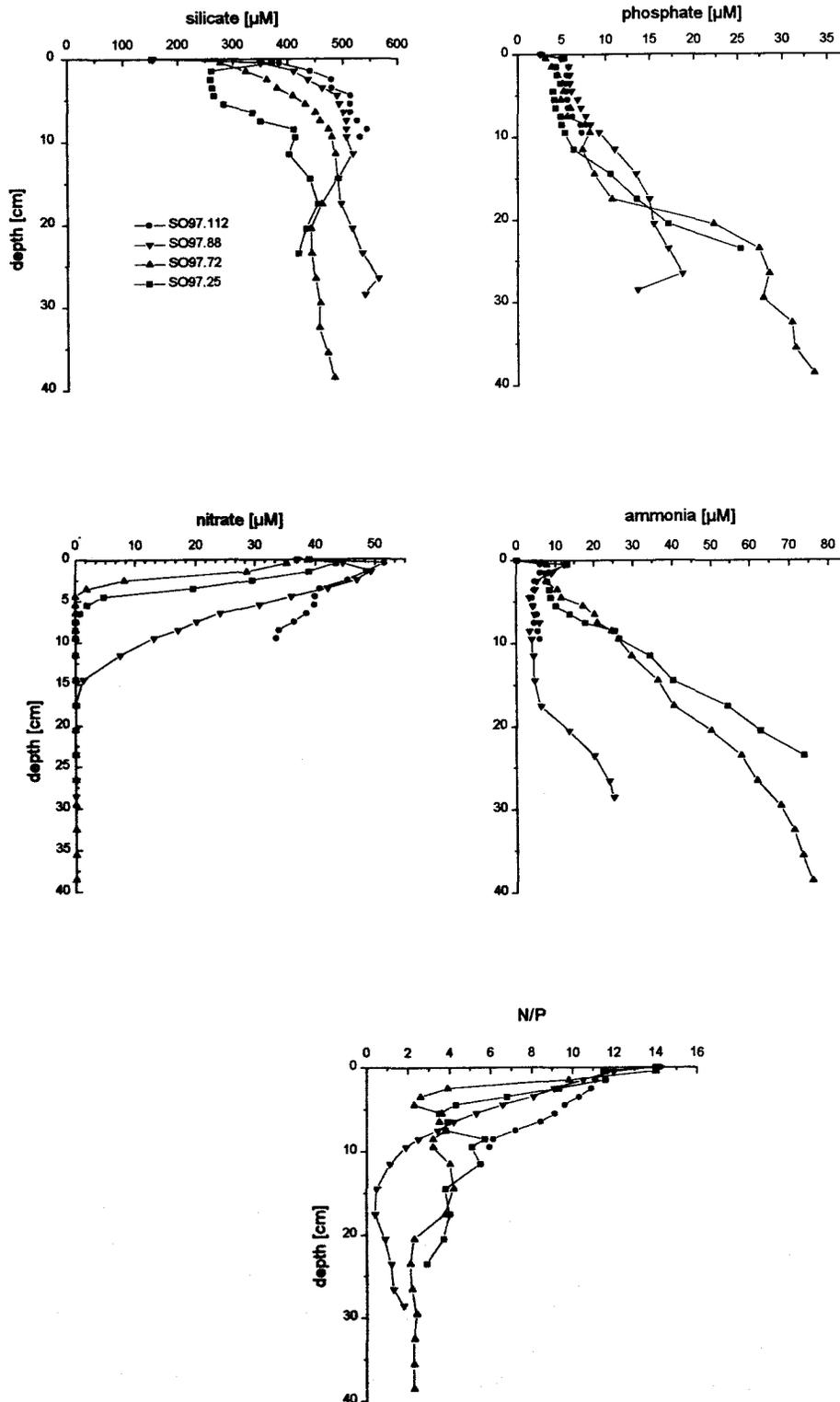
Die hier verwendete, vom GKSS-Forschungszentrum (Geesthacht) gelieferte Porenwasserpresse bestand aus 11 getrennten Segmenten, in die jeweils ca. 50 cm<sup>3</sup> Sediment eingefüllt wurde. Am Boden der Segmente war jeweils ein 0.45 µm Membranfilter angebracht, durch den bei einem angelegten Stickstoffdruck von 1 - 3 atm das ausgepreßte Porenwasser filtriert wurde. Noch während des Preßvorgangs wurden aus den ersten ml gewonnenen Porenwassers Aliquote abgenommen, die mit Zinkacetat-Lösung versetzt und zur späteren Sulfidbestimmung gelagert wurden. Weitere Aliquote wurden in verschlossene Gefäße überführt und bis zur gaschromatischen Bestimmung des gelösten anorganischen Kohlenstoffs (TIC) im Kühlschrank gelagert. Insgesamt konnten aus jeder Sedimentprobe ca. 10 - 20 ml Porenwasser gewonnen werden. Die verbleibenden Preßkuchen wur-

den abgefüllt und zur späteren Analyse gelagert. Weiterhin wurde an ausgewählten Proben feuchtes Sediment entnommen und in 10 cm<sup>3</sup> Spritzen überführt, die sofort eingefroren und in flüssigem Stickstoff gelagert wurden. An diesen Proben werden im Heimatlabor die Schwefel- und Eisenbindungsformen durch naß-chemische Extraktionen bestimmt.

Die Nährstoffgehalte im Porenwasser wurden wie die CTD-Proben mit dem Autoanalyser gemessen (s. Kap. 5.3). Da jedoch die Ammonium- und Phosphat-Konzentrationen wesentlich höher als in der Wassersäule waren, wurde eine Verdünnungsschleife eingebaut, durch die das Porenwasser automatisch um den Faktor 8 mit Natriumchloridlösung verdünnt wurde. Auf diese Weise konnte zudem der Volumenverbrauch pro Messung auf ca. 1.5 ml reduziert werden. Die Silikatkonzentrationen wurden am Spektrometer in 50-fach verdünnten Proben gemessen.

Die im Porenwasser gewonnenen Meßwerte sind im Datenanhang tabellarisch aufgeführt (Anhang I.4, I.5, I.6). Abbildung 54 zeigt die an den 4 analysierten MUC-Rohren gemessenen Nährstoffkonzentrationen. An den MUC-Stationen wurden keine Fluidaustritte beobachtet. Sie dienten als Referenz-Stationen, an denen die frühdiagenetischen Prozesse an der partikulären organischen Substanz und anderen Komponenten des vertikalen Partikeleintrags untersucht wurden. Die Stationen SO97-25 und SO97-72 lagen im Untersuchungsgebiet EDGE in einer Wassertiefe von jeweils ca. 4750 m (Tab. 10; Abb. 51). Die Station 25 war in der Nähe eines Ventgebiets lokalisiert, während die Station 72 in größerer Entfernung der untersuchten Vents auf dem 1. Deformationsrücken lokalisiert war. In beiden Kernen zeigte die geringe Nitrateindringtiefe von 6.5 cm bzw. 4.5 cm Eintrag organischer Substanz an, der auf die intensive Primärproduktion in der photischen Zone und möglicherweise auf den lateralen Eintrag von erodiertem Material aus den benachbarten Rückengebieten zurückzuführen ist. Der Anstieg der Ammoniumkonzentration unterhalb der Nitrateindringtiefe zeigt, daß die Mineralisierung partikulärer organischer Substanz (POM) nicht auf den oxisch-suboxischen Oberflächenbereich begrenzt ist, sondern auch in den tieferen anoxischen Sedimentschichten abläuft (Abb. 54). Die geplante Bestimmung der Sulfat- und Sulfidkonzentrationen wird hier weitere Informationen liefern.

Der im Untersuchungsgebiet SHUMAGIN auf einer Terrasse (Abb. 11) in einer Wassertiefe von 4776 m genommene MUC-Kern SO97-88 (Tab. 10) zeigt durch seine wesentlich größere Nitrateindringtiefe und die niedrigeren Ammonium-Konzentrationen einen deutlich geringeren Eintrag abbaubarer POC-Komponenten an. Die Differenz zu den EDGE-Kernen kann nicht auf Unterschiede im vertikalen Eintrag zurückgeführt werden, da die Wassertiefen fast gleich groß waren und die Nährstoffprofile in der Wassersäule in beiden Gebieten eine ähnlich hohe Primärproduktion anzeigten. Wahrscheinlich bewirken Erosions- und Umlagerungsprozesse in der stark gefalteten Subduktionszone einen intensiven lateralen Partikeltransport, der zu großen Differenzen im POM-Eintrag in direkt benachbarten Gebieten führen kann.



**Abb. 54:** Nährstoffkonzentrationen im Porenwasser der MUC-Kerne SO97-25, -72, -88 und -112. Die für die Tiefe  $x = 0$  cm angegebenen Werte wurden im überstehenden Wasser der MUC-Rohre gemessen.

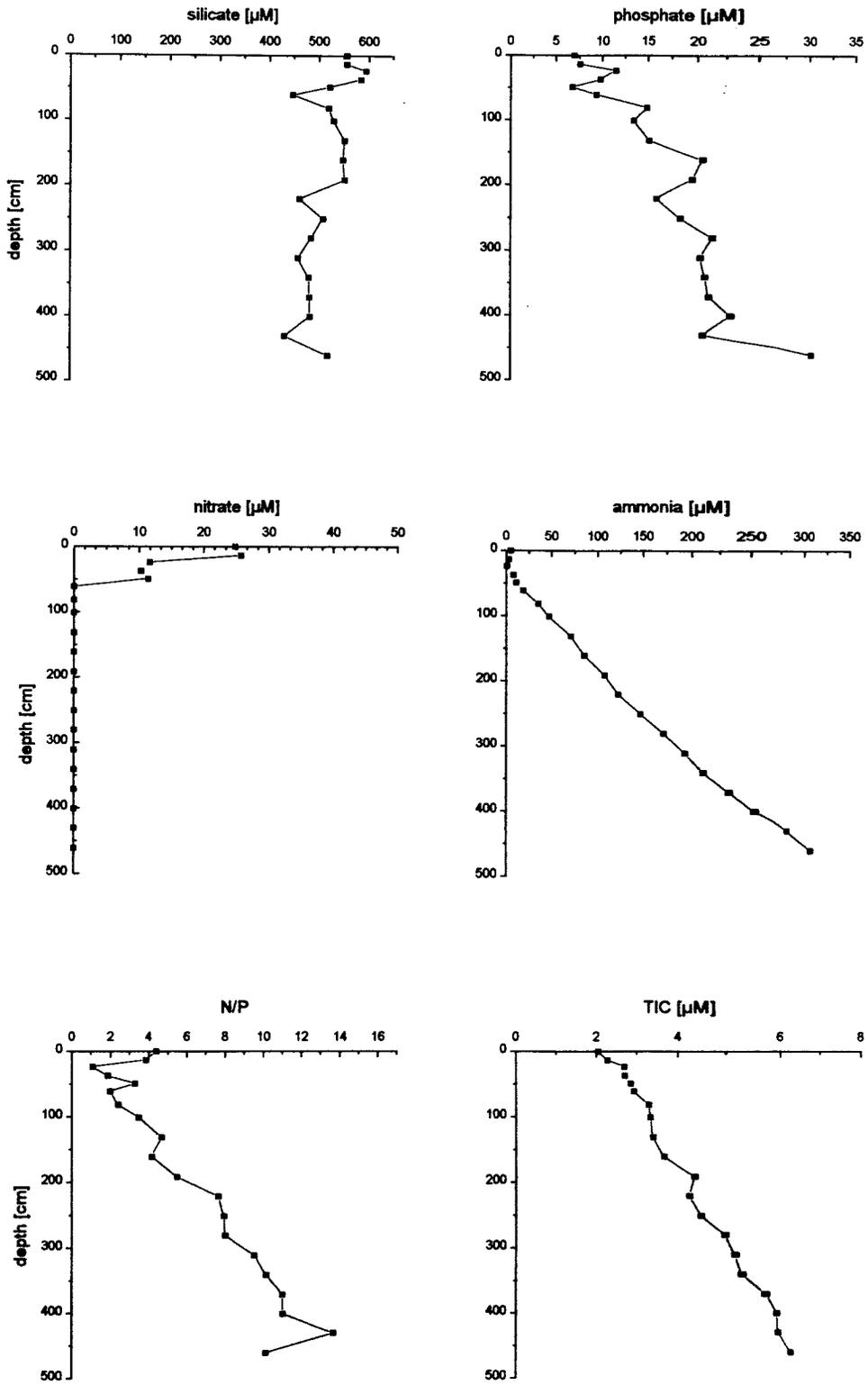


Abb. 55: Nährstoffkonzentrationen im Porenwasser des KAL-Kerns SO97-111.

Der MUC-Kern SO97-112 (Tab. 10) wurde nicht wie die übrigen Kerne in der Subduktionszone sondern auf der ozeanischen Platte südlich des SHUMAGIN-Gebiets in einer Wassertiefe von 4630 m genommen. Die hohen Nitratwerte bis zum Kernende bei 10 cm Sedimenttiefe zeigen einen deutlich niedrigeren POM-Eintrag an, der möglicherweise aus der fehlenden lateralen Komponente erklärt werden kann. Die molaren N/P-Verhältnisse nahmen in allen Kernen aufgrund der mehr oder weniger intensiven Denitrifikation mit steigender Sedimenttiefe deutlich ab (Abb. 54). Die Silikatkonzentrationen stiegen in allen Kernen auf einen Plateauwert von ca. 500  $\mu\text{M}$  an, der durch die Opal-Lösungskinetik und die Geschwindigkeit des Stofftransports im Sediment bestimmt wird. Im Kern SO97-25 wurden in den oberen 7 cm deutlich niedrigere Silikatwerte gefunden, die als Indiz für eine aktive Bioturbation und/oder Bioirrigation im Oberflächensediment gewertet werden können.

Auf der ozeanischen Platte, in unmittelbarer Nachbarschaft zur Station SO97-112, wurde das Sediment zusätzlich mit einem Kastenlot beprobt. Die an dieser Station SO97-111 (Tab. 10) gewonnenen Daten sind in Abb. 55 aufgetragen. Die Nitratkonzentration war an der KAL-Oberfläche deutlich niedriger als am Ende des MUC-Kerns SO97-112. Dieser Befund sowie die hohen Silikatwerte am KAL-Top zeigen, daß mehr als 10 cm des Oberflächensediments bei der Beprobung verloren gingen. Nitrat konnte bis zu einer Sedimenttiefe von 50 cm nachgewiesen werden. Unterhalb der Nitrateindringtiefe nahmen die Ammoniumkonzentrationen und die TIC-Werte linear mit der Tiefe zu. Diese konstanten Gradienten zeigen, daß von ca. 50 cm bis zum Kernende kein Abbau organischer Substanz stattfindet und erst in größerer, leider nicht lokalisierbarer Tiefe Schichten liegen, in denen Abbauprodukte freigesetzt werden, die diffusiv in Richtung der Sedimentoberfläche transportiert werden. Es ist möglich, daß dort, trotz größeren Alters, noch abbaubarer POM und rezente Mineralisierungsreaktionen anzutreffen sind. Es ist auch denkbar, daß an der Station, trotz größerer Entfernung von der Subduktionszone, alte nährstoffreiche Fluide nach oben wandern und in Tiefenbereiche gelangen, aus denen sie das Oberflächensediment durch diffusive Austauschprozesse mit Nährstoffen versorgen (Abb. 55).

Abb. 56 und 57 zeigen die an der Station SO97-66 gewonnenen Daten. Dort (Tab. 11) konnte mit dem TV-Greifer ein Muschelneest in 4850 m Wassertiefe beprobt werden. An Bord wurden die Oberflächensedimente unter den Muscheln mit einem Spatel in 2 cm dicken Schichten beprobt. Zudem konnten schwarze Gänge im Sedimentkörper lokalisiert und beprobt werden. Weiterhin wurden insgesamt 4 Sedimentkerne für die geochemischen Untersuchungen entnommen, von denen 3 (Kern A, B, und C) zur Porenwassergewinnung ausgepreßt wurden. Die Kennung A, B, C und D beschreibt die Positionierung der Proben im TVG.

Abb. 56 zeigt, daß die in 0 - 2 cm Tiefe direkt unter den Muscheln genommenen Proben eine sehr große Varianz in den Nährstoffgehalten aufweisen. Nitrat konnte nur an der Position A in niedriger Konzentration nachgewiesen werden.

In allen anderen Proben lagen die Nitratkonzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze. Dies zeigt zum einen, daß die Porenwasserzusammensetzung bei der Beprobung nicht durch Verdünnung mit Bodenwasser verfälscht wurde und daß zum anderen eine sehr intensive Denitrifikation direkt unterhalb der Muscheln einsetzt, die zu einem fast vollständigen Abbau des Nitrats in ca. 1 cm Tiefe führt. Eine so geringe Nitrateindringtiefe wird sonst nur für hochreaktive Flachwassersedimente beschrieben und zeigt eine für Tiefseesedimente extrem hohe Denitrifikationsrate an. Nitrat kann dabei durch den POM-Abbau oder durch die Oxidation von reduzierten Porenwasser-Komponenten wie Sulfid und Ammonium verbraucht werden. Die Ammonium- und Phosphat-Werte sind unterhalb der Muscheln sehr hoch und weisen auf einen starken anoxischen POM-Abbau hin. In den Gängen, die in ca. 10 cm Sedimenttiefe angetroffen wurden, lag der mittlere Ammonium-Gehalt deutlich über den Ammonium-Werten unter den Muscheln, während die Phosphatgehalte wesentlich niedriger waren, so daß die molaren N/P-Verhältnisse im muschelbedecktem Oberflächensediment sehr viel kleiner als in den schwarzgefärbten Gängen waren. Die Silikatkonzentrationen im Oberflächensediment zeigten ebenfalls eine starke Varianz und übertrafen die in den Gängen gemessenen Werte. Dieses Muster der Nährstoffgehalte zeigt eindeutig, daß die Muscheln nicht nur durch reduzierte Ventfluide aus größerer Tiefe sondern auch, und wahrscheinlich überwiegend, durch den vertikalen und lateralen POM-Fluß mit Energie und Nährstoffen versorgt werden. Die niedrigen N/P-Verhältnisse zeigen, daß frisches und gut abbaubares organisches Material in hoher Konzentration im Oberflächensediment anzutreffen ist. Die hohen Silikatkonzentrationen belegen, daß Opalschaler eine wesentliche Komponente des biogenen Eintrags bilden und weisen zudem darauf hin, daß unterhalb der Muscheln in den Positionen C und D nur diffusive Transportprozesse anzutreffen sind (Abb. 56). Die an dem Vent angetroffene Organismen-Vergesellschaftung bezieht ihre Energie also nicht nur aus dem chemolithoautotrophen Stoffwechsel symbiontischer Mikroorganismen sondern, auch aus dem heterotrophen POM-Abbau. Da der vertikale POM-Eintrag nur zu einem sehr geringen Anteil zur POM-Versorgung beitragen kann, muß der laterale POM-Transport von entscheidender Bedeutung sein. Die Muscheln können wahrscheinlich durch Filtration des bodennahen Wassers aktiv zur Deposition POM-reicher Partikel beitragen. Zudem wirken ihre Körper als Strömungswiderstand, an dem der laterale Wasserfluß gebrochen wird und Partikel in das Sediment eingetragen werden können.

In Abb. 57 sind die Porenwasserprofile der aus dem TVG entnommenen Sedimentkerne aufgetragen. Da die Oberfläche des TVG an den Kernentnahme-Positionen nicht mit Muscheln belegt war, kann nicht ausgeschlossen werden, daß einige cm Oberflächensediment bei der Probenahme verloren gingen. Obwohl die Kerne nur in wenigen dm Entfernung voneinander genommen wurden, sind besonders die Ammonium- und Phosphatgehalte extrem unterschiedlich. Eine so starke kleinräumige Variabilität ist nach unserem Kenntnisstand für Tiefseesedimente bisher nicht beschrieben worden. Sie wird wahrscheinlich durch das komplexe Transportgeschehen des Ventwassers bestimmt.

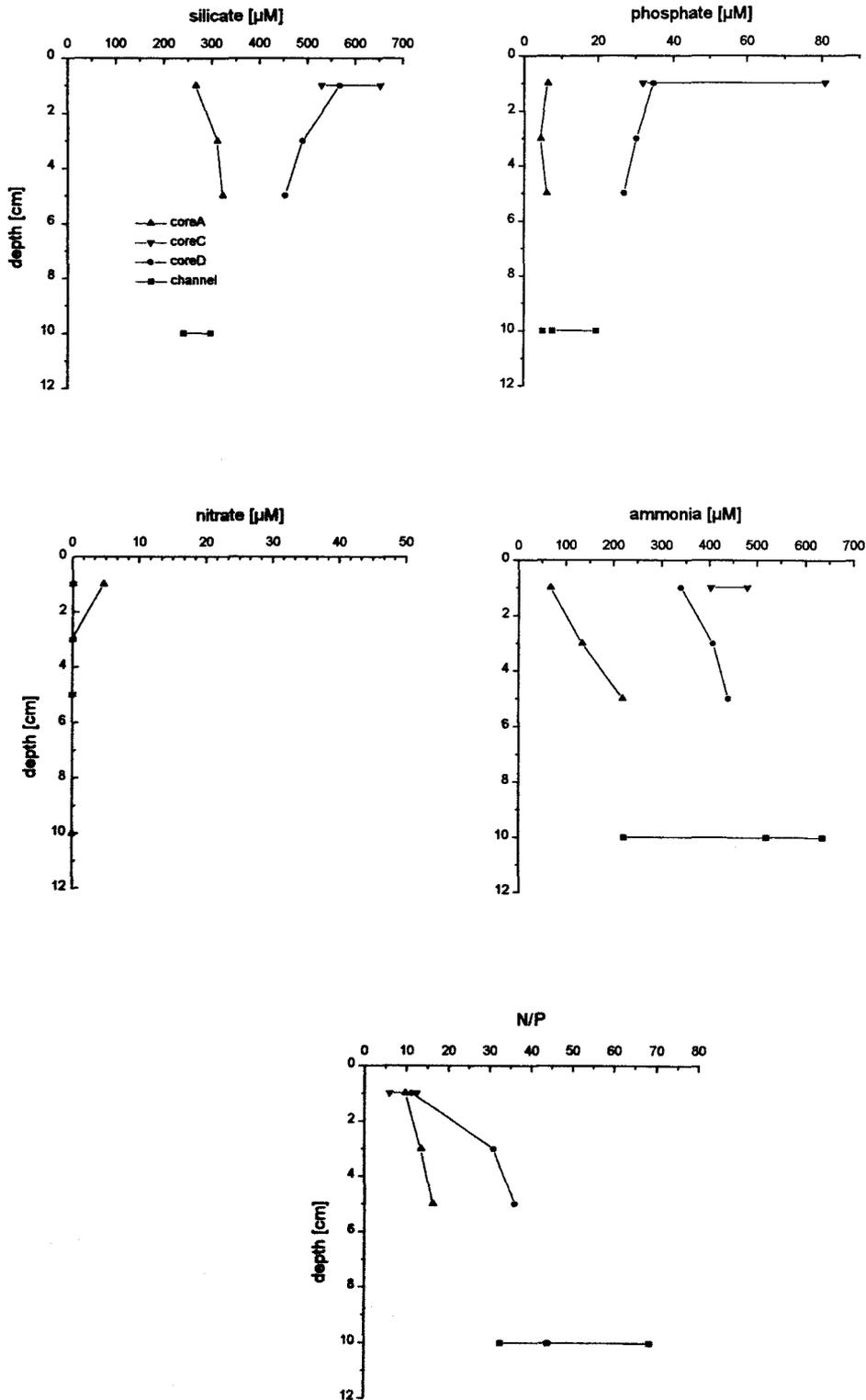
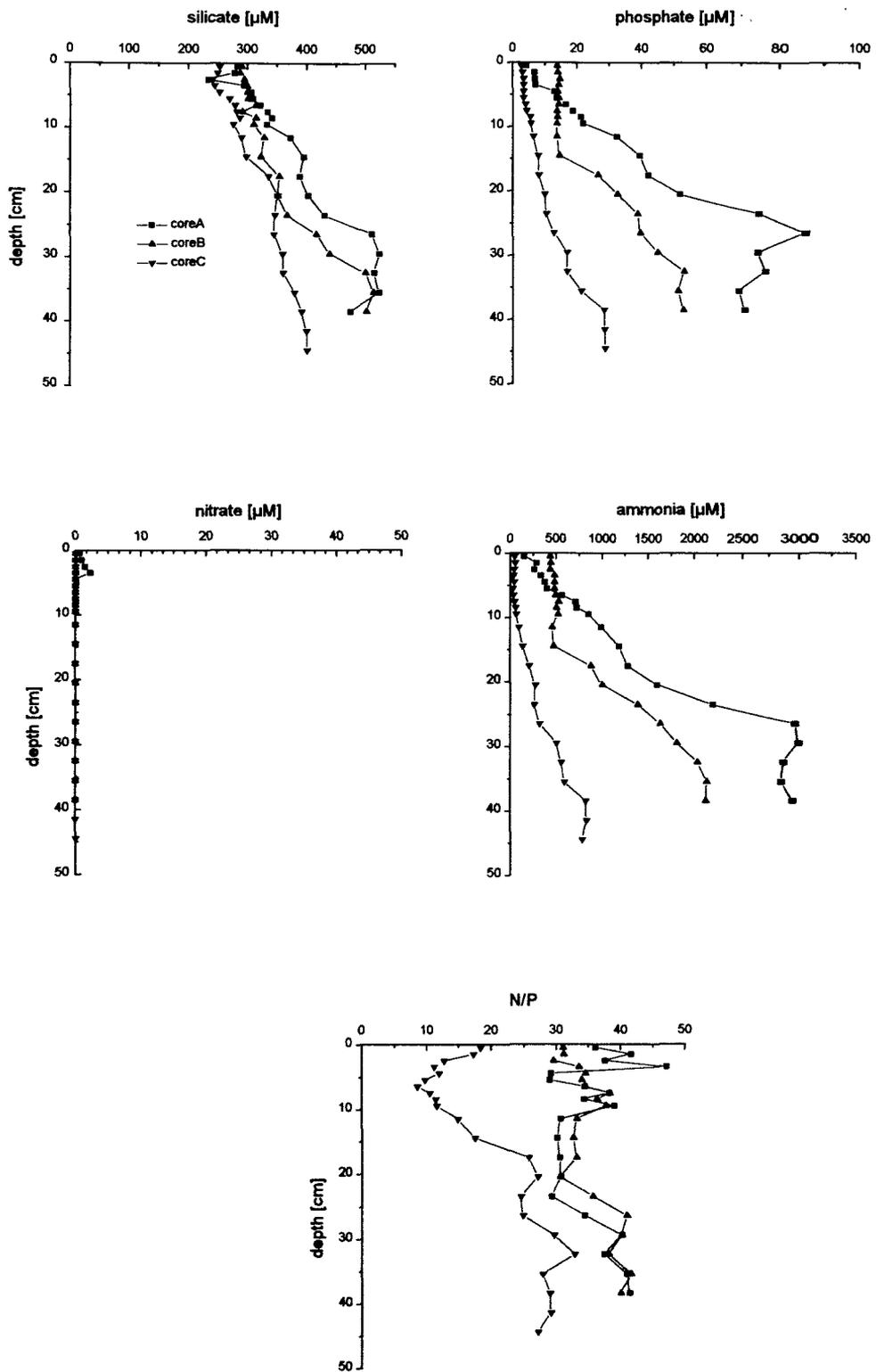


Abb. 56: Nährstoffkonzentrationen im Porenwasser der mit Muscheln belegten Oberflächensedimente und der als Gänge identifizierten Sedimente im TVG-SO97-66.



**Abb. 57:** Nährstoffkonzentrationen im Porenwasser der Sedimentkerne, die in den Positionen A, B und C im TVG-SO97-66 genommen wurden.

Die höchsten Ammonium- und Phosphatgehalte wurden im Kern A in ca. 30 cm Sedimenttiefe gefunden. Die Ammoniumkonzentration war hier um 1-2 Größenordnungen höher als an den MUC- und KAL-Referenzstationen. Das molare N/P-Verhältnis lag bei ca. 40, während an den Referenzstationen nur maximale Werte von 13 angetroffen wurden. Das hohe N/P-Verhältnis ist ein Merkmal von Ventfluiden, da P auf den langen Transportwegen durch die Bildung von phosphatischen Mineralen und die Phosphatsorption an Sedimentoberflächen verloren geht, während N an der Mineralneubildung nicht beteiligt ist und weniger starke sorptive Wechselwirkungen eingeht. Die N/P-Verhältnisse waren in allen drei Kernen signifikant höher als an den Referenzstationen und zeigen eine mehr oder weniger deutliche Vent-Wasser-Signatur (Abb. 57). Die Maxima im Kern A repräsentieren wahrscheinlich die Zusammensetzung der ungestörten Ventfluide.

Die Form der Profile in Abb. 57 zeigt, daß an keiner der beprobten Positionen ein gleichmäßig über die Fläche verteilter, von unten nach oben gerichteter Ventwassertransport stattfindet. Anhand von Transport-Modellen kann gezeigt werden, daß in diesem Fall, bei Strömungsgeschwindigkeiten von 0.1 - 1 cm/h und inertem Verhalten der Substanz, nur im oberen cm Konzentrationsgradienten auftreten können und im übrigen Profil konstante Konzentrationen anzutreffen sind, da die molekulare Diffusion wesentlich langsamer als die Advektion ist und nur an der Sediment/Wasser-Grenzschicht, bei einer großen Konzentrationsdifferenz zwischen Ventfluid und Bodenwasser, die Profilform beeinflussen kann. Die in allen Profilen (Abb. 57) über mehrere dm stark ausgeprägten Gradienten belegen, daß in den beprobten Sedimenten nicht der advective, sondern der diffusive Transport vorherrschend ist. Dieser Befund steht im Widerspruch zu den Ventbeprobungen mit dem VESP, bei denen Flußraten in der Größenordnung von 0.1 - 1 cm/h gefunden wurden. Es ist denkbar, daß der Wasserfluß auf kleine Kanäle begrenzt und konzentriert ist, die hier nicht erfaßt wurden. Die als Gänge identifizierten und beprobten Sedimente (Abb. 56) hatten wesentlich niedrigere Nährstoffgehalte als die Kerne A und B. Es ist also möglich, daß die Ventfluide bei ihrem Transport mit Bodenwasser und/oder autochthonen Porenwässern vermischt werden. Dabei kann die Bioturbation und Bioirrigation durch die Ventorganismen wesentlich zur Vermischung und zur Erzeugung von diffusiv geprägten Konzentrationsprofilen beitragen. Das komplexe Transportgeschehen soll durch die Messung der Lithium- und Barium-Konzentrationen im Porenwasser und mit Hilfe numerischer Transport-Reaktions-Modelle weiter untersucht werden.

Ein wichtiger Parameter für den Einfluß von Fluid-Advektionen in den beprobten Oberflächensedimenten und auch ein Hinweis auf die Biochemie der gefundenen Vent-Faunen ist der Gehalt an gelöstem und adsorbiertem Methan in den Sedimenten. Zu seiner Bestimmung wurden den mit Multicorer, Kastenlot und TV-Greifer gewonnenen Sedimenten insgesamt 45 Proben entnommen und zur späteren Analyse im Kieler Labor in flüssigem Stickstoff konserviert. Daneben wurden auch insgesamt 16 Stichproben aus 5 TV-Greifern (Stationen 22, 31, 39, 66 und 97) und einem Multicorer (Station 25) bereits an Bord auf ihren Methange-

halt untersucht. Hierzu wurden die Proben mit Hilfe eines sogenannten "Blender"-Systems (Faber und Stahl, 1983) unter Vakuum, Erhitzen, Rühren und Zugabe von Phosphorsäure entgast und ihr CO<sub>2</sub>-Anteil chemisch gebunden. Die Gasproben wurden anschließend mit einem *Shimadzu* FID-Gas-Chromatographen auf ihren Methan- und Ethangehalt analysiert. Die Ergebnisse aus den Gas-Analysen der Sediment-Stichproben in ng pro g Feuchtgewicht sind in Tabelle 14 zusammengefaßt. Methangehalte in der Größenordnung von 100-500 ppb werden häufig in suboxischen und oxischen Oberflächensedimenten gemessen (Whiticar und Faber, 1986; Lammers, 1994) und in diesem Zusammenhang als unbeeinflusste Referenz- oder Hintergrundkonzentration gewertet. Erhöhte Konzentrationen sind entsprechend nur in Sedimenten der Stationen 22, 66 und 97 festzustellen, wobei die TV-Greifer 22 und 66 ebenfalls beeindruckende Vent-Faunen zutage förderten. Der höchste Wert von 13600 ppb an der Station 97 (TV-Greifer) ist ein deutliches Anzeichen für advectierte, methanhaltige Fluide und wurde in einer Probe gemessen, die auch eine Präzipitatkruste enthielt. Neben der Tatsache, daß methanreiche Fluide an diesen Stellen die Sedimentoberfläche erreichen, ist in den Messungen an Station 66 auch eine engräumige horizontale Inhomogenität zu erkennen, die auf einen Fluidtransport entlang von nur cm bis dm messenden Zonen oder Kanälen hindeuten könnte.

Station	Tiefe [cm]	Methan [ppb]	Ethan [ppb]
97/22 (TVG)	2	150	n.d.
	45	2930	n.d.
97/25 (MUC)	1	120	n.d.
	11	160	n.d.
	21	120	n.d.
97/31 (TVG)	1	190	13
	31	240	10
97/39 (TVG)	2	110	n.d.
	25	120	n.d.
97/66 (TVG)	1	180	15
	21	700	22
	55	430	16
	55	3900	20
	55	5130	n.d.
97/97 (TVG)	Kruste	13600	n.d.
	Sediment	5900	n.d.

Tab. 14: Methan-Analysen von Sediment-Stichproben.

## **9 Sediment Profile Imagery**

John Faull

### **9.1 Introduction**

Macrofauna due to their abundance and size but particularly because of their physical activity cause reworking of the sediment. In the majority of biotopes, these processes are sufficiently important to cause a significant modification of the physical, chemical and biological properties of the sediment. Bioturbation is particularly important in the distribution of carbon and associated biogenic elements in the sedimentary column, the transformation of organic material, as well as for concentration gradients and diffusion rates of solutes at the sediment-water interface. It is evident that bioturbation is an important benthic process which must be quantified. Calculation and subsequent modelling of sediment biochemical diffusion coefficients relating to particle and solute flux across the sediment-water interface must take into account the likely effects of bioturbation.

Utilisation of the combined SPI and surface camera can provide a partial 3-D visualisation of sediment bioturbation processes. Analysis of SPI images yields information about sediment physical characteristics, sediment quality and benthic habitat complexity particularly the degree of faunal reworking in the study zones. The rapid deployment capability of the SPI facilitates a greater areal coverage of the study area than is possible with traditional sampling devices such as box or multi-corers.

This approach has already been tested successful in the Mediterranean. SPI is being used as a benthic reconnaissance tool in an EC funded MAST II programme "EUROMARGE", which is a study of particle transport mechanisms between the coastal zone and the deep sea in the NW Mediterranean. Preliminary results indicate large differences in inter-site bioturbation activity. In addition, the surface images contain animal traces, "Lebensspuren", whose description and quantification is of considerable interest to palaeontologists and sedimentologists.

This cruise aboard the RV SONNE gives us an opportunity (we do not have an Irish research vessel capable of deep sea work) to further asses the use of SPI in the deep sea and to provide comparative data for the deep water work already in progress in the Mediterranean. This will aid our ability to interpret images and will suggest further research for validation.

The discovery of cold water methane seeps is of considerable interest also. Sediment profile imagery has never been carried out (to our knowledge) in vent habitats; visual evidence of the strong physical gradient between vent and non-vent habitats (particularly if related to subsurface processes) would commend SPI as a useful survey tool in this type of habitat.

Additionally, for future work, we are very well equipped to handle video and photographic surveys of vent sites and are interested in further developing a small area benthic imaging system for use with properly orchestrated ROV or submersible vent surveys. The fine scale distribution of chemosynthetic symbionts, such as the vent mussel, *Bathymodilous* sp. at seeps is controlled by the presence of chemosynthetic substrate. The presence of these species is therefore qualitatively diagnostic of seeping fluids. Areas having intermittent or ephemeral seepage can be distinguished on the basis of live-dead ratios and size distributions in populations of mussels and other chemosynthetic bivalves (Vesicomidae) living at the sites. Because seepage frequently renders seismic records opaque, the use of biological indicators may offer the most reliable method of tracing seepage through the upper sediments.

## 9.2 Materials and Methods

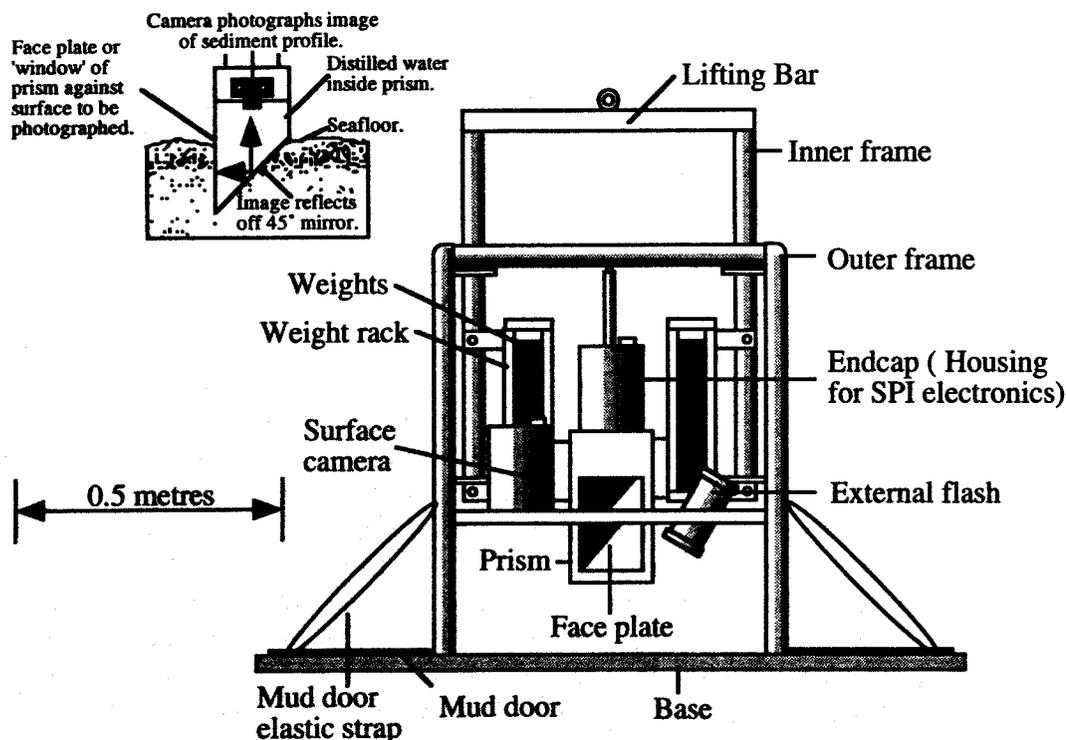
A remotely operated sediment profile camera is used to obtain in situ profile images of up to 20 cm of the top layers of sediment on the seafloor (Fig. 1). It differs from other under water cameras in that it vertically slices through the sediment-water interface and images the sediment section in profile. Functioning like an inverted periscope, it consists of a wedge-shaped prism with a plexiglass faceplate. Light is provided internally by a flash strobe and the back of the prism has a mirror mounted at a 45° angle. This reflects the image of the sediment-water interface at the faceplate up to the camera, which is housed on top of the prism. The camera-prism assembly is supported by an inner frame or cradle which can move relative to an outer supporting frame under control of a 'passive' hydrolic piston. There is a secondary camera (the surface camera) and flash unit, which is attached to the supporting frame and this provides an image looking vertically down at the sediment into which the prism will later penetrate.

The camera-prism assembly cradle can be moved up and down by producing tension or slack on the winch wire. As the camera is lowered to the seafloor, tension on the winch wire keeps the prism in the up position. A weight is attached, via a short piece of rope, to the triggering mechanism for the surface camera. When this weight lands on the bottom tension is taken off the rope and the secondary / surface camera is triggered. The supporting frame now lands on the bottom, leaving the area directly under it undisturbed. As the winch wire is slackened, the prism cradle descends toward the bottom at a controlled rate of fall (Fig. 2). The wedge-shaped prism enters the bottom and is driven into the sediment by its own weight. The piston ensures that the prism enters the bottom slowly and does not disturb the sediment-water interface. Additional lead weights can be attached to the prism cradle to assist prism penetration if required.

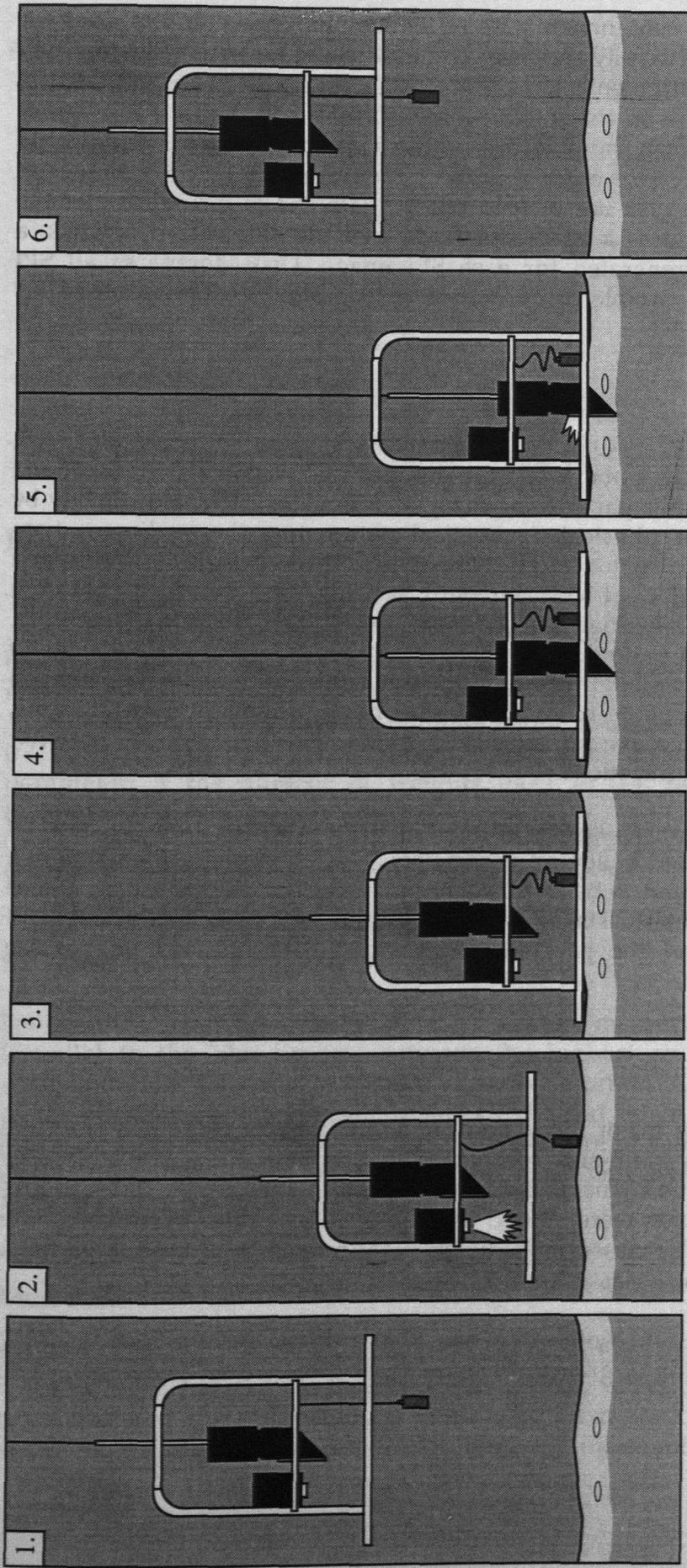
On impact with the bottom, a trigger activates a time delay on the camera shutter release and a photograph is taken when the prism comes to rest. Because the sediment is photographed directly against the face plate, turbidity of the ambient

seawater does not affect the image quality. After a photograph or image has been taken, tension on the winch wire raises the prism cradle to the up position, a wiper blade cleans off the faceplate, the film is advanced by motor drive, the strobe is recharged and then the whole procedure can be repeated for another image. There is a time delay on the surface camera to avoid accidental triggering while near the seafloor and so at least 100 seconds must elapse between each image but when this camera is not in use the interval is greatly reduced. In this manner the SPI assembly can be rapidly 'hopped' over the seabed and a series of images obtained at any one sampling location. After the camera is taken back on board a rubber ring records the maximum depth the camera had penetrated and a counter, on both cameras, records the number of successful images obtained.

Once the film has been exposed it can either be developed immediately if rapid real time images are required or it can be taken back to the laboratory for processing and computer image analysis. The images are developed as diapositives or negatives which are analysed as black and white images using a computer based digitiser. Diapositives or negatives are used for analysis instead of positive prints in order to avoid changes in image density that can accompany the printing of a positive image. The image analysis system can discriminate a wide range of different grey scales, so subtle features can accurately be digitized and measured.



**Fig. 58:** Representation of the remotely operated Sediment Profile Imagery camera and Surface Camera.



1. Deployed from boat.

2. Approaching seafloor, Secondary camera triggered, taking vertical image of seafloor.

3. On the seafloor.

4. 'Down' position transecting the sediment-water interface. SPI camera is triggered.

5. After a short time delay to allow full penetration SPI camera captures image.

6. The machine is raised from the seafloor and the process is repeated to obtain replicate images.

Fig. 59: Deployment of the Sediment Profile Imagery (SPI) camera.

Customised software in conjunction with an image analysis system is used for the analysis of a series of 21 physical, chemical and biological parameters on each image. Before all measurements from each SPI image are stored on disk, a summary display is made on the screen so the operator can verify if the values stored in memory for each variable are within expected range; if anomalous values are detected, software options allow remeasurement before storage on disk. All data stored on disk are printed out on data sheets for editing by the principal investigator and as a hard-copy backup of the data stored on disk; a separate data sheet is generated for each SPI image. Disk storage of all SPI parameters allows any variable of interest to be compiled, sorted, graphed, or compared statistically.

### **Data analysis**

A great deal of information about benthic processes is available from sediment profile images. Measureable parameters, many of which are calculated directly by image analysis, include physical / chemical parameters (i.e. sediment type measured as grain size major mode, prism penetration depth providing a relative indication of sediment shear strength, sediment surface relief, condition of mud clasts, redox potential discontinuity depth and degree of contrast, sediment gas voids) and biological parameters, i.e. infaunal successional stage of a well documented successional paradigm for soft marine sediments (see Pearson and Rosenberg, 1978), degree of sediment reworking, dominant infaunal type, epifauna and infauna, apparent species richness, depth of faunal activity, presence of microbial aggregations.

A multi-parameter organism-sediment index (OSI) is calculated on the basis of the measured physical and biological parameters. This index characterises habitat quality and has been found to be an excellent parameter for mapping disturbance gradients and the health status of the seabed. Specific analytical and interpretative aspects of the parameters measured from the SPI images are outlined below.

### **Sediment type determination.**

The sediment grain-size major mode and range are visually estimated from the images by overlying a grain-size comparator which is at the same scale. The comparator was prepared by using the SPI camera to photograph a series of pre-prepared sediments which were graded according to the Udden-Wentworth size classification scheme. The classes of sediment used ranged from mud to granule. There are seven grain-size classes on the comparator, i.e.

The lower limit of optical resolution of the photographic system is about 0.062 mm, allowing recognition of grain-sizes equal to or greater than coarse silt. The

accuracy of the method has been documented by comparing the SPI estimates with grain-size statistics determined from laboratory sieve analysis.

<u>Grain size (mm)</u>	<u>phi* value (Ø)</u>	<u>Description of sediment</u>
<0.063 mm	≥ 4	Silt clay
0.063 - 0.125 mm	4 to 3	Very fine sand
0.125 - 0.250 mm	3 to 2	Fine sand
0.250 - 0.500 mm	2 to 1	Medium sand
0.500 - 1.000 mm	1 to 0	Coarse sand
1.000 - 2.000 mm	0 to -1	Very coarse sand
>2.0 00mm	< -1	Gravel

\* phi (Ø) is - log<sub>2</sub> of the particle size in millimetres.

**Tab. 15:** Sediment grain size classification used in SPI image analyses.

### **Prism penetration depth**

The SPI prism penetration depth is determined by measuring both the largest and smallest linear distance between the sediment-water interface and the bottom of the film frame. The SPI analysis software automatically averages these maximum and minimum values to determine the average penetration depth. All three values, (maximum, minimum and average penetration depth) are included on the data sheets. Prism penetration is potentially a noteworthy parameter; if the number of weights used in the camera is held constant throughout a survey, the camera functions as a static load penetrometer. Comparative values from sites of similar grain-size give an indication of the relative sediment bearing capacity or shear strength.

### **Sediment boundary roughness**

Sediment boundary roughness is determined by measuring the vertical distance (parallel to the film border) between the highest and lowest points of the sediment-water interface. In addition, the likely origin (e.g. physical or biogenic) of this small-scale topographic relief is indicated when it is evident. In sandy sediments, boundary roughness can be a measure of sand wave height. On silt-clay bottoms, boundary roughness values often reflect biogenic features such as fecal mounds or surface burrows.

### **Mud clasts**

When fine-grained, cohesive sediments are disturbed, either by physical bottom scour or faunal activity (e.g. decapod foraging), intact clumps of sediment are often scattered about the seafloor. These mud clasts can be seen at the sediment-water interface in SPI images. During analysis, the number of clasts is counted,

the diameter of a typical clast is measured, and their oxidation state is assessed. Depending on their place of origin and the depth of disturbance of the sediment column, mud clasts can be reduced or oxidised (in SPI images, the oxidation state is apparent from their reflectance value; see 'Apparent redox potential discontinuity depth' section below). Also, once at the sediment-water interface, these sediment clumps are subject to bottom-water oxygen levels and bottom currents. Based on laboratory microcosm observations of reduced sediments placed within an aerobic environment, oxidation of reduced surface layers by diffusion alone is quite rapid, occurring within 6-12 hours. Consequently, the detection of reduced mud clasts in an obviously aerobic setting suggests a recent origin. The size and shape of the mud clast, e.g. angular versus rounded, is also considered. Mud clasts may be moved about and broken up by bottom currents and/or animals (micro- or meiofauna) (Germano, 1983). Over time, large angular clasts become small and rounded. Overall, the abundance, distribution, oxidation state and appearance of mud clasts are used to make inferences about the recent pattern of seafloor disturbance in an area.

### **Apparent redox potential discontinuity (RPD) depth**

In fine-grained coastal areas, when there is oxygen in the overlying water column, the near surface sediment will have a higher reflectance value relative to hypoxic or anoxic sediment underlying it. This is because the oxidised surface sediment contains particles coated with ferric hydroxide (an olive colour when associated with particles), while the sulphidic sediments below this oxygenated layer are grey or black. The boundary between the coloured ferric hydroxide surface sediment and underlying grey to black sediment is defined here as the apparent redox potential discontinuity depth (abbreviated as the RPD). This 'apparent' RPD depth, may or may not be equivalent to the actual RPD depth, which is defined as the depth at which the  $E_h = 0$  as measured by microelectrodes. As explained below, in most cases, the depth of  $E_h = 0$  potential in the sediment differs from the 'apparent' RPD as imaged by SPI.

The difference between the true RPD ( $E_h=0$ ) and the 'apparent' RPD can be explained as follows. As dissolved oxygen diffuses into sediment pore water, it is consumed by a variety of biological and geochemical reactions. One of these reactions involves the oxidation of iron which is precipitated onto mineral grains located at, or near, the sediment surface. Once oxidised, these ferric hydroxide-coated particles are bioturbated downward into pore waters which lack free molecular oxygen (negative  $E_h$ ). However, the ferric hydroxide coatings are metastable, and reduction of the iron is a slow process relative to the rate of bioturbation. This explains the presence of oxidised grain coatings (high reflectance sediment) in reducing pore waters. In the presence of bioturbating infauna, the thickness of the RPD directly reflects the particle bioturbation depth.

The areal extent of the RPD is determined by digitizing its unique reflectance value. This oxidised, high-reflectance area is digitized, measured to scale and

divided in the prism window width to obtain a mean depth for the RPD (or particle bioturbation depth). The RPD depth is given special attention in these analyses, because it is a sensitive indicator of the biological mixing depth, infaunal successional status and within-station sediment patchiness. In the absence of bioturbating infauna, the RPD will achieve a maximum depth of up to 5 mm solely by diffusion depending on the concentration gradient of dissolved oxygen, reducing substrates within the sediment, water temperature (reaction rates) and sediment permeability.

The configuration of the RPD boundary layer is also of significance. In sandy sediments, physical forces dominate surface relief and the RPD depth which tends to be constant or uniform, does not necessarily follow the surface contours provided by the bedforms. In muddy sediments, the RPD is more complex and convoluted. Here, the RPD layers tend to be broadly uniform and more or less follow the contours of the surface sediment. However, smaller scale convolutions are superimposed on this pattern in response to biogenic reworking by a resident infauna. Biogenic structures are regions of enhanced biological and geochemical activity where the activities of infaunal organisms can increase flux across the oxic-anoxic sediment interface (Diaz and Schaffner, 1988). Consequently, the RPD boundary is a complicated surface much greater in actual area than a simple areal measurement would estimate and with a greater affect on sediment-water interface flux rates than is initially apparent (Diaz and Schaffner, 1988).

Another important characteristic of the RPD is the degree of contrast in reflectance values at this boundary. This contrast is related to the interactions among the amount of organic-loading and bioturbational activity in the sediment and the levels of bottom water dissolved oxygen in an area. High inputs of labile organic material increase sediment oxygen demand and subsequently sulphate reduction rates (and the abundance of sulphide end-products). This results in a more highly reduced (lower-reflectance) sediment at depth and higher RPD contrasts. Although the SPI image analysis system quantifies the degree of contrast, this value can vary as a function of light intensity controls on the image analysis system which are adjusted by the operator when a wide range of sediment types (e.g. silt-clay to coarse sand) is encountered. As a result, the quantified RPD contrast level may not be a meaning parameter. However, a qualitative (visual) assessment of the RPD contrast (i.e. high versus low) is often considered in the interpretative process.

### **Sediment methane**

At extreme levels of organic-loading, pore-water sulphate is depleted and methanogenesis occurs. The process of methanogenesis is detected by the appearance of methane bubbles in the sediment column. These gas-filled voids are readily discernible because of their irregular, generally circular aspect and

glassy texture (due to the reflectance of the strobe of the gas). If present, the number and total areal coverage of all methane pockets is measured.

### **Infaunal succesional stage**

The mapping of succesional stages is based on the theory that organism-sediment interactions follow a predictable sequence after seafloor perturbation. This theory states that primary succession results in the predictable appearance of macrobenthic invertebrates belonging to specific functional types following a benthic disturbance. These invertebrates interact with sediment in specific ways. Because functional types are the biological units of interest, this definition does not demand a sequential appearance of particular invertebrate species or genera. This theory is now well established in the scientific literature ( see Pearson and Rosenberg, 1978; Rhoads and Boyer, 1982; Rhoads and Germano, 1986 ).

The term disturbance is used here to define natural processes, such as seafloor erosion, changes in seafloor chemistry, foraging disturbances which cause major reorganization of the resident benthos, or anthropogenic impacts, such as dredged material or sewage sludge dumping, thermal effluents from power plants, pollution impacts from industrial discharge etc. An important aspect of using this succesional approach to interpret benthic monitoring results is relating organism-sediment relationships to the dynamical aspect of end-member seres. This involves deducing dynamics from structure, a technique pioneered by Johnson (1972) for marine soft-bottom habitats. The application of an inverse methods approach to benthic monitoring requires the *in situ* measurements of salient structural features of the organism-sediment relationships through SPI technology.

Pioneering (Stage I) species are the first to colonise a new or newly disturbed bottom and reach high densities in a short time. Pioneering (Stage I) assemblages usually consist of dense aggregations of tubicolous or otherwise sedentary organisms that live near the sediment surface and feed at the surface or from the water column (Pearson and Rosenberg, 1978 ; Rhoads and Germano, 1986). *Capitella capitata*, *Malacoceros fuliginosus* and Spionidae species are typical forms. These functional types are usually restricted to the near surface of the bottom and their sedimentary affects include (i) the construction of dense tube aggregations which can influence sedimentation/erosion, (ii) deepening of the redox boundary by fluid bioturbation and (iii) the occlusion of the sediment surface with faecal pellets. These associations are typically characterised by a shallow redox boundary and shallow bioturbation depths, particularly in the earliest stages of colonization.

In the absence of further physical, chemical or biological disturbance, the pioneering assemblages are replaced by subsurface deposit feeders. This is progressive and can be arbitrarily divided into an intermediate and an

equilibrium phase (Stage II and III, respectively). Typical Stage II species are shallow dwelling bivalves, tubicolous amphipods and some polychaete species.

Stage III taxa, in turn, represent high-order successional stages typically found in disturbance regimes. A Stage III or equilibrium assemblage is persistent and is dominated by a bioturbating infauna which feed at depth within the sediment. Sedimentary effects are distinctive and include (i) the transfer of water and particles over vertical distances of 10-20 cm, (ii) the production of homogeneously mixed fabrics by intensive reworking, with faecal pellets at and below the sediment surface, (iii) the creation of void feeding spaces at depth within the bottom, (iv) the extension of the redox boundary to c. 20cm and (v) the production of a distinctive surface microtopography unless smoothed out by physical (i.e. water currents) resuspension.

Such deep-dwelling species include the polychaetes, *Pectinaria* sp., Maldanidae sp., the echinoderm, *Trachythyone elongata*, *Amphiura* sp. and *Echinocardium* sp. and the crustaceans *Lysiosquilla* sp., *Nephrops* sp. and *Upogebia* sp.. Many feed at depth in a head-down orientation and the localised feeding activity results in distinctive excavations called feeding voids. Diagnostic features of these feeding structures include: a generally semicircular shape with a flat bottom and arched roof and a distinctive granulometric change in the sediment particles overlying the floor of the structure. This relatively coarse grained material represents particles rejected by the head-down deposit feeder. These deep dwelling infaunal taxa preferentially ingest the finer sediment particles. In the retrograde transition of Stage II to Stage I it is possible to recognise the presence of relict (i.e. collapsed and inactive) feeding voids. (It should be added to the above generalisations that pioneering and higher successional species may coexist, if disturbance involves only superficial sediment layers.)

These end member stages (Stage I and III) are easily recognised in SPI images by the presence of dense assemblages of near surface polychaetes and/or the presence of subsurface feeding voids. Both types of assemblages may be present in the same image.

### **Additional biological parameters**

Several additional biological parameters are measured from negatives using the computer image analysis system. These include: the density per linear cm of polychaete and/or amphipod tubes at the sediment-water interface, the minimum and maximum depth of faecal pellet layers, the minimum and maximum depth of feeding voids, dominant faunal types (i.e. epifauna or infauna) and apparent species richness.

**SPI Organism-Sediment index (OSI)**

A multi-parameter SPI Organism-Sediment index (OSI) has been constructed to characterize habitat quality and the method of its calculation is shown in Tab. 16.

The OSI is the sum of values allocated to the various physical/chemical and biological SPI parameters measured and it has a potential of -10 to +11. The Organism-Sediment index is calculated automatically from the software after completion of all measurements from each image. This index has been found to be an excellent parameter for mapping disturbance gradients in an area and documenting eco-system recovery after disturbance.

Habitat quality is defined relative to end-member standards. The lowest value given to those bottoms which have low dissolved oxygen in the overlying bottom water, no apparent macrofaunal life and methane gas present in the sediment. The SPI OSI value for such a condition is -10. At the other end of the scale, an aerobic bottom with a deeply depressed RPD, evidence of a mature macrofaunal assemblage and no apparent methane gas bubbles at depth will have a SPI OSI value of +11.

<b>Chemical parameters</b>	<b>Index value</b>	<b>Biological parameters</b>	<b>Index value</b>
Mean apparent RPD depth (cm)		Successional stage (Primary succession)	
0	0	Azoic	-4
> 0 - 0.75	1	Stage I	1
0.76 - 1.50	2	Stage I to II	2
1.51 - 2.25	3	Stage II	3
2.26 - 3.00	4	Stage II to III	4
3.01 - 3.75	5	Stage III	5
> 3.75	6	(Secondary succession)	
Methane present	-2	Stage I on Stage II	5
No/low oxygen	-4	Stage II on Stage III	5

**Tab. 16:** Method of calculating the SPI Organism-Sediment index (OSI) value.

From experience with mapping this parameter, values of +7 to +11 are typical of undisturbed sediments  $\leq +6$  tend to be found at sites which have experienced recent physical disturbance (e.g. bottom erosion by currents or disturbance of the bottom by scavenging fish or crustaceans) or are chemically stressed, organically loaded, sulphic or contaminated in some way. In dealing with areas which have organic enrichment (which may have a variety of origins ranging from natural runoff to anthropogenic inputs), OSI values in the range +6 to +1 generally indicate an overload situation where inputs exceed the capacity of the system and organic mater accumulates at the bottom. Index values which fall in the range +1 to -10 indentify varying degrees of habitat degradation associated with the

continual accumulation of organic matter and oxygen depletion on the bottom. At the upper end of the scale, it has been found that OSI values at or near +11 may reflect a productivity enhancement stage of organic enrichment where natural plant and animal production is increased in response to the ready availability of particulate organic matter.

### 9.3 Results

Seventeen stations were surveyed using SPI (see Tab. 17 & Fig. 60 for locations). It was not possible to survey any of the vent sites as the current SPI camera is limited to working in waters 3000 m in depth (the surface/secondary camera is limited to 1500 m). (By mid 1995 a new digital SPI camera will be available which will be able to work down to 5000 m (both cameras).)

Transect lines were selected in the three areas studied during this cruise (EDGE, ALBATROSS & SHUMAGIN ) and the stations were chosen along these. The surface camera was used where the depth allowed it and the number of images taken at each station varied from 25 to as low as 5 (due to time constraints). It was not possible to fully analyse these images onboard ship so the exposed films will be developed and analysed at a later date.

Station	Date	Location	Depth (m)	Latitude (°N)	Longitude (°W)
E1	29.7.94	EDGE	140	58°32.83'	148°29.39'
E2	29.7.94	EDGE	1370	58°11.14'	148°29.39'
E3	2.8.94	EDGE	2780	57°40.52'	148°11.96'
E4	9.8.94	EDGE	117	57°39.96'	150°21.99'
E5	9.8.94	EDGE	245	57°38.61'	150°09.19'
E6	9.8.94	EDGE	400	57°37.44'	149°58.57'
E7	9.8.94	EDGE	1450	57°35.47'	149°29.45'
E8	9.8.94	EDGE	2420	57°33.58'	149°05.97'
A1	8.8.94	ALBATROSS	3000	56°21.47'	151°52.09'
A2-a	8.8.94	ALBATROSS	410	56°30.21'	151°59.73'
A2-b	8.8.94	ALBATROSS	370	56°30.73'	151°59.67'
A3	8.8.94	ALBATROSS	95	56°35.23'	152°04.79'
S1	18.8.94	SHUMAGIN	2245	54°37.53'	157°20.68'
S2	18.8.94	SHUMAGIN	1835	54°33.63'	157°12.25'
S3	22.8.94	SHUMAGIN	2450	54°02.72'	160°55.66'
S4	22.8.94	SHUMAGIN	1150	54°00.59'	161°22.13'
S5	22.8.94	SHUMAGIN	750	54°03.65'	161°27.28'
S6	22.8.94	SHUMAGIN	150	54°09.80'	161°33.79'

**Tab. 17:** Station locations surveyed by SPI during the FS SONNE SO-97 vent survey in the NE Pacific.

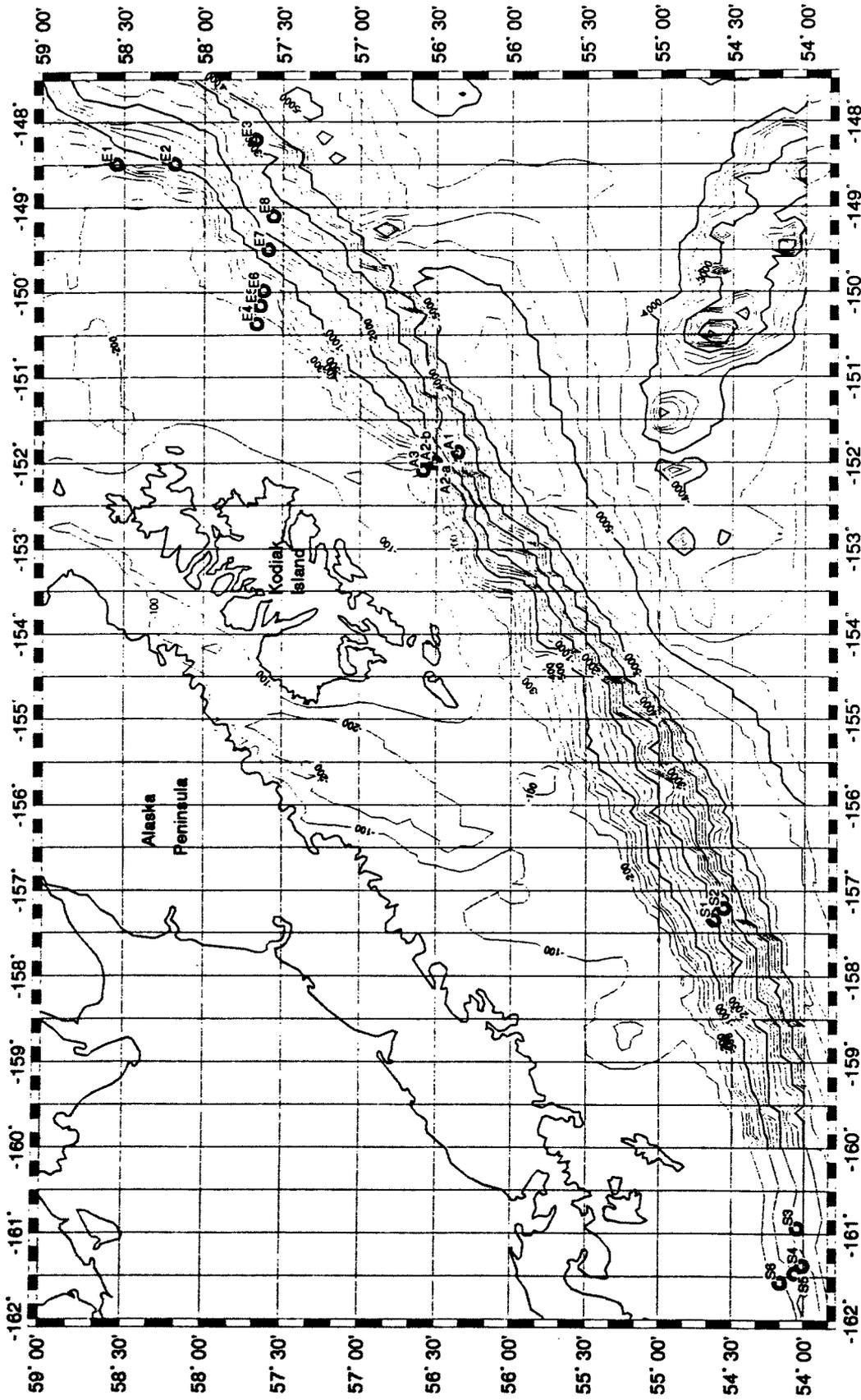


Fig. 60: Location of stations surveyed by SPI during the RV Sonne SO-97 cruise in the Gulf of Alaska, August 1994.

**10. Literatur**

- Bourgeois, J., Lagabrielle, Y., De Wever, P., and Suess, E. and NAUTIPERC Team (1993). Tectonic history of a non-accreting active margin during the past 400 ka. *Geology*, 21: 531-534.
- Bruns, T.R., von Huene, R., Culotta, R.C., Lewis, S.D., and Ladd, J.W. (1987). Geology and petroleum potential of the Shumagin Margin, Alaska. In: Scholl, D.W., Grantz, A., and Vedder, J.G. (eds.), *Geology and Resource Potential of the Continental Margin of Western North America and Adjacent Ocean Basins-Beaufort Sea to Baya California: Houston, Texas, Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Science Series*, 6: 157-190.
- Carson et al. (1993). *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Init. Repts. 146, College Station (Ocean Drilling Program)*.
- Carson, B., and ODP Leg 146 Scientific Party (1993a). ODP Leg 146 examines fluid flow in Cascadia Margin. *EOS* 74 (31): 345-347.
- Carson, B. et al. (1993b). *Proceedings of the Ocean Drilling Program. Init. Repts. 146, College Station (Ocean Drilling Program)*.
- COSOD II (1987). *Report of the Second Conference on Scientific Ocean Drilling. European Science Foundation, Strasburg, 142 pp.*
- DeMets, C., Gordon, R.G., Argus, D.F., Stein, S. (1990). Current plate motions: *Geophys. J. Int.*, 101: 425-478.
- Diaz, R.J., and Schaffner, L.C. (1988). Comparison of sediment landscapes in Chesapeake Bay as seen by surface and profile imaging. In: Lynch, M.P. & Krome, E.C. (eds.). *Understanding the estuary: advances in chesapeake Bay research. Pub. 129,CBP7TRS 24788. Chesapeake Research Consortium, Solomons, Md.: 222-240.*
- Faber, E., and Stahl, W. (1983). Analytic procedure and results of an isotope geochemical surface survey in an area of the British North Sea. In: Brooks, J. (ed.), *Petroleum Geochemistry and Exploration in Europe*, pp 51-63, Blackwell Scientific Publications.
- Flüh, E., von Huene, R. et al. (1994). *Fahrtbericht SO96, KODIAKSEIS, (Hong Kong-Kodiak-Kodiak: 09.06.-26.07.94), 210 Seiten.*
- Gerlach, S.A. und Graf, G. (1991). *Europäisches Nordmeer, Reise Nr. 13, 6. Juli - 24. August 1990. METEOR-Berichte, Universität Hamburg, 91-2.*

- Germano, J. (1983). Infaunal Succession in Long Island Sound : animal sediment interactions and effects of predation. Ph. D. Thesis. Yale University, New Haven, CT. 142 pp.
- Johnson, R.G. (1975). Conceptual models of benthic marine communities. In: *Models in Palaeobiology*. Schopf, T.J.M. (ed.). San Francisco. Freeman, Cooper and Company, 148-159.
- Kulm, L.D., Suess, E., Moore, J.C., Carson, B., Lewis, B.T., Ritger, S.D., Kako, D.C., Thornburg, T.M., Embley, R.W., Rugh, W.D., Massoth, G.J., Langseth, M.G., Cochrane, G.R., and Scamman, R.L. (1986). Oregon margin subduction zone: Geological framework, fluid venting, biological communities, and carbonate lithification observed by deep submersible. *Science*, 231: 561-566.
- Kulm, L.D., von Huene, R., et al. (1973). Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, U.S. Government Printing Office, 1077 p.
- Lammers, S. (1994). Methane cycling in the marine environment. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität, Kiel.
- Lammers, S., and Suess, E. (1994). An improved headspace analysis method for methane in seawater. *Marine Chemistry* (in press).
- Lewis, S., Behrmann, J. et al. (1993). Proceedings of the Ocean Drilling Program, Init. Repts. 141, College Station (Ocean Drilling Program).
- Linke, P., Suess, E., Torres, M., Martens, V., Rugh, W.D., Ziebis, W., and Kulm, L.D. (1994). In situ measurement of fluid flow from cold seeps at active continental margins. *Deep-Sea Research*, 41: 721-739.
- Moore, J.C., Diebold, J., Fisher, M.A., Sample, J., Brocher, T., Talwani, T., Ewing, J., von Huene, R., Rowe, C., Stone, D., Stevens, C., Sawyer, D. (1991). EDGE seismic reflection transect of the eastern Aleutian arc-trench layered lower crust reveals underplating and continental growth. *Geology*, 19: 420-424.
- Pearson, T., and Rosenberg, R. (1978). Macrobenthic succession relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 16 : 229 - 331.
- Rhoads, D., and Boyer, L. (1982). The effects of marine benthos on physical properties of sediments. In: P. McCall and M. Tevesz (Eds.) *Animal Sediment Relations*. Plenum Press, New York: 3 - 52.
- Rhoads, D., and Germano, J. (1986). Interpreting long-term changes in benthic community structure: a new protocol. *Hydrobiologia* 142: 291 - 308.

- Schmitt, M., Faber, E., Botz, R., and Stoffers, P. (1991). Extraction of methane from seawater using ultrasonic vacuum degassing. *Analytical Chemistry*, 63: 529-531.
- Stevenson, A.J., and Embley, R. (1987). Deep-sea fan bodies, terrigenous turbidite sedimentation, and petroleum geology, Gulf of Alaska. In: Scholl, D.W., Grantz, A., and Vedder, J.G. (eds.); *Geology and Resource Potential of the Continental Margin of Western North America and Adjacent Ocean Basins-Beaufort Sea to Baya California: Houston, Texas, Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Science Series*, 6: 157-190.
- Stevenson, A.J., Scholl, D.W., Vallier, T. (1987). Tectonic and geologic implications of the Zodiac fan, Aleutian abyssal plain: *Geol. Soc. Am. Bull.*, 94: 259-273.
- Suess, E., Carson, B., Ritger, S.D., Moore, J.C., Kulm, L.D., and Cochrane, G.R. (1985). Biological communities at vent sites along the subduction zone off Oregon: In: Jones, M.L. (ed.); *The Hydrothermal Vents of the Eastern Pacific: An overview. bull. Biol. Soc. Washington*, 6: 475-484.
- Suess, E., von Huene, R., et al. (1990). *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Sci. Results 112, College Station (Ocean Drilling Program)*, 738 pp.
- Suess, E. (1992). FS SONNE - Fahrtbericht SO 78; Peruvent. GEOMAR-Forschungszentrum für marine Geowissenschaften, Kiel.
- Suess, E. und V. Altenbach, A. (1992). *Europäisches Nordmeer, Reise Nr. 17, 15. Juli - 29. August 1991. METEOR-Berichte, Universität Hamburg*, 92-3.
- Suess, E., Kremling, K. und Mienert, J. (1994). *Nordatlantik 1993, Cruise No. 26, 15. August - 26. November 1993. METEOR-Berichte, Universität Hamburg*, 94-4.
- Taira, A., Hill, I., et al. (1991). *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Init. Repts. 131, College Station (Ocean Drilling Program)*.
- Tobin, H.J., Moore, J.C., MacKay, M.E., Orange, D.L., Kulm, L.D. (1993). Fluid flow along a strike-slip fault, at the toe of the Oregon accretionary prism Implications for the geometry of frontal accretion; *Geol. Soc. Am. Bull.*, 105: 569-582.
- Tomczak, M., and Godfrey, J.S. (1994). *Regional Oceanography; An Introduction: pp 422, Pergamon Press*.
- von Huene, R. (1989). Continental margins around the Gulf of Alaska. In: Winterer, E.L., Hussong, D.M., and Decker, R.W. (eds.). *The Eastern Pacific*

Ocean and Hawaii: Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America, 383-401.

- von Huene, R. (1989). Continental margins around the Gulf of Alaska. The Geology of North America, Vol. N. The Eastern Pacific Ocean and Hawaii. The Geological Society of America.
- von Huene, R., and Scholl, D. (1991). Observations at convergent margins concerning sediment subduction, subduction erosion, and the growth of continental crust. American Geophysical Union, Reviews of Geophysics, 29 (3): 279-316.
- von Huene, R., Bruns, T.R., and Childs, J. (1986). Aleutian Trench, Shumagin segment, seismic section 104, part I. In: von Huene, R. (ed.). Seismic images of modern convergent margin tectonic structure: American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology, 26: 14-17.
- von Huene, R., Fisher, M.A., and Bruns, T.R. (1987). Geology and evolution of the Kodiak margin, Gulf of Alaska. In: Scholl, D.W., Grantz, A. and Vedder, J.G. (eds.), Geology and Resource Potential of the Continental Margin of Western North America and Adjacent Ocean Basins-Beaufort Sea to Baya California: Houston, Texas, Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Science Series, 6:191-212.

**Teil II:**

**Fahrtabschnitt SO97-2 vom 24.08.94 - 05.09.94**

**Dutch Harbor - Tokyo**

Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>135</b>
<b>1.1</b>	<b>Zielsetzung</b> .....	<b>136</b>
<b>1.2</b>	<b>Beschreibung des Untersuchungsgebietes</b> .....	<b>136</b>
<b>2.</b>	<b>Eingesetzte Methoden und Geräte</b> .....	<b>137</b>
<b>3.</b>	<b>Fahrtverlauf</b> .....	<b>138</b>
<b>4.</b>	<b>Durchführung der Messungen und Ergebnisse</b> .....	<b>139</b>
<b>4.1</b>	<b>HYDROSWEEP- und PARASOUND-Vermessung</b> .....	<b>139</b>
<b>4.2</b>	<b>Magnetik</b> .....	<b>151</b>
<b>5.</b>	<b>Interpretation und Ausblick</b> .....	<b>154</b>
<b>6.</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>156</b>

## 1. Einleitung

### 1.1 Zielsetzung

N. Kukowski

Das Ziel des Fahrtabschnittes SO97-2 war eine bathymetrische und magnetische Vermessung im Bereich des Übergangs vom Kurilen Graben zum Japan Graben. In diesem Gebiet wurde bei früheren Vermessungen (Cadet et al., 1987) eine sichelförmige Einbuchtung entdeckt, als deren Ursache die Subduktion eines Seamounts vermutet wurde (von Huene and Lallemand, 1990). Vor allem die sehr steilen Hänge dieser ungefähr halbkreisförmigen Öffnung sollten sorgfältig auskartiert werden, da das Untersuchungsgebiet auch Ziel von Tauchfahrten mit dem japanischen Tauchboot SHINKAI 6500 im Rahmen eines deutsch-japanischen Gemeinschaftsprojektes im nächsten Jahr ist, für die die hier akquirierten Daten eine grundlegende, unverzichtbare Voraussetzung darstellen. Die Vermessung soll nach NW hin kontinentwärts fortgesetzt werden, um zu ermitteln, wie weit sich Deformationsstrukturen, die auf kompressive Kräfte zurückzuführen sind, über den Kontinentalhang hinweg verfolgen lassen.

### 1.2 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Entlang des Kurilen Grabens und des Japan Grabens wird die pazifische Platte mit einer Konvergenzrate von etwa 86 mm pro Jahr unter die nordamerikanische (bzw. eurasische) Platte subduziert (Ogawa et al., 1992). Während die kurilische Streichrichtung etwa NE-SW verläuft, ist das japanische Streichen durch eine nahezu nordsüdliche Richtung gekennzeichnet. Die Übergangszone befindet sich querab SE vor Hokkaido, auf einer vom Kap Erimo bis zum Erimo Seamount verlaufenden Linie. Der Erimo Seamount, dessen Alter nach seiner magnetischen Charakteristik (positive Anomalien in der südöstlichen Hälfte, negative auf der gegenüberliegenden, die dem "Musterwechsel" M8 zuzuordnen sind) und K-Ar Bestimmungen bei etwa 90 - 120 Mill. Jahren liegt (Cadet et al., 1987) und der demnach nach seiner Entstehung nahe des Spreadingcenters mit der Platte gewandert ist, befindet sich auf der ozeanischen Platte direkt vor der Grenze vom Kurilen- zum Japan trench. Nordwestlich von ihm befindet sich eine halbkreisförmige Einbuchtung im unteren Kontinentalhang mit sehr steilen Wänden, die als Spur eines gerade subduzierten Seamounts interpretiert wird (von Huene and Lallemand, 1990).

Sowohl der kurilische als auch der japanische Kontinentalhang sind durch drei morphotektonische Einheiten gekennzeichnet (Cadet et al., 1987, Ogawa et al., 1992). Am japanischen Kontinentalhang folgt auf den relativ steilen unteren Hang die nahezu ebene Terrasse des mittleren Hangs, dann der sanft geneigte obere Hang. Am kurilischen Kontinentalhang weist der untere, etwa 30 km breite Hang eine Neigung von etwa 15° auf, der mittlere eine von 10° und der obere Hang eine sehr geringe Neigung von etwa 3°. Sowohl unterer als auch mittlerer Hang sind durch eine beckenartige Struktur getrennt.

Südlich und nördlich des im Rahmen dieser Ausfahrt vermessenen Gebietes wurden 1984 umfangreiche geophysikalische Arbeiten mit FS Jean Charcot und 1992 mit FS Hakuho Maru durchgeführt. Die Spur des subduzierten Seamounts wurde 1984 mit *Seabeam* hydroakustisch vermessen, jedoch befindet sie sich am äußersten nordwestlichen Rand des damaligen Arbeitsgebietes, so daß über eventuelle Deformationsstrukturen und über das zum Land hin sich anschließende Gebiet keine detaillierten bathymetrischen Informationen vorliegen.

Die Hänge der morphologischen Spur sind ein Ziel der für 1995 geplanten japanisch-deutschen Tauchfahrten. Um eine wesentlich bessere Kartengrundlage als die bisher vorhandene, die für die Planung der geplanten Tauchfahrten nicht ausreichend ist, zu erarbeiten, und um in einem Gebiet mit so komplexer Morphologie unabhängige Messungen zur Verfügung zu haben, um Artefakte sicher anschließen zu können, soll ein Pre-Site Survey während SO97-2 durchgeführt werden. Die eigentlichen wissenschaftlichen Ziele des Arbeitsprogramms lagen darin, den Übergang zwischen japanischem und kurilischem Kontinentalhang besser zu charakterisieren, kompressive Deformationsstrukturen zu identifizieren und räumlich zu verfolgen sowie durch eine magnetische Vermessung zu ermitteln, welche räumliche Position der subduzierte Seamount, der schon aufgrund der früheren Kartierung dort vermutet wurde (Cadet et al., 1987), rezent aufweist. Es wird vermutet, daß die beiden identifizierten Seamounts (Erimo sowie der schon subduzierte) die letzten Glieder einer längeren Seamountkette sein könnten, die als eine Ursache der Änderung der Streichrichtung an diesem Teil des kurilisch-japanischen Kontinentalrandes angesehen werden. Ebenso besteht die Vermutung, daß in diesem Gebiet eine Plattengrenze verlaufen könnte (Cadet et al., 1987). Die Grenze zwischen kurilischer und japanischer Streichrichtung ist auch durch eine tiefreichende Störung (Transform Fault) gekennzeichnet, so daß durch die Kartierung gerade die Übergangszone ermittelt werden kann, wie sie im Bereich des Kontinentalhanges charakterisiert ist.

## 2. Eingesetzte Methoden und Geräte

Die magnetische und bathymetrische Vermessung erfolgte kontinuierlich im Wachbetrieb unter Einsatz eines Protonenpräzessionsmagnetometers und der bordeigenen HYDROSWEEP-Anlage (beides ausführlich im ersten Teil des Fahrtberichtes beschrieben). Parallel wurden PARASOUND-Signale am Bildschirm beobachtet und an einigen Stellen, die durch eine flache Morphologie oder beckenartige Strukturen gekennzeichnet sind, aufgezeichnet, da sie bei der Planung der Tauchfahrten Aufschluß über den Untergrund geben können.

### 3. Fahrtverlauf N. Kukowski

Am 24.7. verließ FS SONNE bei ruhigem, sonnigen Wetter um 10 Uhr Lokalzeit den Hafen von Dutch Harbor mit Kurs auf das südöstlich von Hokkaido gelegene Kartiergebiet. Es wurde eine Transitdauer von ungefähr sieben Tagen erwartet, so daß das Untersuchungsgebiet am Nachmittag des 1.9. erreicht werden sollte.

Gegen Abend verschlechterte sich das Wetter und es briste deutlich auf. Seitdem wechselten ruhige klare Wetterlagen mit Perioden starken Windes ab. Wir machten durchweg eine recht schnelle Fahrt und hofften, daß wir kurz vor Erreichen des Zielgebietes zusätzlich von der Strömung begünstigt werden würden.

Diese recht lange Transitzeit gab uns Gelegenheit zur Vor- und Nachbereitung der vorangegangenen und folgenden Fahrtabschnitte. Die Luftchemiker konnten ihre Meßapparaturen aufbauen und testen, die Probennahme vorbereiten und erste Testmessungen durchführen. Wir nutzten die Zeit, um unsere SUN-Workstation gründlich zu warten, da sie während des kommenden Fahrtabschnittes SO98 wieder zum Einsatz kommen soll.

Eigentlich hätten diese Tage ganz ruhig verlaufen sollen, wenn nicht gravierende Probleme der Verfügbarkeit der Mainzer Eichgase für den nächsten Fahrtabschnitt es erforderlich gemacht hätten, die dadurch schwierig gewordene Logistik vollständig an Bord zu lösen. Einige Tage liefen die Nachrichtenleitungen heiß, und wir wendeten viel Zeit und Nerven auf, um Lösungen für die weitere Fahrtplanung auszuarbeiten, die es möglich machen sollten, die grundlegenden Ziele beider Fahrtabschnitte doch noch zu erreichen.

Da feststand, unabhängig von den Gasproblemen, daß wir schon am 4.9. in Hakodate sein mußten, stand für die Kartierung wesentlich weniger Zeit zur Verfügung, so daß wir uns auf die Vermessung des Kerngebietes beschränken und die Profilplanung entsprechend umarbeiten mußten.

Der erste Wegpunkt des Arbeitsgebietes wurde am 1.9. gegen 13 Uhr erreicht. Hier wurde die schiffseigene CTD-Multisonde zur Bestimmung des Wasserschallgeschwindigkeitsprofils gefahren (s. Anhang II.1). Gegen 17:30 wurde die bathymetrische und magnetische Vermessung entlang der 13 in Abb. 61 dargestellten Profile begonnen und kontinuierlich bis zum 3.9., 14 Uhr durchgeführt. Bei durchweg gutem Wetter, nur manchmal war ein Einfluß infolge starker Dünung zu erkennen, verlief die Datenaufnahme problemlos. Während der gesamten Zeit wurde eine Geschwindigkeit von 10,5 kn eingehalten, was sich für die Datenqualität und -dichte als optimal erwiesen hat. Es wurden insgesamt etwa 840 Profilkilometer bathymetrische und magnetische Daten aufgenommen sowie an ausgezeichneten Stellen zusätzlich PARASOUND-Daten. Die Datenqualität sah sehr vielversprechend aus. Das Magnetometer lief seit der Überprüfung und Reparatur wieder völlig zuverlässig, und wir haben spike-freie Daten erhalten.

Nachdem nach Beendigung der Datenaufnahme das Magnetometer eingeholt wurde, nahmen wir bei voller Fahrt direkten Kurs auf Hakodate. Der Hafen wurde planmäßig um 6 Uhr erreicht, so daß wir die Seekarten und die Luftfracht aufnehmen und gegen 9:30 Uhr Kurs auf Tokyo nehmen konnten.

Am 06.09. erreichte FS SONNE am Vormittag planmäßig bei hochsommerlichem Wetter Tokyo.

#### 4. Durchführung der Messungen und Ergebnisse

##### 4.1 HYDROSWEEP und PARASOUND

M. Gerdom, A. Hojka, O. Ruoff und W. Weinrebe

In insgesamt 45 Stunden wurde das Untersuchungsgebiet südöstlich von Kap Erimo auf 13 Profilen mit dem Fächerecholotsystem HYDROSWEEP bathymetrisch vermessen (Abb. 61). Bei relativ ruhigem Wetter und durch Reduzierung der Schiffsgeschwindigkeit auf 10,5 kn waren die Aufzeichnungen nur gering durch Roll- und Stampfbewegungen des Schiffes gestört.

Das HYDROSWEEP-System bestimmt im Normaleinsatz die zur Berechnung der Wassertiefe notwendige Schallgeschwindigkeit automatisch. Dieser komplexe Algorithmus ist aber im Bereich starker Neigungen problematisch, wie Untersuchungen während der Ausfahrt SONNE 96 zeigten (Fahrtbericht SONNE 96, Kap. 5.1.2.1). Deshalb wurde das Wasserschallgeschwindigkeitsprofil auch auf diesem Fahrtabschnitt vor Beginn der Messungen mit einer Multisonde bis zu einer Wassertiefe von 5500 m gemessen. Da das Untersuchungsgebiet relativ kleinräumig ist, kann dies gemessene Profil (siehe Anhang II.1) für die Tiefenberechnung aller Daten benutzt werden. Während des Einsatzes der Multisonde traten Probleme am Drucksensor auf, die Messungen sind aber trotzdem brauchbar, da die aktuelle Wassertiefe zu jedem Zeitpunkt bekannt war. Da die Multisonde auch auf den vorangegangenen Fahrtabschnitten Probleme bereitet hatte, sollte das Gerät dringend einer grundlegenden Überprüfung unterzogen werden.

Mit dem HYDROSWEEP-System kann kontinuierlich ein breiter Streifen (ca. das Zweifache der Wassertiefe) des Meeresbodens kartiert werden. Zur Bearbeitung dieser Daten steht an Bord des FS SONNE das HYDRO MAP SYSTEM 3000 (*Atlas Elektronik*) zur Verfügung, das einen großen Umfang an Funktionen zur Aufbereitung der Daten sowie zur Erstellung von Karten und perspektivischen Darstellungen bietet. Das Hydromapsystem ist außerhalb von FS SONNE jedoch nur an wenigen Institutionen vorhanden, so daß alle Arbeiten noch während der Fahrt abgeschlossen sein müssen; spätere tiefergehende Auswertungen sind nicht möglich. Deshalb wurden - wie auf der Ausfahrt SONNE 96 sowie auf dem Fahrtabschnitt SONNE 97-1 - die Daten parallel dazu auf einer SUN - Workstation mit der frei verfügbaren Software *mbsystem* bearbeitet. Das *mbsystem* ist ein Paket von Programmen und Makros zur Bearbeitung von Fächerecholotdaten, das in den Jahren 1990 bis 1993 am Lamont-Doherty-Earth Observatory von David

Caress und Dale Chayes entwickelt wurde. Durch die modulare Struktur und das konsequente Einhalten von UNIX-Standards lassen sich mit den einzelnen Kommandos komplexe Scripts entwickeln, die eine flexible Bearbeitung der Daten ermöglichen. Für die Anfertigung von Karten oder die Erstellung komplexer Grafiken wird das weit verbreitete GMT-System ("Generic mapping Tool", Wesel and Smith, 1991) benutzt. Die Brauchbarkeit dieser Software für die Auswertung von HYDROSWEEP-Daten wurde auf der Ausfahrt SONNE 96 eingehend getestet (Fahrtbericht SONNE 96, Kapitel 5.1.2.2).

Die mit beiden Verfahren erstellten bathymetrischen Karten sowie perspektivischen Darstellungen konnten die komplexen Strukturen des Untersuchungsgebietes detailgenau auflösen (Abb. 62 und 63).

Die neu erstellte bathymetrische Karte schließt südwestlich an die Bathymetric Map of the Western Kuril Trench der *Hakuho Maru Cruise KH-92-3* des Ocean Research Institute der Universität von Tokyo vom März 1992 und nördlich an die bathymetrische Karte der *Jean Charcot* - Fahrt von 1984 des IFREMER an. Dabei wurde eine markante sichelförmige Ausbuchtung des Tiefseegrabens am Übergang von Japan-Graben im Süden und Kurilen-Graben im Norden ein weiteres Mal vermessen. Zum einen ändert sich an dieser Stelle die WSW/ENE streichende Richtung des Kurilen-Tiefseegrabens in die SSW/NNE Richtung des Japan-Grabens, und zum anderen kann diese Ausbuchtung als morphologischer Ausdruck eines subduzierten Seamounts interpretiert werden. (s. Kap.5).

In der neu vermessenen Karte ist die sichelförmige landwärts orientierte Ausbuchtung übereinstimmend mit den Ergebnissen der französischen Karte zu beobachten (Abb. 62). Der Steilhang erstreckt sich dabei von ca. 7000 m bis minimal 3800 m Höhe unter dem Meeresspiegel auf ca. 5 nm Strecke in horizontaler Richtung. Der Bogen ist nahezu halbkreisförmig mit einem Durchmesser von weniger als 15 nm (Abb. 63). In nordwestlicher Richtung beobachtet man oberhalb des halbkreisförmigen Steilhanges eine Grabenstruktur mit nordöstlicher Streichrichtung und einer Tiefe von wenigen hundert Metern, wodurch der Eindruck eines Walles entsteht, der durch das Eindringen des vermeintlich subduzierten Seamounts in die umgebenden Gesteine aufgeschoben wurde.

In nordwestlicher Richtung fortschreitend deutet sich eine zweite Geländestufe an, die zwar auch ein Umbiegen in die Streichrichtung zeigt, aber keine landwärts orientierte sichelförmige Ausbuchtung aufweist. Der Höhenunterschied beträgt hier ca. 1000 m bei ca. 5 nm horizontaler Erstreckung des Anstiegs (Abb. 62). Auf der Hochfläche dieser zweiten Geländestufe befinden sich einzelne Erhebungen von wenigen hundert Metern (Abb. 63). In der nordwestlichen Ecke des Kartiergebietes wurde das südöstliche Ende des Hidaka Rückens angetroffen, der sich von Kap Erimo aus nach SE erstreckt.

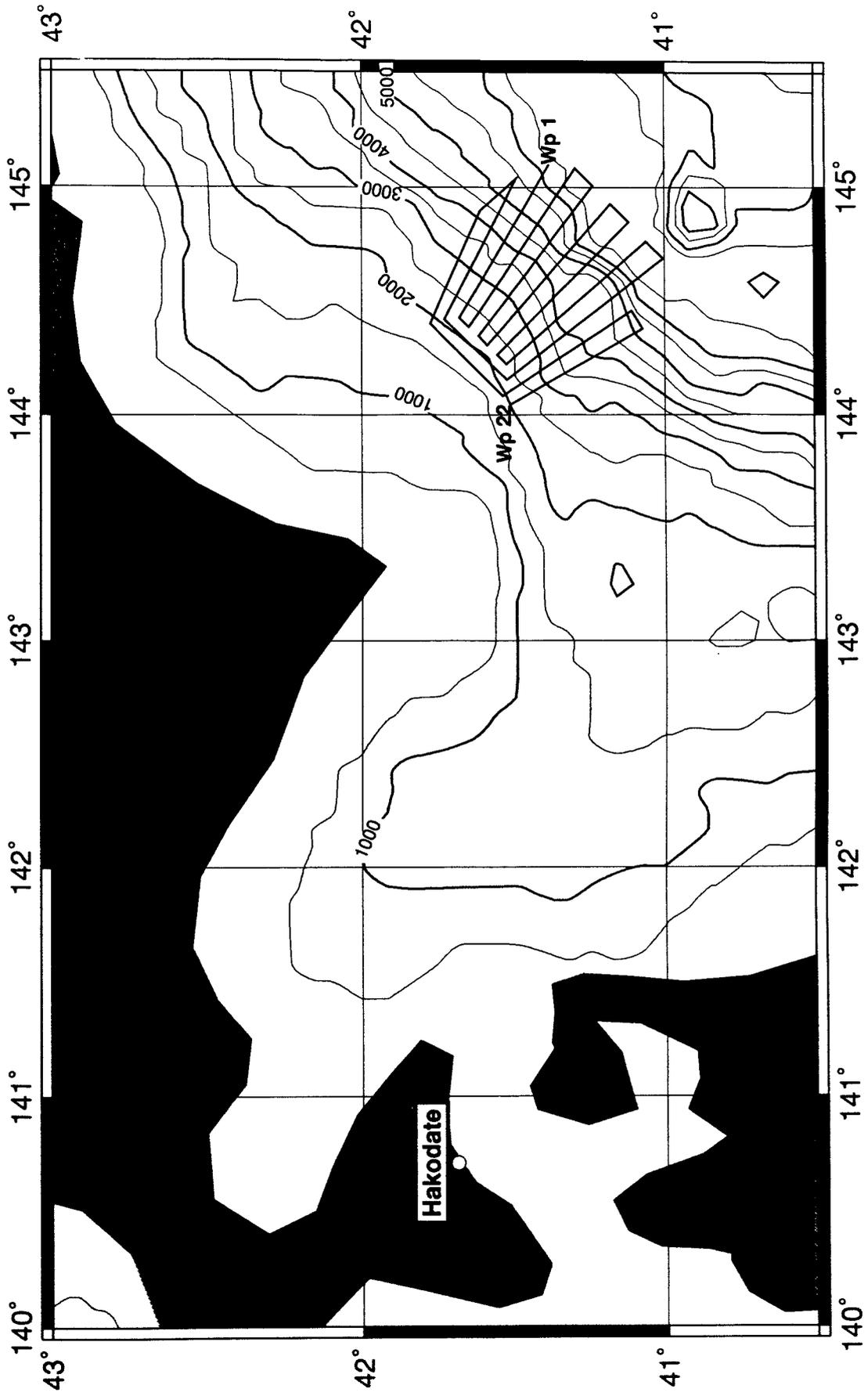


Abb. 61: Lage des Arbeitsgebietes mit Profilplan.

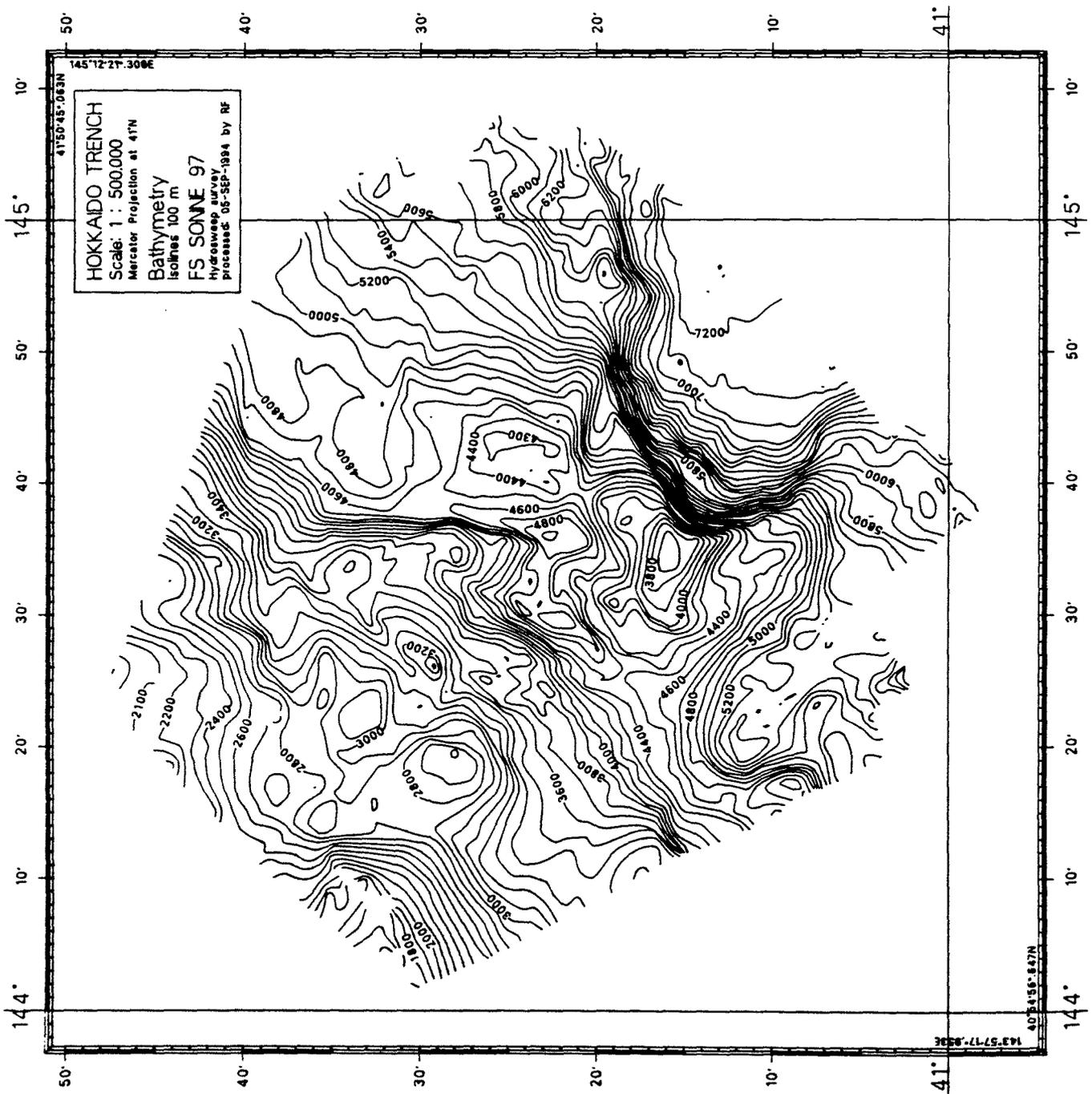


Abb. 62a: Bathymetrische Karte der HYDROSWEEEP-Vermessung mit dem bordeigenen HYDRO MAP SYSTEM während SO97-3 bearbeitet und dargestellt.

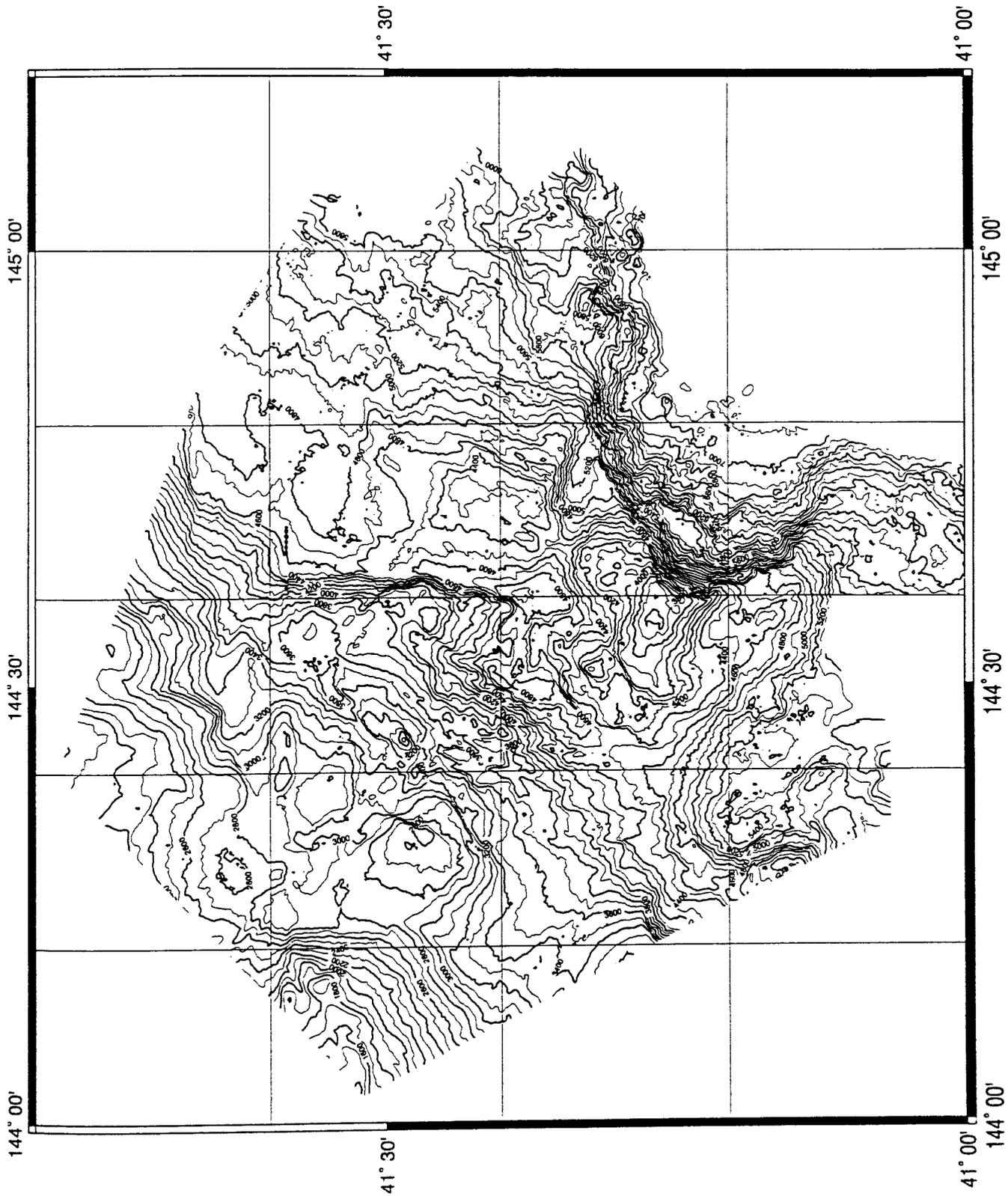


Abb. 62b: Bathymetrische Karte der HYDROSWEEP-Vermessung mit *mbsystem* erzeugt.

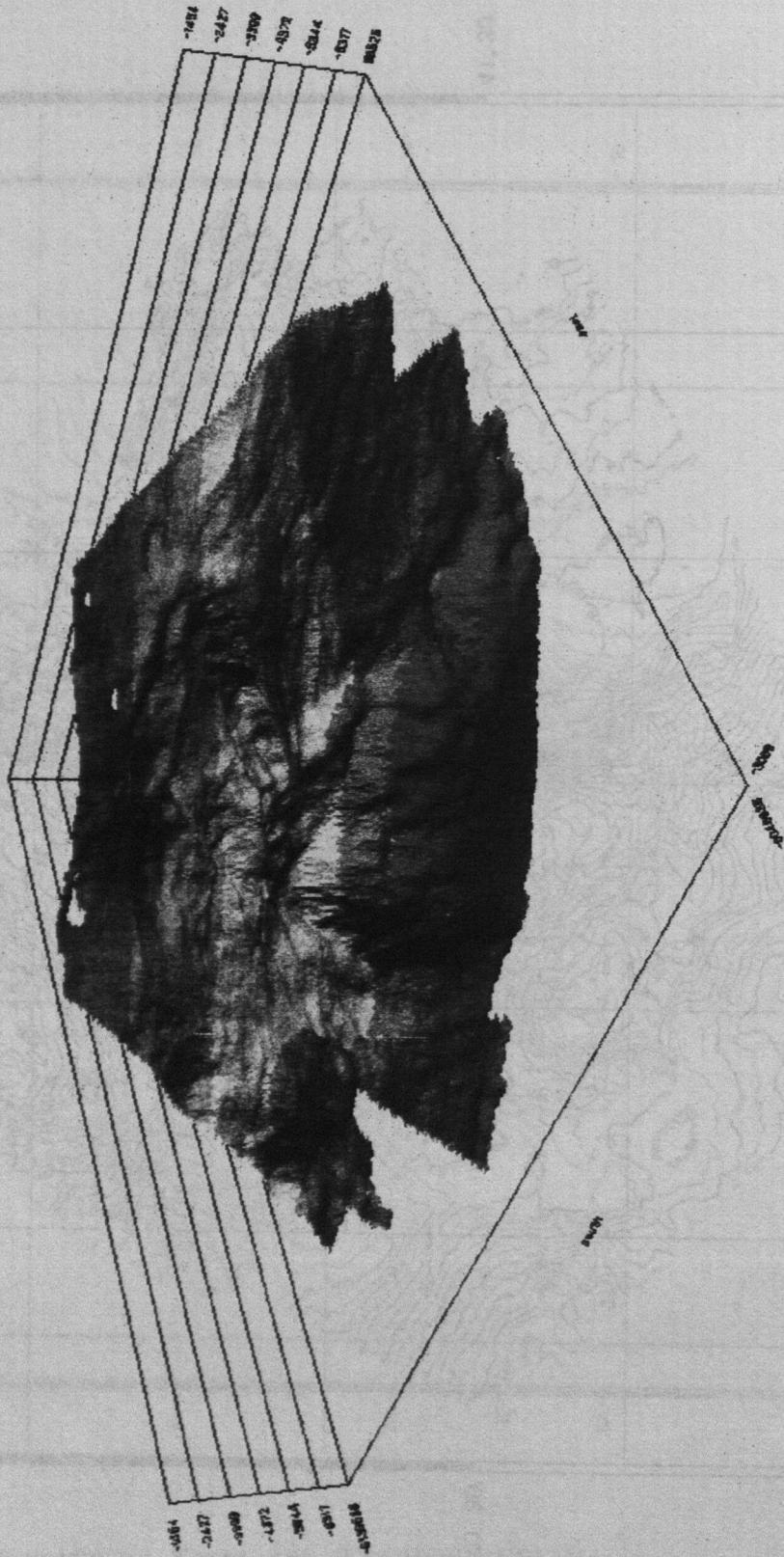


Abb. 63a: Bathymetrie; 3D Perspektivdarstellung, Blick aus SE (mit Hydromap erzeugt).



Abb. 63b: Bathymetrie; 3D Perspektivdarstellung, Blick aus E (mit *Hydromap* erzeugt).

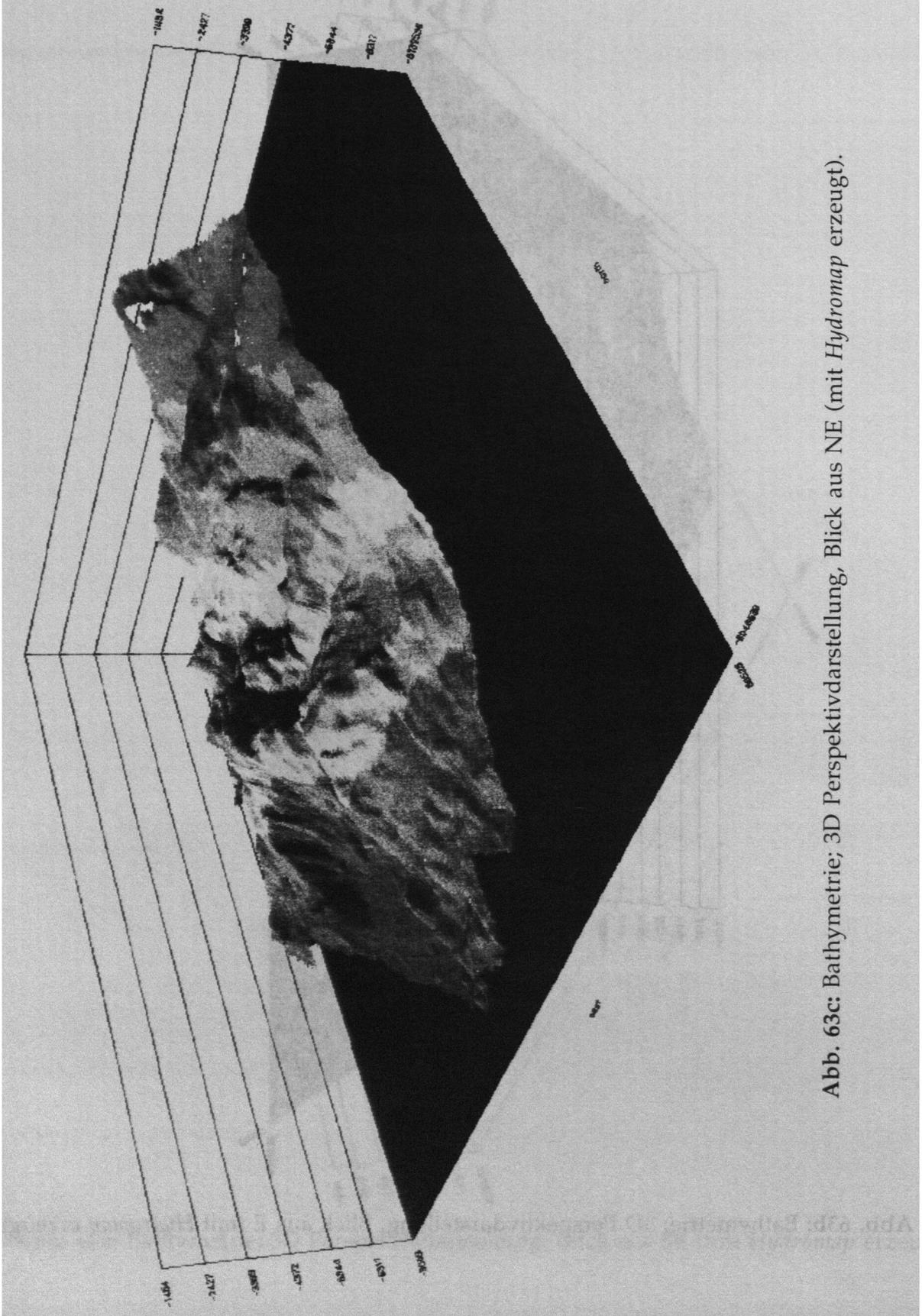


Abb. 63c: Bathymetrie; 3D Perspektivdarstellung, Blick aus NE (mit Hydromap erzeugt).

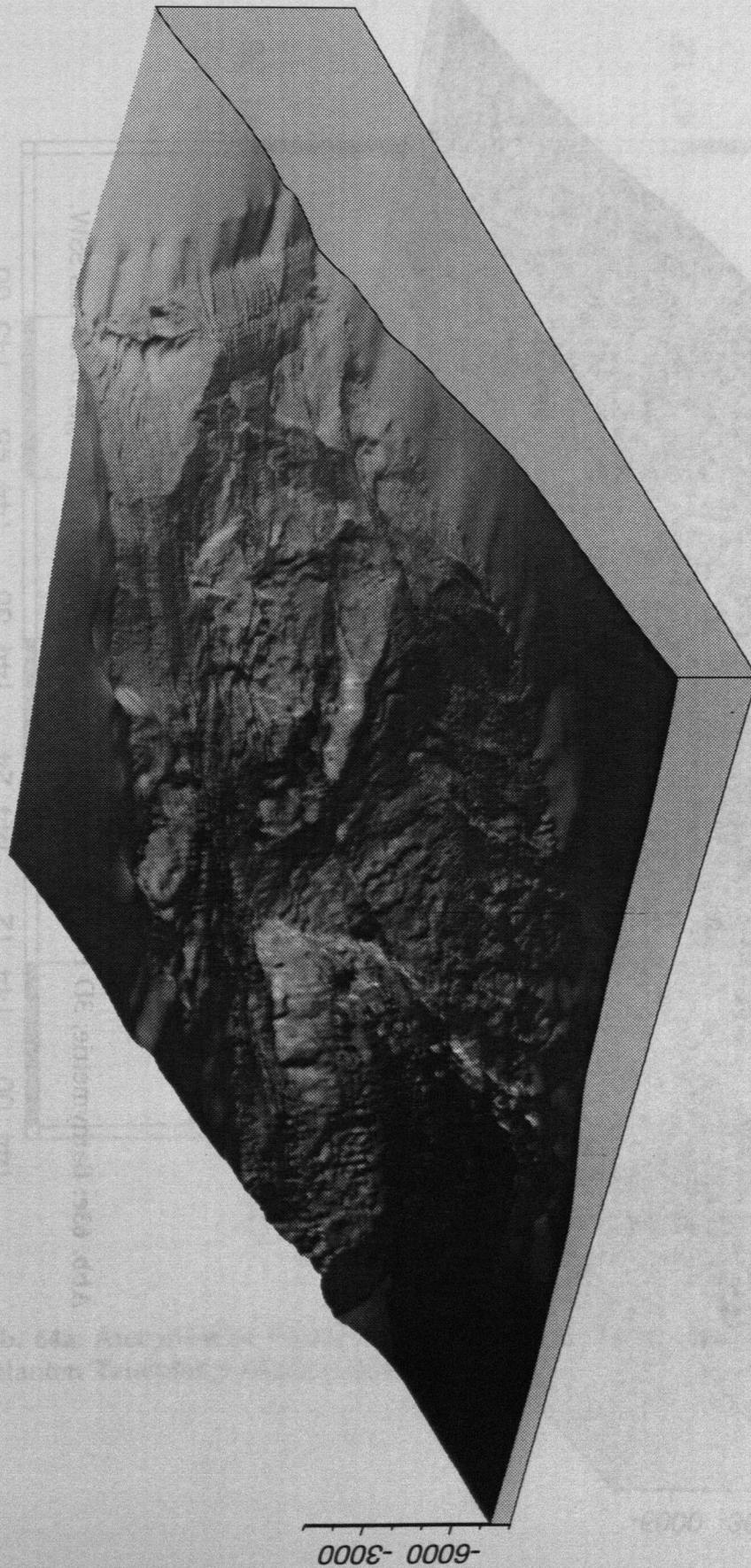


Abb. 63d: Bathymetrie; 3D Perspektivdarstellung (mit *mbsystem* erzeugt), Blick aus ENE.

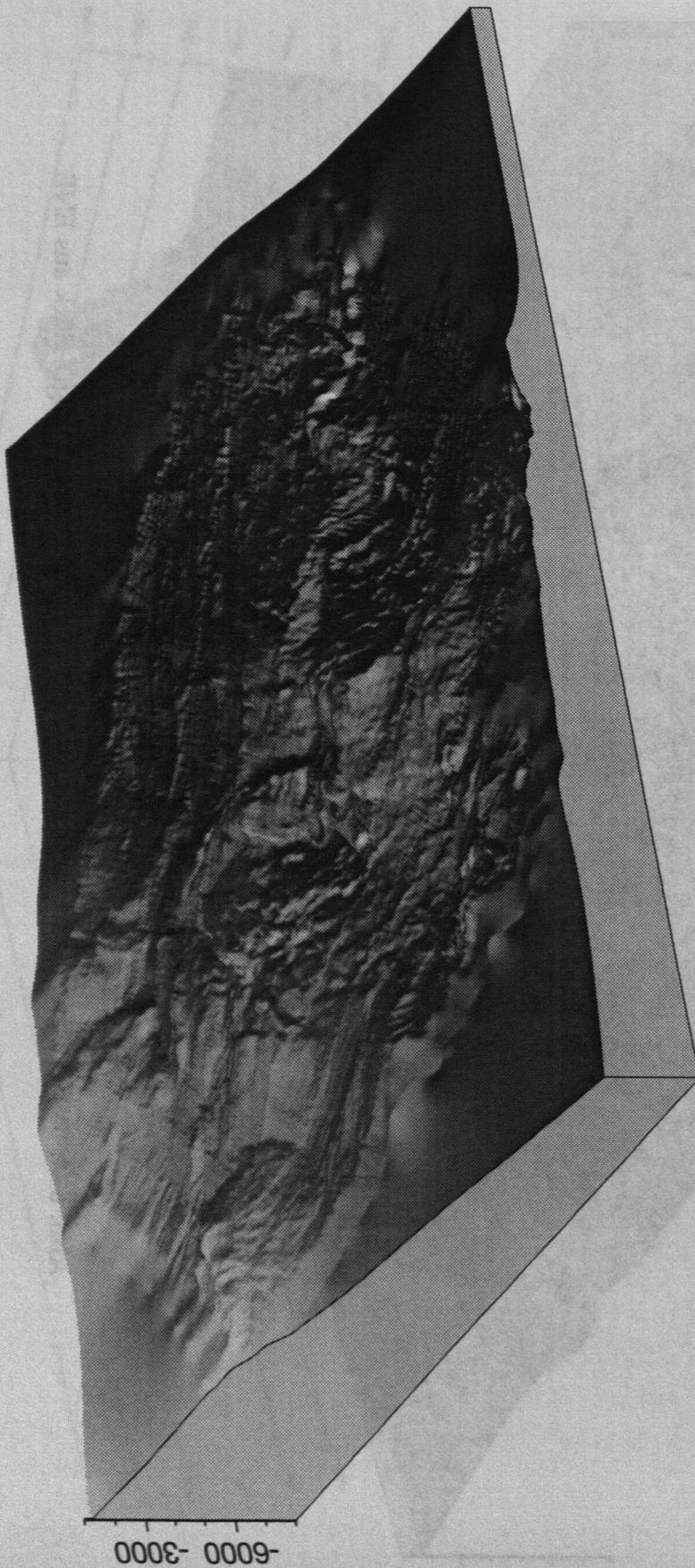
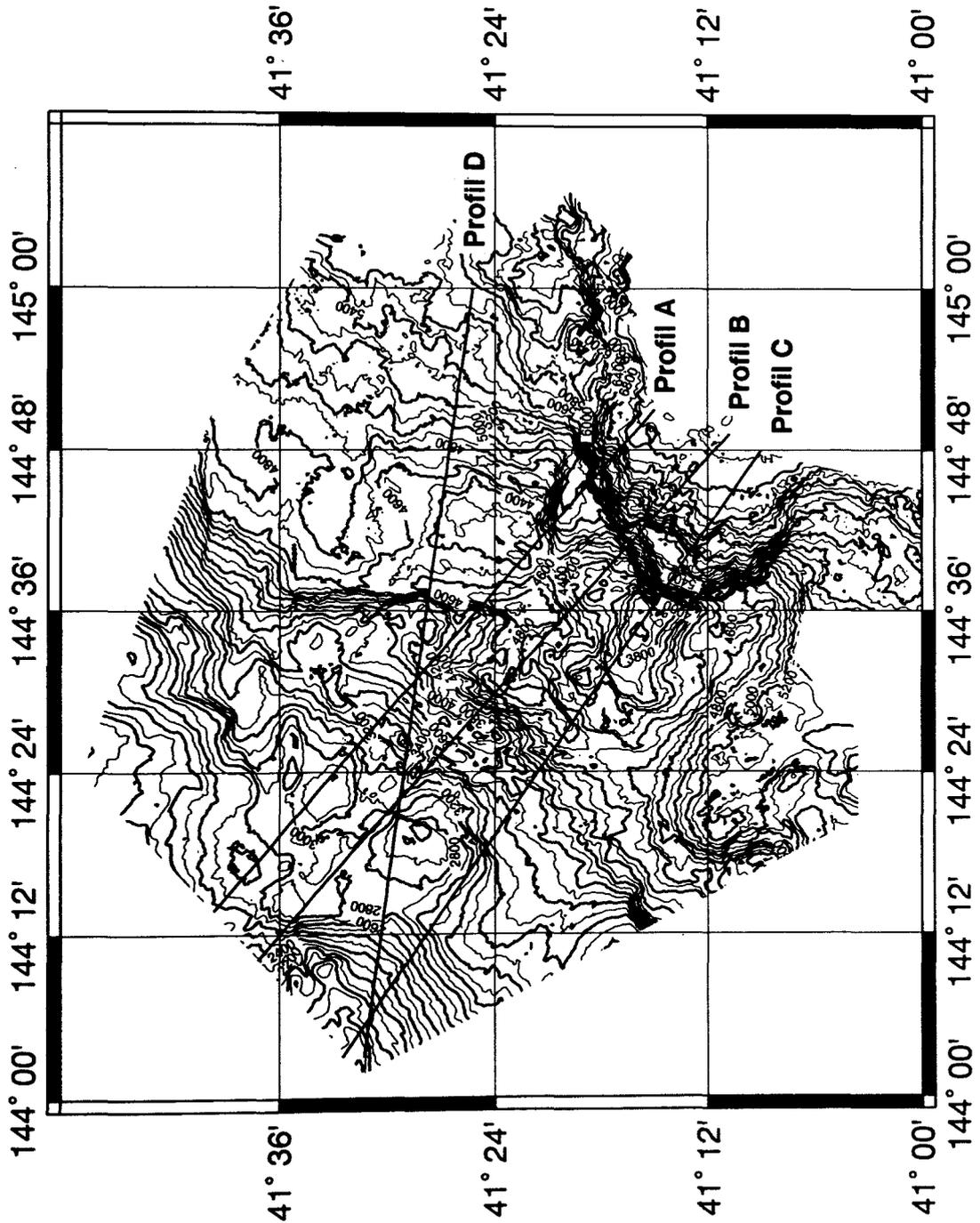


Abb. 63e: Bathymetrie; 3D Perspektivdarstellung (mit *mbsystem* erzeugt), Blick aus SSW.



**Abb. 64a:** Ausgewählte Profile A, B, C und D über den Steilhang im Bereich der geplanten Tauchfahrt (Kartendarstellung).

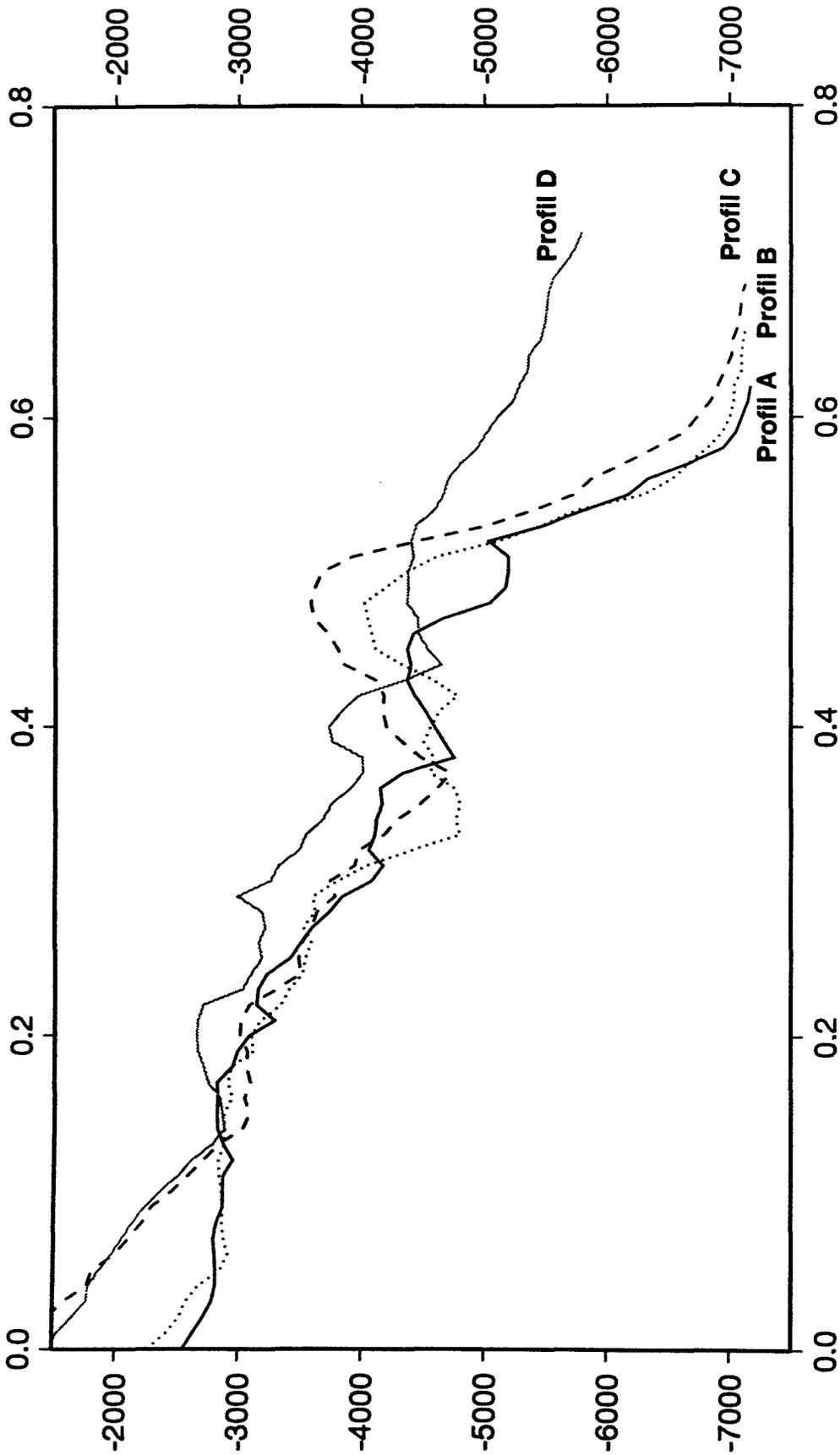


Abb. 64b: Ausgewählte Profile A, B, C und D über den Steilhang im Bereich der geplanten Tauchfahrt (Profildarstellung).

Beide Karten (Abb. 62a, b) geben die hervorragenden morphologischen Einheiten konsistent und in ihrer Tiefenlage übereinstimmend wieder. Die mit *mbsystem* und *GMT* erzeugten Isolinien sind **nicht** geglättet, daher sind sie auch nach der Editierung die Schiffskurse z.T. noch nachvollziehbar. Dieser Nachteil ist jedoch unerheblich gegenüber der viel höheren Detailauflösung und korrekten Tiefeninformation. Die Karte hat daher den wesentlich höheren Informationsgehalt, gerade im Hinblick auf die Vorbereitung von Geräte- und Tauchbootensätzen.

Während der insgesamt 45-stündigen Kartierung konnten mit PARASOUND nahezu sechs Stunden brauchbare Daten aufgezeichnet werden, was etwa 110 Profilkilometern entspricht. Diese Aufzeichnung besteht oft aus kurzen, wenige Minuten dauernden Abschnitten. Aufgrund der im Meßgebiet vorliegenden Topographie mit starken Neigungen und Tiefenänderungen war eine kontinuierliche Messung nicht möglich. Besonders deutlich war diese Beobachtung bei den in SE-NW Richtung, also vertikal zum Graben verlaufenden Profilen. Hier traten längs der Profile Tiefendifferenzen von mehr als 4500 m auf, so daß gute Daten fast nur von ebenen Plateaus erzielt werden konnten. An einigen dieser Stellen waren dann auch Sedimentstrukturen erkennbar, welche bis in eine Tiefe von etwa 50 m aufgelöst werden konnten. Ein gutes Beispiel hierfür ist ein Becken auf Profil 1,  $41^{\circ}32.0'N/144^{\circ}45.5'E$  in einer Tiefe von 4840 m.

## 4.2 Magnetik

### A. Stavenhagen

Nach der Wartung des Magnetometers, der Überprüfung der Meßkonfiguration und Reparatur der Stecker konnte die magnetische Vermessung mit dem Protonenpräzessionsmagnetometer G-866 (EG&G Geometrics, CA, USA) während des Fahrtabschnittes SO97-2 erfolgreich weitergeführt werden (zur ausführlichen Beschreibung des Gerätes, der Akquisitionsparameter und der Prozessingsequenzen siehe Teil I des Fahrtberichtes, SO97-1). Jedoch wurde im Verlauf der Messung das Gerät beschädigt, d.h. die Finnen, die eine ruhige Lage des Sensors im Wasser bewirken sollen, wurden abgerissen. Aufgrund der glatten, auf Scher- oder Drehbewegung hinweisenden Abbruchflächen wird eine Kollision vermutet. Bemerkenswerterweise hatte dies jedoch keine negativen Auswirkungen auf die Qualität der akquirierten Datensätze. Die auf den etwa 840 Profilkilometern aufgenommenen Daten sind vollkommen frei von Spikes und um eine mittlere Gesamtfeldstärke von 48000 nT in sich konsistent. Für die Ermittlung von magnetischen Anomalien wurde von den Rohdaten ein Referenzwert von exakt 47900 nT abgezogen.

Die minimal gefilterten Daten zeigen im südöstlichen Teil des Untersuchungsgebietes eine deutliche positive Anomalie von mehr als 400 nT, direkt nördlich anschließend eine negative (Abb. 65). In der Isoliniendarstellung (Abb. 66) wird deutlich, daß sich beide Anomalien vom regionalen Trend (kontinentwärts zu höheren Werten hin) abheben. So geht die positive Anomalie nicht direkt in die

für den Kontinentalbereich charakteristischen Werte über, sondern es besteht eine Zwischenzone wieder deutlich niedrigerer Werte der magnetischen Feldstärke.

### Along Track Magnetic Anomalies

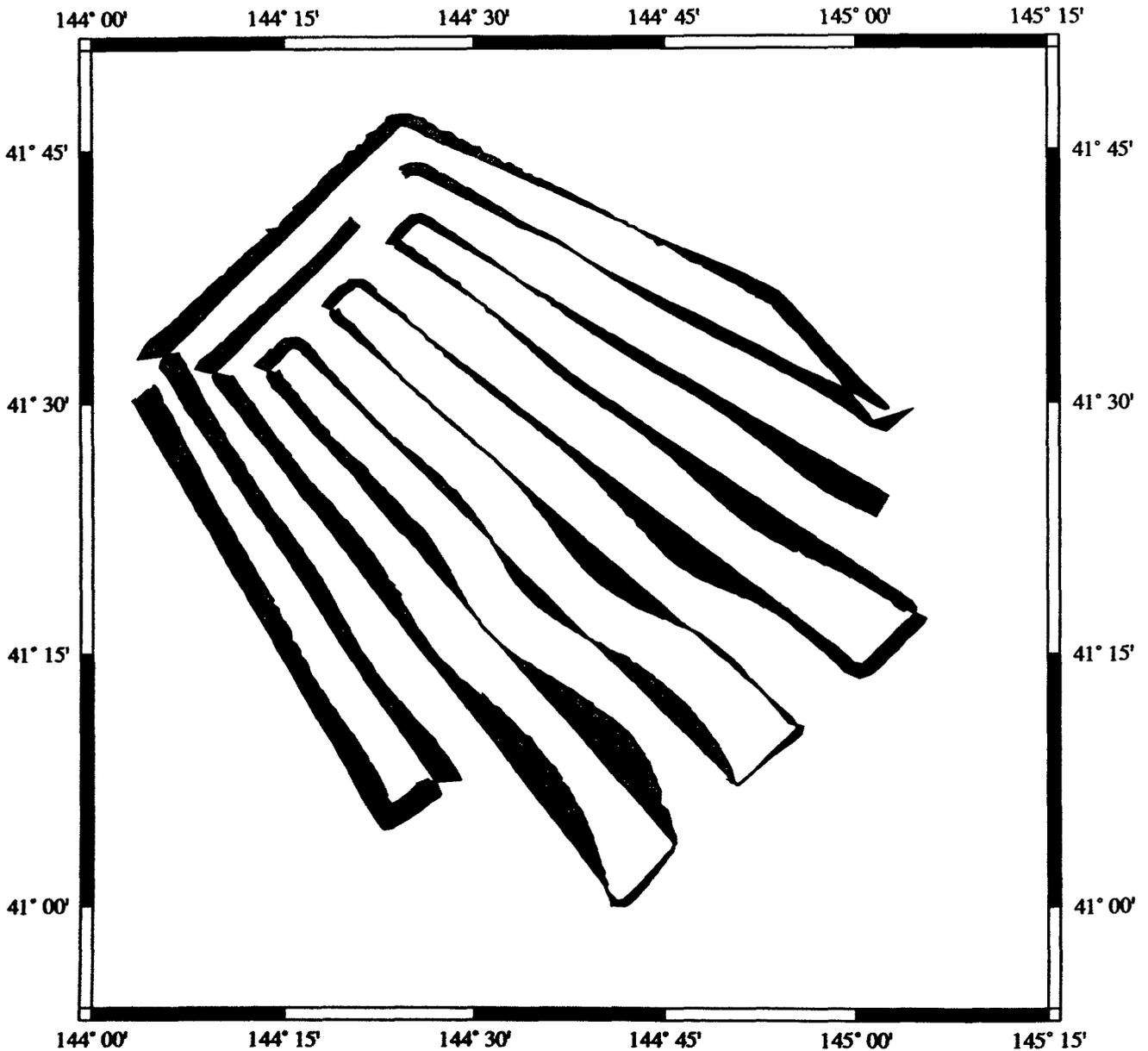


Abb. 65: Entlang der Profile gemessene magnetische Feldstärke.

Die Überlagerung von Bathymetrie und magnetischen Aufzeichnungen (Abb. 67) zeigt maximale magnetische Werte über dem südwestlichen Rand der Einbuchtung. Die positiven magnetischen Werte enden in dem den ersten Anhöhen folgenden Canyons und gehen in starke negative Anomalien über, wobei minimale Werte geringfügig südlicher erscheinen als die maximalen Tiefen. Die Korrelation dieser verschiedenen Messungen erscheint einleuchtend.

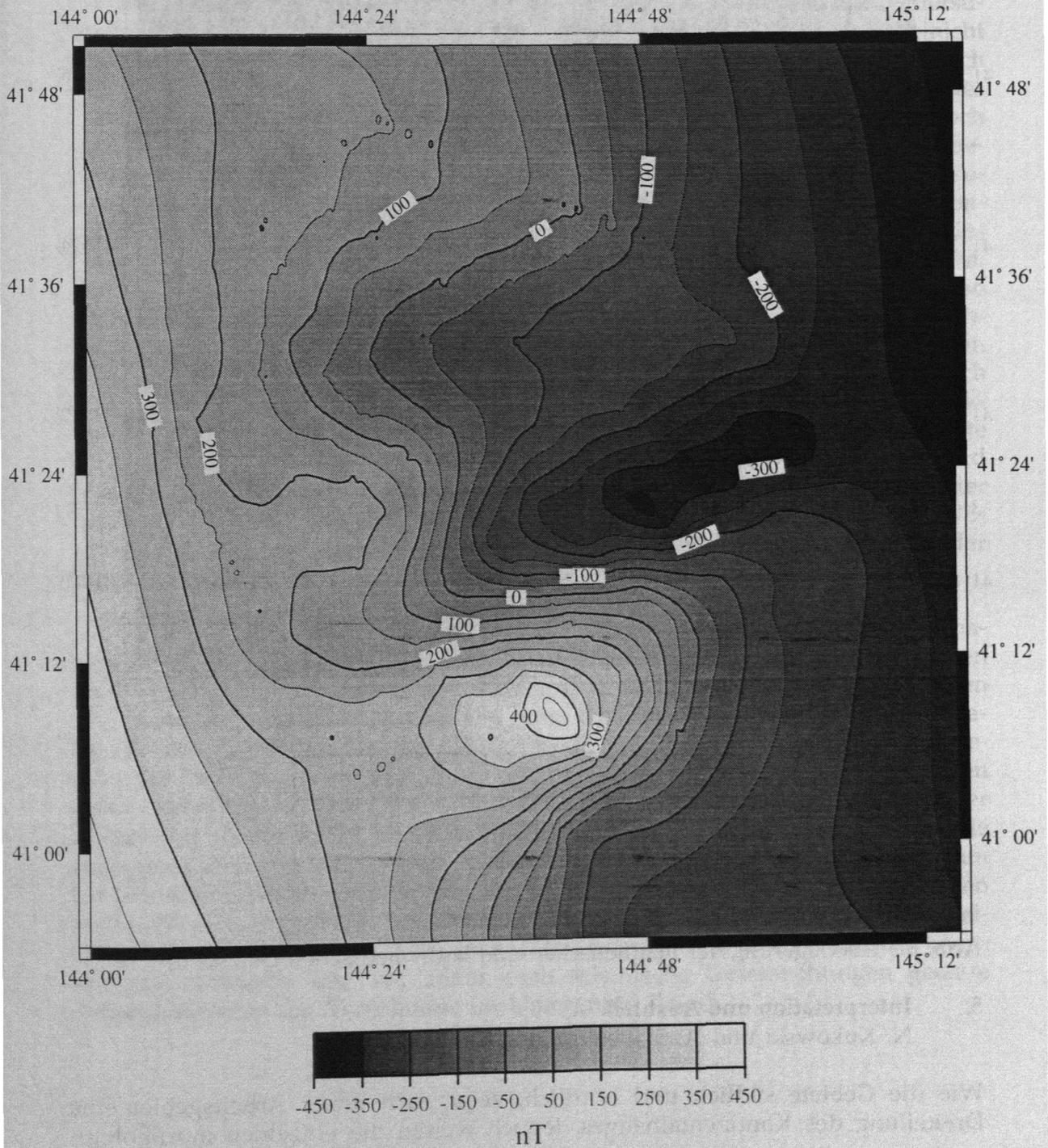


Abb. 66: Isolinienkarte der magnetischen Anomalien, Isolinien in nT.

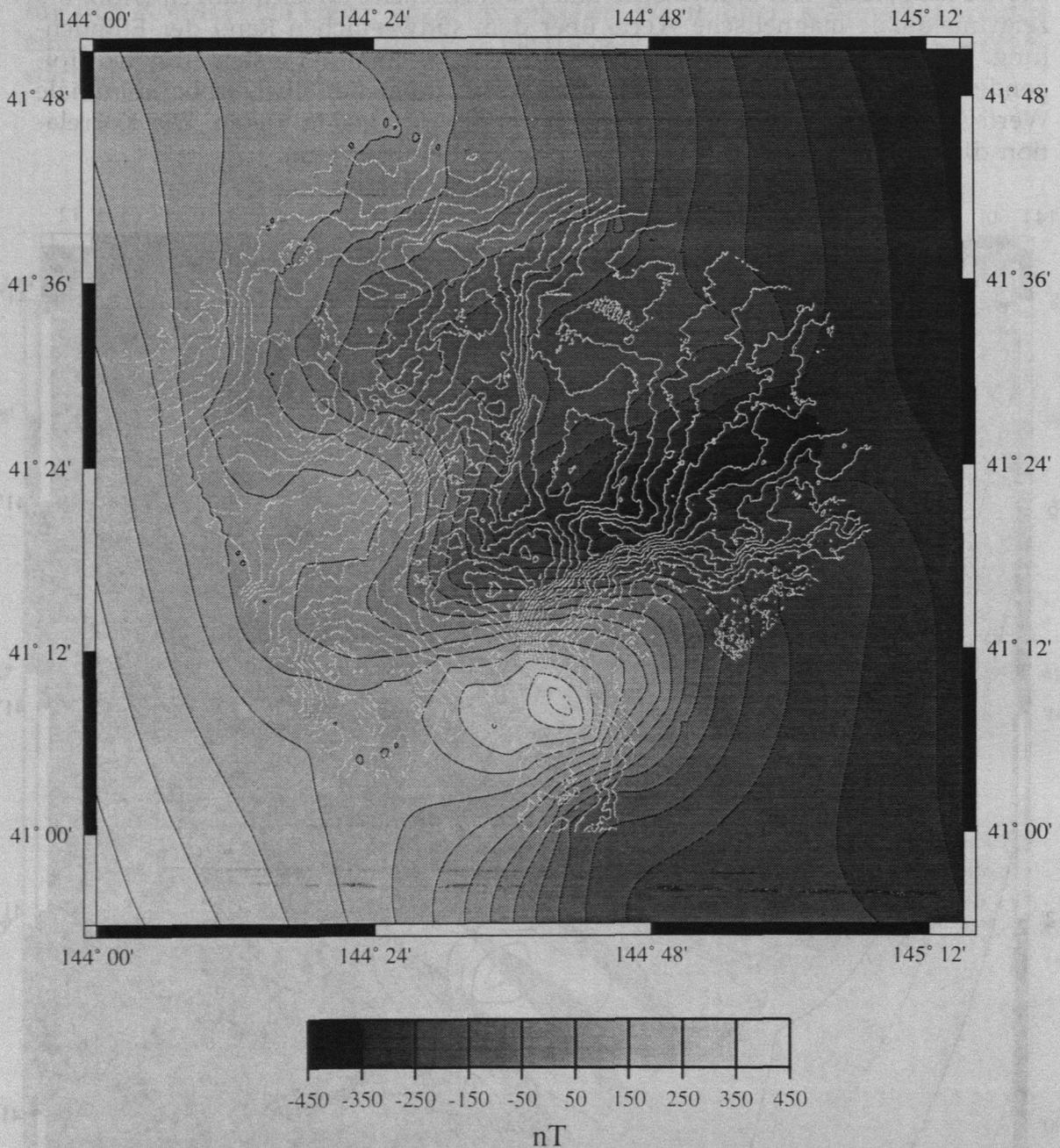


Abb. 67: Überlagerung der magnetischen und bathymetrischen Daten.

5. Interpretation und Ausblick

N. Kukowski und A. Stavenhagen

Wie die Gebiete südlich und nördlich, zeigt auch unser Arbeitsgebiet eine Dreiteilung des Kontinentalhanges. Jedoch weisen die einzelnen morphologi-

schen Einheiten keine einheitlichen Streichrichtungen auf, sondern sind durch zum Teil mehrfache Umbiegungen gekennzeichnet, die den komplex gestalteten Übergang von der kurilischen zur japanischen Richtung vermitteln (Abb. 63).

Im nordöstlichen Teil unseres Arbeitsgebietes haben die hangparallelen Strukturen bereits kurilisches Streichen, während am südwestlichen Rand des Untersuchungsgebietes die endgültige Einbiegung in das japanische Streichen noch nicht erreicht ist. Die Aufeinanderfolge engständiger Rücken und Canyons im Bereich des mittleren Hanges deuten auf starke kompressive Kräfte hin. Der Einfluß des in die Subduktion einbezogenen topographischen Hochs scheint deutlich, jedoch auf den unteren Hang bis zum trenchwärtigen Rücken beschränkt. Der Mittelbereich des Hanges ist gekennzeichnet durch den Hauptanteil der Umbiegung sowie erosiver Vorgänge, so daß man eigentlich nicht mehr von einem Hang, sondern vielmehr von einer Stauchungszone sprechen kann. Die Morphologie des oberen Hanges zeigt grundsätzlich ähnliche Abfolgen von Rücken und Tälern. Die Hänge sind jedoch wesentlich sanfter ausgebildet und die Strukturen nicht so markant, was auf die geringeren Kompressionskräfte zurückzuführen ist, nachdem die Hauptkräfte im unteren Bereich abgearbeitet worden sind. In diesem Übergangsbereich sind die Rücken und Canyons im Gegensatz zu den nördlich und südlich anschließenden Gebieten, die kleinräumige morphologische Strukturen aufweisen, sehr langgestreckt ausgebildet und zum Teil über das gesamte Untersuchungsgebiet zu verfolgen. Im mittleren Bereich des Arbeitsgebietes wird eine nahezu NS streichende Aufschiebung vermutet. An der Nordseite der Seamountspur scheinen die landwärtig anschließenden Rücken von einer NE-SW streichenden Störung leicht gegeneinander versetzt zu sein. Mehrere der trenchwärtigen Hänge zeigen deutliche Spuren von Rutschungen.

Die räumliche Erstreckung und Stärke der gemessenen magnetischen Anomalien und die gute Korrelation mit den HYDROSWEEP-Aufzeichnungen stehen nicht im Widerspruch zu den von Cadet et al. (1987) aufgestellten Hypothesen zur Entstehung der Einbuchtung. Die Form der positiven magnetischen Anomalie, die sich gegen den negativen Background des übrigen Feldes abhebt, suggeriert das Vorhandensein eines subduzierten Seamounts unter der südwestlichen topographischen Anhöhe (3800 m Isobathe). Die Anomalien sind etwas geringer ausgeprägt als die von Erimo hervorgerufenen. Als Ursache dafür kommen die geringere Größe des verborgenen Seamounts, die sich aus der Größe des von ihm beeinflussten Gebietes ableiten läßt, sowie die Bedeckung mit nichtmagnetischen Sedimenten in Frage. Die gewonnenen Daten sind aber in keinem Fall ausreichend, die von Cadet et al. (1987) gemachten Aussagen zu verifizieren. Hier könnten gravimetrische und vor allem auch seismische Untersuchungen genaue Aufschlüsse über die Verhältnisse im Untergrund liefern.

## 6. Literatur

- Cadet, J.-P. et al. (1987). The Japan trench and its juncture with the Kuril trench: cruise results of the Kaiko project, Leg 3. *Earth and Planetary Science Letters*, 83: 267 - 284.
- DeMets, C. (1992). Oblique convergence and deformation along the Kuril and Japan trenches. *Journal of Geophysical Research*, 97: 17615 - 17625.
- Masalu, D.C.P., Sayanagi, K., Korenaga, J., Nakanishi, M., Tamaki, K., and Kobayashi, K. (1992). Geomagnetic survey of seamounts near the Kuril and Japan trenches. - In: Kobayashi, K., (ed.): Preliminary report of the Hakuho Maru cruise KH 92-3, Ocean Research Institute, University of Tokyo: 56 - 63.
- Ogawa, Y., Kobayashi, K., Tamaki, K., Thu, M.K., and Hanamura, Y. (1992). Topography of the western part of the Kuril trench off Hokkaido based on the Sea Beam map and 3.5 kHz profiles. In: Kobayashi, K., (ed.): Preliminary report of the Hakuho Maru cruise KH 92-3, Ocean Research Institute, University of Tokyo: 10 - 25.
- von Huene, R. and S.E. Lallemand (1990). Tectonic erosion along the Japan and Peru convergent margins. *Geological Society of America Bulletin*, 102: 704 - 720.
- Wessel, P., and Smith, W.H.F. (1991). Free software helps map and display data. *EOS Trans Amer. Geophys.U.*, 72:441, 445-446.

**Teil III**

**Fahrtabschnitt SO97-3 vom 07.09. - 19.09.94**

**Tokyo - Singapur**

Inhaltsverzeichnis	Seite
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>157</b>
<b>2. Spurengase im westlichen Randstrom</b> .....	<b>162</b>
<b>3. Fahrtverlauf</b> .....	<b>164</b>
<b>4. Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe</b> .....	<b>167</b>
4.1 Einleitung.....	167
4.2 Zielsetzung.....	169
4.3 Probennahme.....	170
<b>5. Biogases</b> .....	<b>171</b>
5.1 Objectives.....	171
5.2 DMS.....	171
5.3 Nitrous oxide and methane.....	172
5.4 Sampling and analysis.....	173
5.5 Preliminary results.....	174
<b>6. Kohlendioxid und Methan</b> .....	<b>175</b>
6.1 Introduction.....	175
6.2 Instrumentierung und Probennahme.....	175
6.3 Vorläufige Ergebnisse.....	178
<b>7. Biological marker compounds of particulate organic matter</b> .....	<b>180</b>
7.1 Objective.....	180
7.2 Methods.....	182
<b>8. Unterstützende Daten</b> .....	<b>182</b>
8.1 Optische Messungen und Chlorophyll <i>a</i> .....	182
8.2 Nährstoffe im Oberflächenwasser.....	185
8.3 Temperatur, Salzgehalt und meteorologische Daten.....	188
8.4 Seewasserversorgung.....	189
<b>9. Literatur</b> .....	<b>191</b>

1. Einleitung  
E. Suess

Das übergeordnete Ziel des dritten Fahrtabschnittes (SO97-3; Abb. 68) war die kontinuierliche Erfassung von anthropogenen und biogenen Spurenstoffen im Oberflächenwasser und den Luftmassen des westlichen Randstromsystems zwischen Japan und den philippinischen Inseln sowie im Südchinesischen Meer.

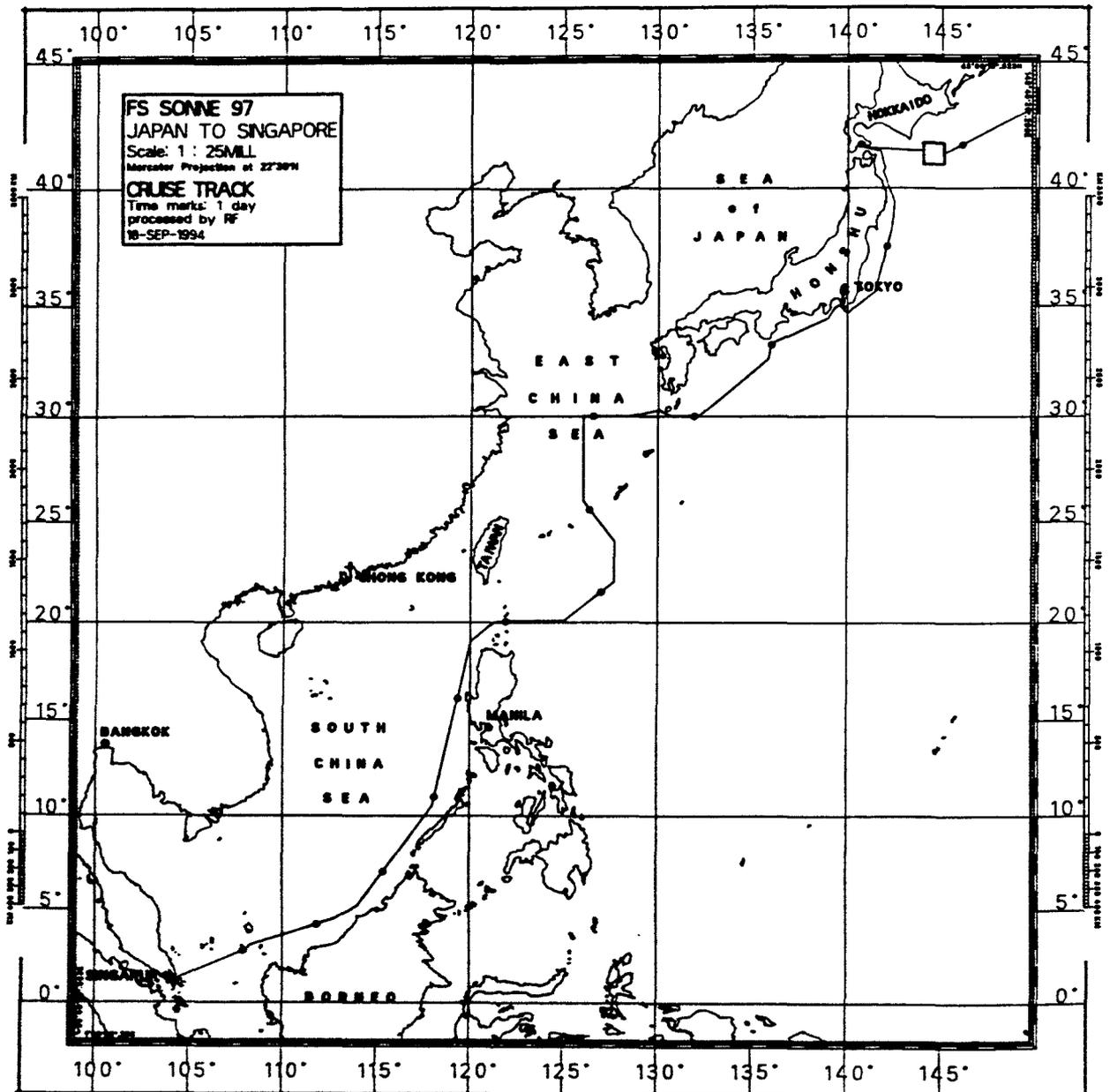
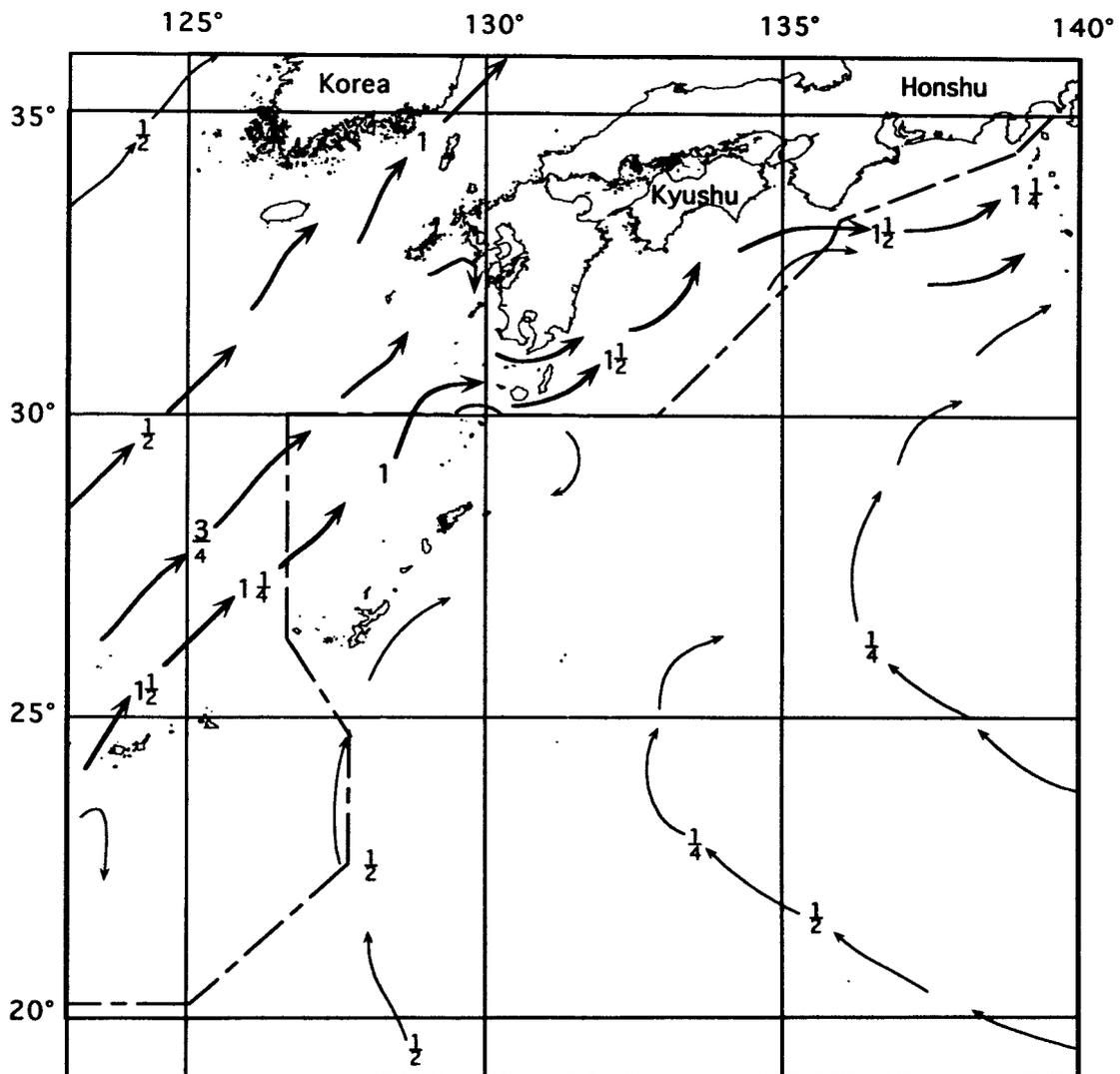


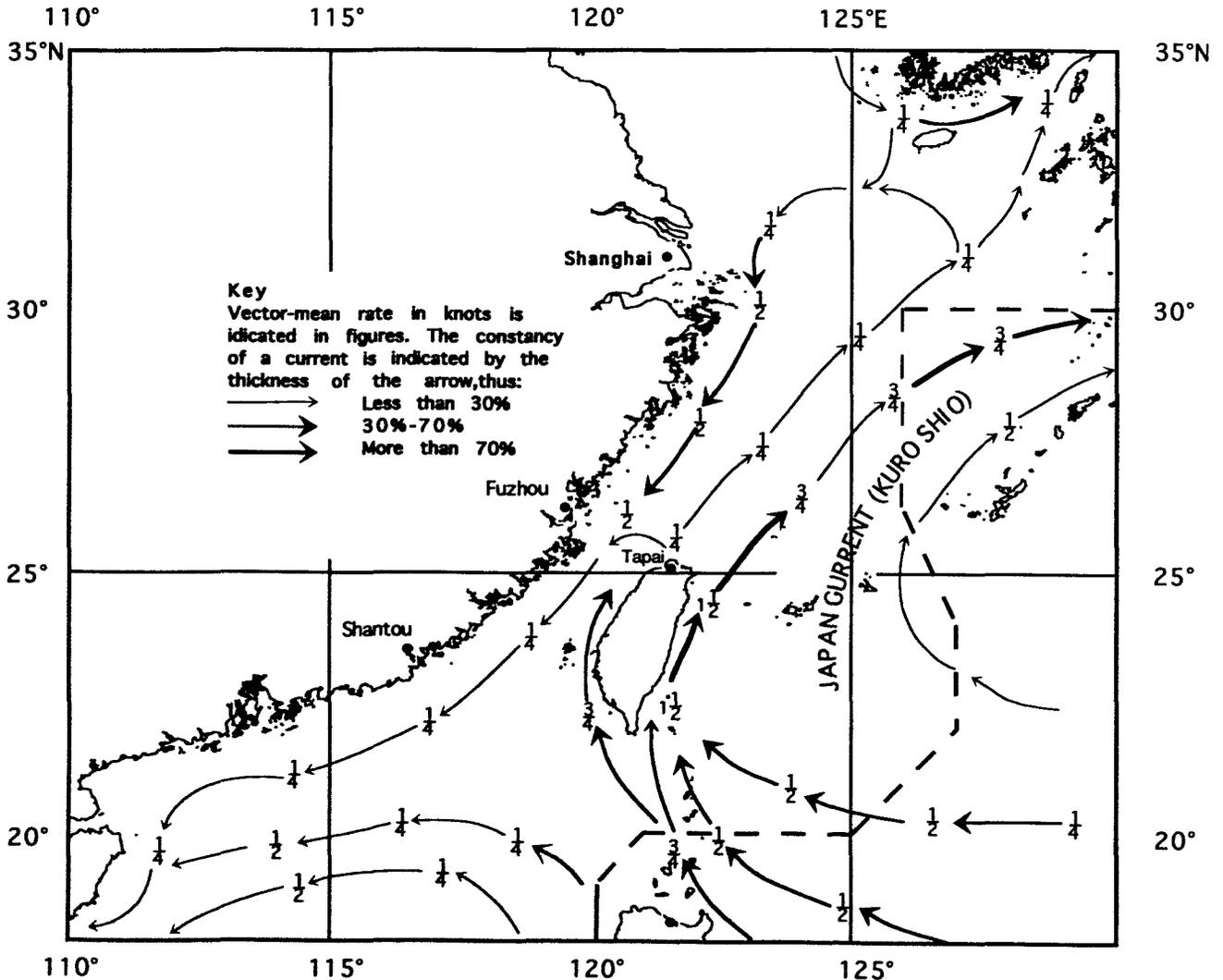
Abb. 68: Fahrtroute der Reise SO97-3; die Markierungen sind die täglichen Positionen um 00 Uhr vom 7. September (Tokyo) bis 19. September 1994 (Singapur).



**Abb. 69:** Fahrtroute des ersten Teilabschnittes südlich und westlich von Japan mit Angaben über die mittlere Strömungsgeschwindigkeit des Kuroshio (in Knoten) für Juli; die Strichdicke gibt die zu erwartende Konstanz der Strömung wie folgt an: >30%, 30%-70% und > 70%. Modifiziert nach: *The Japan Pilot vol II; Hydrographic Office of the Navy, Somerset, England; 1979.*

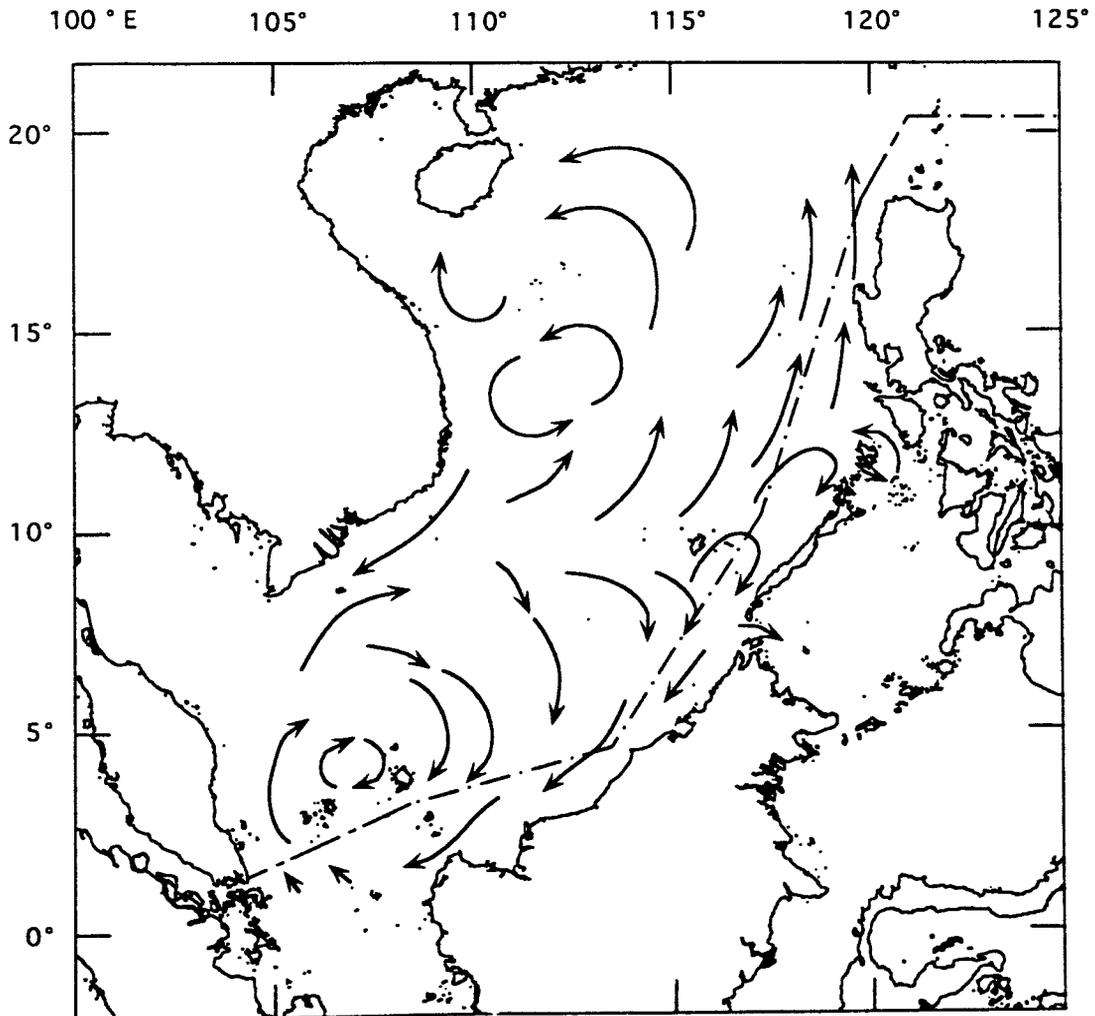
Vier Arbeitsgruppen beteiligen sich an den Untersuchungen: GEOMAR-Kiel mit Messungen zur CH<sub>4</sub>- und CO<sub>2</sub>-Verteilung; SFB 313-Kiel mit Probennahme zur Biomarkerbestimmung in partikulärem Material; IfM-Kiel mit Probennahme zur Verteilung halogener Kohlenwasserstoffe in der Luft und MPI-Mainz mit kontinuierlichen Messungen der DMS (Dimethylsulfid)-, N<sub>2</sub>O und CH<sub>4</sub>-Gehalte.

Die Fahrtroute war ursprünglich so gewählt, daß die Stromsysteme Oyashio und Kuroshio mehrmals senkrecht zur Stromrichtung gekreuzt, und daß östlich der Philippinen der Nordäquatorialstrom erfaßt werden sollte. Leider konnte aus logistischen Gründen der Fahrtabschnitt nicht, wie geplant, in Hakodate auf Hokkaido beginnen, sondern mußte nach Tokyo verlegt werden. Dadurch wurde der wichtige Zusammenfluß von Oyashio und Kuroshio nicht beprobt, was die Untersuchungen zur Verteilung der Spurenstoffe bei niedrigen Temperaturen und



**Abb. 70:** Fahrtroute des zweiten Teilabschnittes zwischen Japan und den Philippinen mit Angaben über die mittlere Strömungsgeschwindigkeit des Kuroshio (in Knoten) für Juli; die Strichdicke gibt die zu erwartende Konstanz der Strömung wie folgt an: >30%, 30%-70% und >70%. Modifiziert nach: *The China Sea Pilot vol. III; Hydrographic Office of the Navy, Somerset, England; 1982.*

erhöhter Bioproduktion beeinträchtigte. Statt dessen begann die Beprobung im Kuroshio südlich von Tokyo, wo maximale Stromgeschwindigkeiten vorherrschten. Da hier aber der Strom dicht unter Land fließt, konnte südlich von Shikoku sogar schon nordäquatoriales Oberflächenwasser beprobt werden. Südlich der Insel Kyushu wurde noch zweimal der Kuroshio durchquert, einmal zonal bei 30°N Breite und einmal meridional entlang 126°E Länge. Auf beiden Schnitten mußten Teilstücke ohne Forschungstätigkeit gefahren werden, weil



**Abb. 71:** Fahrtroute des dritten Teilabschnittes zwischen den Philippinen und der malayischen Halbinsel mit Angaben über die mittlere Geschwindigkeit der vorherrschenden Oberflächenzirkulation für Juli. Zusammengestellt nach: *The China Sea Pilot vol I und II; Hydrographic Office of the Navy, Somerset, England; 1982 und 1987.*

die Fahrtroute innerhalb der 50-Meilen-Zone an den japanischen Inseln vorbeiführte. Zwischen 25°N und 20°N wurden ausschließlich Wassermassen des Nordäquatorialstromes beprobt. Nach westlichem Kurs entlang 20°N Breite führte dann die Route durch die Passage zwischen Taiwan und Luzon. Hierbei konnte das Gebiet intensiv beprobt werden, in dem nordäquatoriale Wassermassen umgelenkt werden und damit den Ursprung des Kuroshio bilden. Nach Einlaufen in das Südchinesische Meer führte die Route nach S entlang der Westseite der philippinischen Inseln und der NW-Küste Borneos nach Singapur.

Der Fahrtrichter folgt in seinem Aufbau den Zielen der vier Arbeitsgruppen. Die halogenierten KWs werden zuerst behandelt, dann die Spurengase N<sub>2</sub>O und DMS und schließlich CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub>. Jedes Kapitel enthält eine allgemeine Einleitung über das spezielle Forschungsthema und die Ziele, gefolgt von der Beschreibung der Probennahme und, wo möglich, eine kurze Darstellung ausgewählter Ergebnisse. Das letzte Kapitel beschäftigt sich mit den unterstützenden Daten und einer kurzen technischen Darstellung über die Versorgung von kontaminationsfreiem Meerwasser.

## 2. Spurengase im westlichen Randstrom

E. Suess

Die kontinuierliche Erfassung von anthropogenen und biogenen Spurenstoffen ist deshalb wichtig, weil gegenwärtig immer darauf hingewiesen wird, daß eine wesentlich höhere Heterogenität in der Verteilung der Spurenstoffe zwischen Ozean und Atmosphäre besteht, als bisher angenommen. Mesoskalige Zirkulationszellen, Produktivitätsereignisse und Frontenbereiche von Wassermassen bestimmen ihre Quellstärken (bzw. Senken) nachhaltig. Ebenso machen sich die anthropogenen Quellen deutlich in erhöhten Gehalten bestimmter Spurenstoffe bemerkbar. Die Fahrtroute SO97-3 führte durch mehrere Wassermassen des westlichen Randstromes, sodaß ein hervorragendes Bild der Verteilungsmuster der Spurenstoffe über diesen Teil des globalen Ozeans gewonnen werden konnte (Abb. 69-71).

Entlang der Fahrtroute wurden die leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffe (KW) in den verschiedenen Luftmassen erfaßt, im Oberflächenwasser das schwefelhaltige Gas Dimethylsulfid (DMS) und schließlich die klimarelevanten Spurengase Stickoxid (N<sub>2</sub>O), Methan (CH<sub>4</sub>) und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) - letztere wurden in der Luft und im Wasser bestimmt. Diese Spurengase stehen in einem ständigen Austausch mit der Atmosphäre. Sie besitzen ozeanische, anthropogene und biologische Quellen, die es zu unterscheiden galt. DMS spielt eine Rolle bei der Wolkenbildung, und die anderen Stoffen gehören zu den wichtigen Treibhausgasen. Schließlich wurden großvolumige Filterproben gewonnen, um die Verteilung von Alkenonen zu untersuchen. Diese Biomarker, die von Coccolithen aufgebaut werden, zeichnen die Oberflächentemperatur und in ihrer isotopischen Zusammensetzung auch den

CO<sub>2</sub>-Partialdruck auf. Dies ist ein wichtiger Ansatz für die Rekonstruktion von Umweltparametern aus fossilen Ablagerungen.

Allen Arbeitsgruppen diene eine koordinierte, kontinuierliche Erfassung von unterstützenden Daten über die Luft- und Oberflächenwassertemperaturen, Salzgehalt, pH, Windgeschwindigkeit, Luftfeuchte und -Druck sowie diskrete Probenahme zur Bestimmung von Nährstoffen, Chlorophyll *a* und DOM (gelöster organischer Kohlenstoff). Dieser Summenparameter wurde durch optische Absorptionsmessungen bestimmt. Zusammen mit Chlorophyll *a* dient DOM als Maß für die jeweils vorherrschende biologische Aktivität.

Die diskrete Probenahme sowie die kontinuierlichen Messungen erfolgten durch das schiffseigene kontaminationsfreie Pumpsystem, das aus ca. 6 m Wassertiefe bei voller Fahrt Oberflächenwasser blasenfrei fördert. Für die Messungen von CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O wurde ein Äquilibrationsverfahren verwendet, in dem durch Versprühen einer Wasserprobe in einem geschlossenen System eine mit den Gasen gesättigte Atmosphäre entsteht. Daraus werden in vorgegebenen Zeitabständen automatisch konstante Gasvolumina durch die verschiedenen GCs analysiert. Auf diese Weise wurden z.B. für die Messungen von Partialdrücken des CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> innerhalb von 60 Minuten eine Serie von drei Messungen aus dem Oberflächenwasser, eine Messung aus der Luft und zwei Messungen an Standardgasen durchgeführt. Eine ähnliche Probenhäufigkeit wurde für die N<sub>2</sub>O und ein weiteres, leicht modifiziertes CH<sub>4</sub>-Äquilibrationssystem erzielt.

Für Nährstoff-, Chlorophyll *a*-, DOM- sowie DMS-Messungen wurde im Durchschnitt alle 2-3 Stunden eine Probe gemessen. Für die Probenverteilung der großvolumigen Filtration wurden in 5-6-stündigen Abständen bis zu 700 Liter Wasser bewältigt, was einer durchschnittlichen Strecke von 100 km entsprach. Das gleiche gilt für die Probenstrecke der Luftproben zur KW-Messung, wobei bis 20 Liter Luft durch Adsorbentien gepumpt wurden. Für die Entnahme der Luftproben wurden Ansaugvorrichtungen auf dem Vormast des Schiffes installiert.

Mit dem Monat September wurden auf der gesamten Reise die maximalen Sommertemperaturen festgestellt, so daß mit dem gewonnenen Datensatz eine Extremsituation dokumentiert wurde. Die jährlichen Schwankungen sind mit 10°C am höchsten im Ostchinesischen Meer, mit maximal 4°C deutlich geringer im Südchinesischen Meer und mit 2-4°C am geringsten in den Wassermassen südlich von Honshu. Die Temperaturschwankungen sind gerade für den Spurengasaustausch besonders kritisch, und die Interpretation der Daten muß natürlich die Extremsituation von September berücksichtigen.

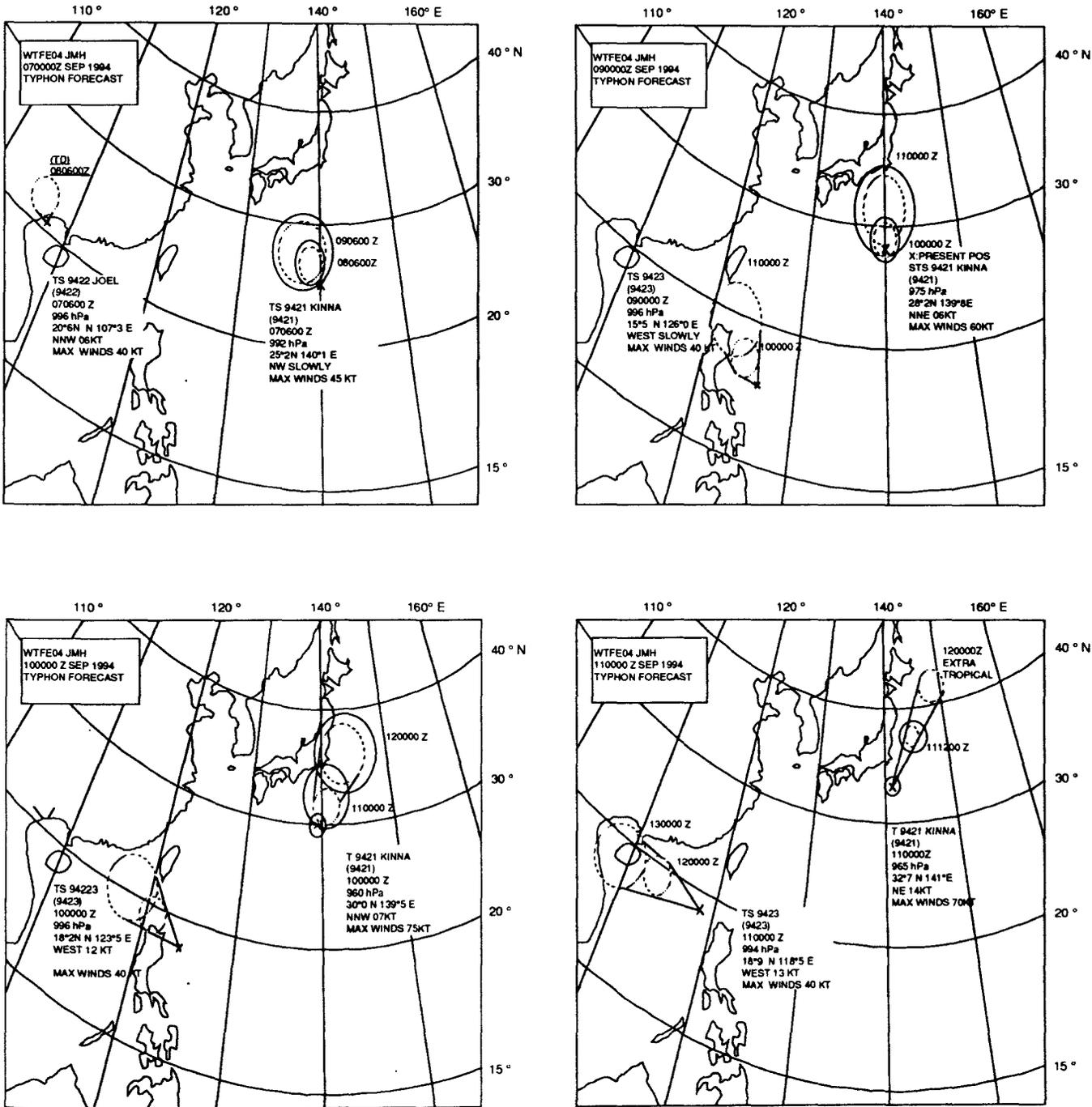
### 3. Fahrtverlauf

E. Suess

Am 7.9. um 10 Uhr Ortszeit verließ FS SONNE bei heiß-feuchter Luft aber ruhigen Windverhältnissen den Hafen von Tokyo in Richtung Singapur. An Bord befanden sich nach Austausch von Personal und Gerät des vorangegangenen Fahrtabschnittes neun Wissenschaftler/innen aus vier Arbeitsgruppen (IfM Kiel, MPI-Mainz, SFB 313 und GEOMAR). Wir erreichten schon nach sechs Stunden südlich von Tokyo das Zentrum des Kuroshio. Wir dampften zuerst in der Längsachse des Stromes, änderten aber am 8.8. gegen 10 Uhr den Kurs nach Süden, um aus dem Einflußbereich der starken Gegenströmung und in eine andere Wassermasse zu gelangen. Erneut nach sechs Stunden waren wir zu einer weiteren Kursänderung gezwungen, da uns die eingeschlagene Richtung in das Einflußgebiet des tropischen Sturmes KINNA geführt hätte. Wir zogen es vor, gemäß der Regel Nr. 1 der US Navy bei Taifunwarnung "Get the hell out of here", das Gebiet schnellstens nach SW hin zu umfahren.

So erreichten wir am folgenden Tag, den 9.9. gegen Mittag, den vorher geplanten E-W Schnitt, der uns südlich der Insel Kyushu und von dort auf den Schelf des Ostchinesischen Meeres führte. Hier beobachteten wir aus sicherer Entfernung, wie sich KINNA zu einem Taifun entwickelte und knapp Tokyo und die Izu-Halbinsel schonend nach NE abdrehte (Abb. 72). Mit der Position 30°N und 126°E hatten wir den nordwestlichsten Punkt der Route erreicht und erkannten anhand der deutlichen Zunahme der Si-Gehalte, daß wir die westliche Begrenzung des Kuroshio wie geplant überschritten hatten. Die anderen Parameter T, S und Nährstoffe zeigten keine signifikanten Änderungen.

Von hier dampften wir nach S und durchquerten am 11.9. zwischen Taiwan und Okinawa noch einmal den Kuroshio-Strom, um so in die Wassermassen des Nordäquatorialstromes zu gelangen. Alle Analysen-Systeme funktionierten von Anfang der Reise an einwandfrei und erfuhren nur kurzfristige Unterbrechungen, hauptsächlich zur Wartung und Kalibrierung. Die wichtigste Erkenntnis für uns war bis zu diesem Zeitpunkt, wie nährstoffarm und wie wenig biologisch aktiv sich zu dieser Jahreszeit das System des Kuroshio und des Nordäquatorialstroms darstellten. Die Luft- und Wassertemperaturen bewegten sich Tag und Nacht nur zwischen 28° und 29° C, und auch der Salzgehalt schwankte wenig. Das Oberflächenwasser im gesamten Stromsystem ist so extrem an Nährstoffen verarmt, daß Phosphat und Nitrat mit weniger als 0.1µmol/l nicht mehr zuverlässig nachweisbar waren; der Autoanalysator "ANTON" kam deshalb nicht zum Einsatz. Nur Silikat konnte manuell durch eine verlängerte optische Zelle mit genügender Genauigkeit gemessen werden. Die Si-Gehalte um 3.0 µmol/l auf dem Schelf des Ostchinesischen Meeres und in der Nähe der japanischen Inselkette erschienen uns schon hoch, denn im Nordäquatorialstrom bewegten sich die Werte um  $1.3 \pm 0.2$  µmol/l. Trotzdem gelang es, einige Grenzen der Wassermassen anhand des Si-Gehaltes zu identifizieren.



**Abb. 72:** Taifunvorhersage für den 9.-11. September 1994; das tropische Tiefdruckgebiet KINNA entwickelte sich in dieser Zeit zu einem Taifun mit Richtung auf das Untersuchungsgebiet. Entsprechend dieser Vorhersage wurde die Fahrtroute südlich von Japan geändert, so daß eine Durchquerung des Kuroshio nicht bei 140°E erfolgte, sondern erst zwei Tage später bei 130°E.

Am 11.9. gegen 20 Uhr hatten wir den südöstlichsten Punkt im Nordäquatorialstrom erreicht und nahmen zunächst Kurs nach SW und schließlich nach W, um durch den Balintang Channel, die Inselkette zwischen Luzon und Taiwan, in das Südchinesische Meer einzulaufen. Diesen Punkt erreichten wir am 13.9. um 00 Uhr. Von hier führte die Strecke am östlichen Rand des Südchinesischen Meeres innerhalb der philippinischen 200-Meilenzone nach Süden. Hier folgten wir der, den Seefahrern seit Jahrhunderten bekannten, Palawan-Passage durch den gefährlichen Grund des Südchinesischen Meeres. Am 14.9. um 06 Uhr passierten wir die Breite von Manila und um 12 Uhr die Mindoro-Straße, welche die Inselgruppen um Mindoro von denen um Palawan trennt.

Das Strömungssystem soll in dieser Gegend im September eine interessante Umkehr zeigen (Abb. 71), denn mit dem Beginn des Monsuns bilden sich im Südchinesischen Meer zwei Wirbel aus: ein cyclonischer Wirbel im SW und ein anticyclonischer Wirbel im NW. Hierdurch strömt das Oberflächenwasser nördlich von ca. 10°N nach NE entlang der Inseln Mindoro und Luzon und südlich von 10°N unter schwachem Einstrom aus der Sulu See nach SW entlang der Inseln Palawan und Borneo. Der Si-Gehalt zeigt hier ebenfalls eine Grenze mit erhöhten Werten (>2 µmol/l) südlich und niedrigeren Werten (<2 µmol/l) nördlich von 10°N, welche mit diesem Muster der Zirkulation in Zusammenhang stehen könnte. Hervorzuheben waren auch einige recht hohe Si-Werte (3-6 µmol/l) entlang der NW-Küste von Luzon. Vielleicht könnte ein lokaler Auftrieb oder die Landnähe hierfür verantwortlich sein; Phosphat zeigte diesen Trend nicht.

Um 00 Uhr am 16.9. erreichten wir mit dem SW-Ende von Palawan die Grenze der philippinischen 200-Meilenzone, womit die offizielle Forschungstätigkeit endete. Am 16.9. gegen 19 Uhr fuhren wir vor Brunei auf den malayischen Schelf und passierten am 17.9. gegen 23 Uhr die Natuna-Inselgruppe. Auf diesem Teil der Reise herrschte Windstille, die See war glatt und die Oberflächentemperatur stieg auf über 30°C; die Lufttemperatur betrug 29°C und die relative Feuchtigkeit lag ständig >90%.

Auch während der zweiten Woche arbeiteten alle Analysen-Systeme sowie die Meerwasserversorgung durch das schiffseigene Pumpsystem einwandfrei. So konnte ohne Unterbrechung der begonnene Datensatz der kontinuierlichen Messungen sowie der diskreten Einzelbeprobungen vervollständigt werden.

Insgesamt war die Reise geprägt durch die lange Dampfstrecke von >4000 Seemeilen und die kontinuierliche Meßtätigkeit. Hierdurch wurde ein umfangreicher Datensatz von Parametern primären Interesses, wie pCO<sub>2</sub>, pCH<sub>4</sub>, pN<sub>2</sub>O und DMS zusammengetragen, der erst nach sorgfältiger Aufbereitung überschaubar werden wird. Das gleiche gilt für die unterstützenden Daten: Temperatur, Salzgehalt, Wind, DOM, Chlorophyll und Silikat. Die an Adsorbentien gesammelten halogenierten KWs aus der Luft und auf Filtern fixierten Alkenone und n-Alkane des Oberflächenwassers werden überhaupt erst nach der Reise in den Landlabors der Gruppen analysiert.

Über die vorläufigen Ergebnissen ist zusammenfassend von Bord zu berichten, daß auf der gesamten Strecke der  $p\text{CO}_2$ -Wert des Oberflächenwassers stets höher war als der in der Luft und kleinen Schwankungen unterworfen ist. Wir vermuten, daß unterschiedliche Wassermassen, vielleicht auch Tag-Nacht-Unterschiede, für die Schwankungen verantwortlich sind, daß aber generell die Übersättigung auf die z.Zt. herrschenden maximalen Temperaturen und niedrige biologische C-Fixierung zurückzuführen und damit saisonal ist.

Geringe Gehalte an DMS (unter 2 nmol/l) kennzeichneten die gesamte Meßstrecke. Für globale Austauschvorgänge und die S-Bilanz der Atmosphäre gehören diese zu den niedrigsten bekannten Werten. Auf dem Schelf im Ostchinesischen Meer und bei der Durchquerung des Balintang Channels wurden deutlich erhöhte DMS-Gehalte gemessen, die generell mit den höheren Si-Konzentrationen übereinstimmten. Sonderbarerweise waren aber die Gehalte an DMS im Südchinesischen Meer die niedrigsten überhaupt und es konnte keine Beziehung zu den anderen Parametern festgestellt werden.

Für  $p\text{CH}_4$  wurde wie für  $p\text{CO}_2$  eine leichte Übersättigung des Oberflächenwassers und geringe Schwankungen festgestellt. Mit Ausnahme einiger höchst interessanter Teilstücke mit sehr starker  $\text{CH}_4$ -Übersättigung, kann über die Ursache der geringen Schwankungen z.Zt. wenig gesagt werden. Hingegen sind die lokalen Übersättigungen von bis zu 5-mal des Gehaltes an  $\text{CH}_4$  in der Luft auf Teilstrecken vor der Küste von Palawan sehr wahrscheinlich auf natürliche "cold seeps" zurückzuführen.

In der Nacht zum 19.9. erreichten wir die Singapur-Straße und liefen am Morgen in den Hafen ein. Nach der Einklarierung gegen 10 Uhr begann die Fahrt zum Keppel Shipyard, wo FS SONNE zu einem planmäßigen Werftaufenthalt eindockte.

#### 4. Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe B. Quack

##### 4.1 Einleitung

Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe sind in der Atmosphäre und den Ozeanen weltweit verbreitet. Bis zum Beginn der 70er Jahre wurde angenommen, daß Halogene nur als anorganische Gase in der Atmosphäre vorkommen und in dieser Form an den natürlichen geochemischen Kreisläufen der Elemente teilnehmen (Pearson, 1980; Cicerone, 1981). Lovelock und Mitarbeitern gelang es, leichtflüchtige organische Halogenkohlenwasserstoffe in der Umwelt gaschromatographisch mit Hilfe eines hochsensitiven und selektiven Elektronen-Einfang-Detektors nachzuweisen (Lovelock et al., 1973; Lovelock, 1975). Dabei machten sie die überraschende Entdeckung, daß neben den in der Atmosphäre vermuteten anthropogenen Chlor-Fluor-Kohlenwasserstoffen

auch andere flüchtige, halogenierte Kohlenwasserstoffe ubiquitär verbreitet sind, deren Herkunft zunächst nicht gedeutet werden konnte. Hinweise auf einen ozeanischen Ursprung der Substanzen konnten durch Untersuchungen der letzten 20 Jahre bestätigt werden.

Das Meerwasser enthält eine Reihe flüchtiger organischer Halogenkohlenwasserstoffe (Dyrssen and Fogelqvist, 1981; Klick and Abrahamson, 1992), die aus marinen Organismen (Gschwend, 1985; Manley and Dastoor, 1988) und chemischen Reaktionen (Zafiriou, 1975) stammen. Vor allem bromierte, jodierte, sowie mit Chlor gemischthalogenierte Methane und Ethane können aus dem Meer in die Atmosphäre gelangen. Einige dieser Substanzen wurden in den 80er Jahren in der Atmosphäre nachgewiesen (Berg et al., 1984, Penkett et al., 1985; Class and Ballschmiter, 1988).

In der Atmosphäre über den Ozeanen sind neben diesen natürlichen Verbindungen eine Reihe von leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen identifiziert worden (Singh et al., 1983; Rasmussen and Khalil, 1983), die als industrielle Abfallstoffe ihren Weg über Flüsse oder die Luft in die marine Umwelt finden. Hier handelt es sich hauptsächlich um chlorierte und fluorierte Methane und Ethane sowie chlorierte Ethene, von denen bisher nur wenige allgemein bekannt wurden, z.B. Tetrachlorethen (Per) als Atem- und Lebergift aus Reinigungen und Chlorfluorkohlenwasserstoffe (CFKW) aus Spraydosen und Kühlschränken als "Ozonkiller". Je nach Konzentration und vorherrschenden Gleichgewichtsbedingungen kann das Meerwasser Quelle oder Senke für die leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffe der Troposphäre sein. Es ist sehr wahrscheinlich, daß das Meerwasser als direkte oder indirekte Quelle über marine Organismen einen wesentlichen Anteil zum atmosphärischen Gehalt der Verbindungen beiträgt.

Trotz der intensiven Forschung der letzten Jahre sind die Fragen nach den Gehalten der Atmosphäre und der Ozeane an organischen Spurenstoffen sowie nach ihren Quellen, Senken und Kreisläufen nur zu einem kleinen Teil beantwortet. Aufgrund der anthropogenen Emissionen vieler organischer Spurengase hat sich die Zusammensetzung der Erdatmosphäre grundlegend geändert (Prinn, 1988). Folgende Belange fordern u. a. zu Messungen der leichtflüchtigen organischen Halogenverbindungen auf, die nur einen verschwindend kleinen Teil des Gesamtgehaltes der gasförmigen Stoffe in der Atmosphäre ausmachen. Die Verbindungen besitzen große Bedeutung für die Kreisläufe der Elemente (Kritz and Ranher, 1980) und für die oxidativen Kapazitäten der Atmosphäre. Sie reagieren mit OH-Radikalen zu verschiedenen polaren Folgeprodukten, die durch Regen aus der Atmosphäre ausgetragen werden (Pearson, 1980). Die durch Photolyse gebildeten Halogenatome können troposphärisches (Barrie et al., 1988) und stratosphärisches Ozon (Molina and Rowland, 1974) zerstören. Die fluor-, chlor-, brom- und jodhaltigen Verbindungen werden darüber hinaus als Schadstoffe im Zusammenhang mit dem Treibhauseffekt (Ramanathan et al., 1985) und dem Waldsterben (Frank, 1991) diskutiert. Sie besitzen toxische Wirkungen auf tierische Organismen (Darnerud et al., 1989), und eine Reihe toxischer, mutagener

und kanzerogener Wirkungen für den Menschen ist bekannt (Wirth und Gloxhuber, 1985). Der Zusammenhang zwischen der Entstehung von Krebs und dem Einatmen niedrigdosierter leichtflüchtiger organischer Verbindungen ist Gegenstand lebhafter Debatten (Singh et al., 1992, Schaumburg, 1990). Die marine Umwelt ist ein wichtiges Untersuchungsgebiet für die chlorierten, bromierten und jodierten Verbindungen, da der Ozean mit der marinen Atmosphäre eine komplexe und bedeutende Rolle im Kreislauf der Verbindungen spielt. Sie sind Gegenstand neuester Forschungen, da die komplexen Gemische der Verbindungen erst in den letzten Jahren durch verbesserte Analysemöglichkeiten aufgeklärt werden können.

#### **4.2. Zielsetzung**

Aus dem Bereich des Nord-West-Pazifik liegen bisher nur vereinzelte Messungen einiger dieser Substanzen in der Troposphäre vor. Ziel der Untersuchungen auf dieser Forschungsreise war es, mittels einer hochsensitiven Analytik das komplexe Gemisch halogener und anderer organischer Spurengase (Alkylnitrate, Kohlenwasserstoffe) der nordwestpazifischen Atmosphäre in unterschiedlichen Luftmassen zu bestimmen, um Quellen, Transport und Verbleib der Verbindungen im Bereich des Shikoku-Beckens, des ostchinesischen und südchinesischen Meeres und des Philippinenmeeres zu beleuchten. Auf der Fahrt sollte es möglich sein, Luftmassen der Nordhemisphäre aus dem Zentralpazifik und Luftmassen der Südhemisphäre aus dem Indischen Ozean zu beproben.

Die Fahrtroute bot in Verbindung mit der Jahreszeit, eine sehr gute Gelegenheit, verschiedene Luftmassen und Klimazonen der westpazifischen Atmosphäre während einer Spätsommersituation zu untersuchen. Nördlich ca. 35°N liegt die Westwindzone der gemäßigten Breiten, zwischen 35°N und 25°N liegt der subtropische Hochdruckgürtel, zwischen 32°N und 10°N wehen im Sommer die Nordostpassate und die innertropische Konvergenz (ITC) liegt nördlich 5°N. Ihre Lage schwankt je nach Seegebiet. Unter dem Einfluß des im Sommer über dem asiatischen Festland herrschenden Tiefdruckgebietes ist die ITC im Sommer westlich von ca. 150°E im Westpazifik praktisch nicht mehr vorhanden. Unter Einfluß dieses Tiefdruckgebietes verlagern sich die Südostpassate der Südhalbkugel nach Norden, drehen sich oberhalb des Äquators nach West und sind somit die Quellgebiete für den Südwestmonsun in den südostasiatischen Seegebieten. Das asiatische Tief beeinflußt die Zirkulation im West- bis Zentralpazifik ebenfalls, so daß südöstliche Winde im Shikoku-Becken die Folge sind. Im ostchinesischen Meer werden diese Winde als Südost-Sommermonsun bezeichnet. Im südchinesischen Meer weht der Südwest-Sommermonsun (Ocean Passages, 1987). Die Luftmassen, die mit den Winden herantransportiert wurden, sollten also während des nördlichen Fahrtabschnittes ihren Ursprung im Zentralpazifik haben und aus der Nordhemisphäre stammen, und die Luftmassen, die während des südlichen Fahrtabschnittes beprobt wurden, sollten Luft der Südhemisphäre charakterisieren. Es ist zu erwarten, daß die Gehalte der

Spurengase, insbesondere die der anthropogen, in den beiden Hemisphären unterschiedlich sind, da der inter-hemisphärische Luftaustausch ca. ein Jahr dauert (Junge, 1978), und die Substanzen relativ kurze Lebenszeiten besitzen (je nach Substanz 10 Tage bis 2 Jahre).

Die Atmosphäre über diesen ostpazifischen Meeresgebieten ist im September labil geschichtet, da das Meerwasser häufig wärmer ist ( $>29^{\circ}\text{C}$ ) als die Luft ( $27-28^{\circ}\text{C}$ ), so daß gasförmige Verbindungen leichter aus dem Wasser in die Troposphäre gelangen können. Die Windgeschwindigkeiten sind im allgemeinen jedoch recht niedrig, so daß der windgetriebene Austausch behindert ist. Das Gebiet zeichnet sich durch einen hohen Organismenreichtum aus, so daß das Meerwasser als indirekte Quelle für leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe in der Atmosphäre eine Rolle spielen kann. Vielleicht kann festgestellt werden, wie groß der Einfluß der meteorologischen Größen Temperatur (Schichtung) und Wind auf den Austausch der Verbindungen in den unterschiedlichen Luftmassen und Seegebieten ist.

Einige größere Städte liegen im Einzugsgebiet der beprobten Luftmassen. Die dort in die Luft entlassenen Schadstoffe können als Tracer für anthropogen beeinflusste Luftmassen dienen. Die Beprobung der Atmosphäre auf der Fahrtroute bietet die Möglichkeit, neben der Aufklärung der Substanzen, ihren Gehalt in der Troposphäre und ihre Herkunft mittels meteorologischer und ozeanographischer Daten zu interpretieren. Das gemeinsame Auftreten der Verbindungen und der Spurengase Kohlendioxid, Methan und Distickstoffoxid, die ebenfalls an Bord FS SONNE bestimmt wurden, soll weiteren Aufschluß über das Verhalten der Stoffe in der marinen Umwelt geben.

### 4.3 Probennahme

Für die Untersuchungen wurden während der Fahrt von Tokyo nach Singapur an Bord von FS SONNE Luftproben gewonnen, die gaschromatographisch im GEOMAR (Kiel) untersucht werden. Die Probennahme erfolgte auf Adsorbentien. Mit Hilfe kleiner batteriebetriebener Konstantflußpumpen wurden an zwei Auslegern (2 m lange Stahlrohre, die extra zu diesem Zweck vor dem Peildeck des Schiffes angebracht wurden) rund um die Uhr Proben gewonnen. 5 bis 20 l Luft (i.a. 15 l) wurden während einer bis fünf Stunden durch Adsorbens enthaltene Glasrohre gesaugt, die vorher an Bord thermisch gereinigt wurden. Als Adsorbentien wurden Tenax GR, Tenax TA und Carbosieve SIII verwendet. Probenzyklen waren 5-10 Uhr (Morgen), 11-16 Uhr (Mittag), 17-22 Uhr (Abend) und 23-4 Uhr (Nacht). Während dieser Zyklen wurden ca. 60 Proben gewonnen, darunter ca. 30 Doppel- und Additionszeitproben sowie ca. 30 Durchbruchproben, um die Qualität der Probennahme zu gewährleisten. Die Glasrohre wurden abgeschmolzen, in der Kühltruhe ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) gelagert und in Trockeneis gekühlt nach Kiel transportiert.

## 5. Climatically relevant biogases : dimethyl sulfide, nitrous oxide and methane air-sea exchanges

D. Amouroux and T. Besson

The assessment of marine biogases on atmospheric processes is now a necessity to understand the role of the oceans on climate regulation. The marine biosphere is producing several kinds of gaseous compounds able to diffuse to the atmosphere. Nitrous oxide ( $\text{N}_2\text{O}$ ) and methane ( $\text{CH}_4$ ) are recognised as efficient natural greenhouse gases influencing the global warming budget. Dimethyl sulfide (DMS) emitted to the air may indirectly increase the albedo of clouds via sulfate aerosol formation and consequently may produce a negative warming effect. We report here the study performed during SO97-3 cruise, between Tokyo and Singapore, centred on the potential sea to air fluxes of these 3 biogases in the western boundary current system of the Pacific Ocean.

### 5.1 Objectives

Two types of objectives have been addressed:

- Determine the air-sea exchange fluxes for DMS,  $\text{N}_2\text{O}$  and  $\text{CH}_4$  in this oceanic area, and in particular, assess the role of a tropical current like the Kuroshio.
- Study the different driving processes in such oligotrophic waters leading to the production of biogases. These processes are related to the hydrological and meteorological conditions, characterised here by high temperature and low productivity. Also, collaborative results are expected with other participants of this cruise.

### 5.2 DMS

Marine algae produce dimethylsulfonium propionate (DMSP), an osmo-regulating compound, after reductive incorporation of sulfate anion. DMSP can be then cleaved in DMS. DMS production is mainly dependent on plankton speciation and hydrological conditions, but this has not been found to be directly correlated with algal biomass. After diffusing to the atmosphere, DMS can be oxidised, leading to sulfate aerosols. These aerosols are able to influence cloud stability and reflectivity (Andreae, 1990). This potential climate feedback involving phytoplankton and sulfur have been previously presented as an example of the Gaia hypothesis.

It is also important to note that some other volatile sulfides occur in seawater, e.g. hydrogen sulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ ), carbonyl sulfide (COS), methyl mercaptan (MeSH) and dimethyl disulfide (DMDS). The last methylated sulfides seem to be more

related to the plankton biomass but they have lower global fluxes to the air than DMS, which has a flux estimated to be between 0.6 and 1.7 Tmol S / year.

### 5.3 Nitrous oxide and methane

The oceans are not a principal source for N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> to the atmosphere. Nevertheless, relatively important sea to air fluxes have been found for both compounds in the marine environment. Production of these compounds due to reductive microbiological activity had not been expected within the oxic oceanic surface layer (Bange, 1994).

N<sub>2</sub>O is believed to be mainly produced by *Nitrosomonas* bacteria within the water column via nitrite reduction. Consequently, the N<sub>2</sub>O diffusing to the atmosphere represents one important sink of the nitrogen biogeochemical cycle in the ocean.

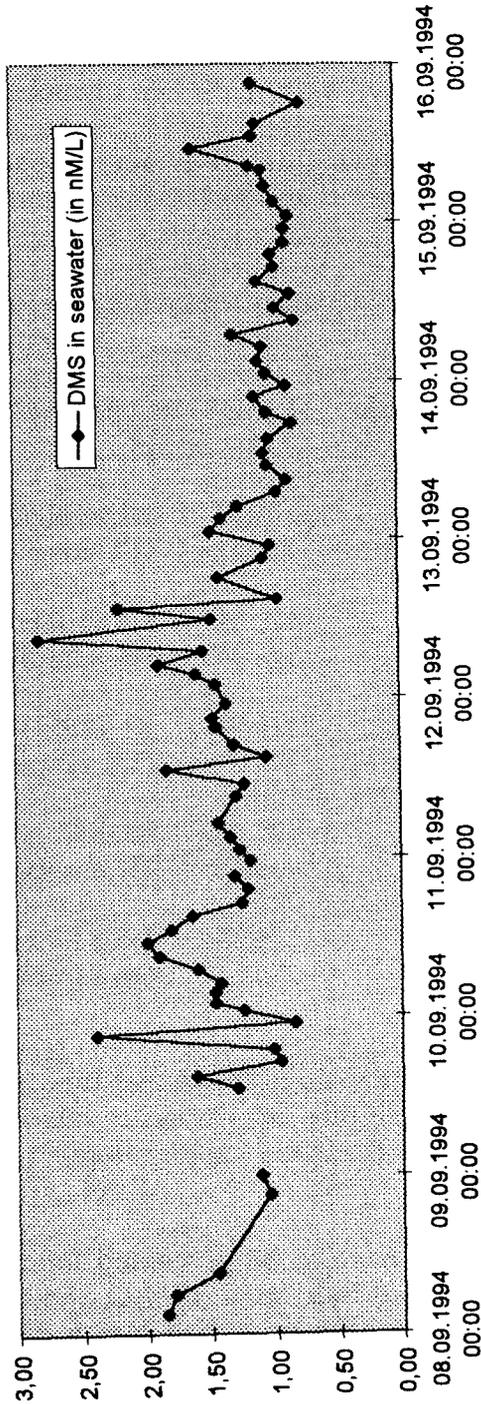
More development on CH<sub>4</sub> and carbon cycle problem are presented in chapters 6 and 7 of this report. Intercalibration of the two methane equilibration systems will be also performed based on the available data.

### 5.4 Sampling and analysis

Because DMS is always highly supersaturated in seawater, it is only necessary to determine the dissolved gas concentration in surface water in order to calculate the sea to air fluxes (Andreae and Barnard, 1983). DMS is monitored on discrete samples collected with the PVC-pumping system of the ship which are filtered on line (GF/F) before injection into the stripping vessel. The resulting gas sample (6 ml) is then purged with helium and the dissolved gases are trapped on a packed column immersed in liquid nitrogen. The gases are sequentially desorbed by heating the column, and the different volatile sulfur compounds are detected with a flame photometric detector (FPD). Samples were collected every 2 hours and analysed immediately (Appendix III.2). Calibration of the analytical system was performed every 6 hours using a DMS liquid standard injected in pre-purged deionised water. Calculated limit of detection was around 0.1 nmol/l.

N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> concentrations have been determined in atmospheric air and in equilibrated air with seawater using an automated continuous flow system (Bange, 1994). Consequently, the saturation ratio (SR) of each gas can be calculated simply by the ratio of the equilibrated atmospheric air. For atmospheric measurements, air is pumped from the top forward of the ship with a special inlet designed to avoid any contamination. Seawater is equilibrated with atmospheric air using a high flow (20 l/min) open equilibration system. Each sample is injected in a gas chromatograph (GC) with a thermostated injection valve-loop system. The GC set up is characterised by 2 different columns, detectors, and running temperatures in relation to N<sub>2</sub>O or CH<sub>4</sub> analysis. Detection for N<sub>2</sub>O is performed with a electron capture detector (ECD) and for

CH<sub>4</sub> with a flame ionisation detector (FID). Also, within 100 min, atmospheric and equilibrated air are sampled and analysed once, and bracketed with 2 calibrations of standard mixture of N<sub>2</sub>O-CH<sub>4</sub>.



**Abb. 73:** Concentration of dimethylsulfide (nM/L) in surface waters along the ship's track. The DMS-content is generally quite low, with exceptions in the waters of the East China Sea (10 September) and waters of the Northequatorial Current of Luzon 12 h, 12 September); at present the reason for the elevated DMS-content in the northequatorial waters remains unclear.

## 5.5 Preliminary results

DMS variability during the cruise was found to be very low, with concentrations ranging approximately from 0.7 to 2.9 nmol/l. With a global mean around 1.40 nmol/l, the concentrations encountered in this area are characteristic for oligotrophic waters. The general pattern of DMS distribution (Figure 73) shows that the areas where the concentrations are higher (> 1.50 nmol/l) are located on continental shelves favourable for upwelling. This is particularly the case in the East China Sea (10.9.) and to the north of the Philippines (12.9.). This behaviour may be confirmed by nutrient and chlorophyll *a* data. We can also observed that the mean DMS concentration in the Kuroshio Current (8.-12.9.) is greater than in the South China Sea (13.-16.9.). This may signify that some specific DMS plankton producers, e.g. coccolithophorids, are found in the Kuroshio.

**Tab. 18:** Atmosphere and equilibrated seawater measurements of nitrous oxide and methane (174 samples).

Identification (SO 97-3/)	Date	Time (UTC)	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Transects
N2O.001	08.09.94	02:00	32.51	135.54	KUROSHIO I
N2O.013	09.09.94	01:00	30.00	131.41	(13 samples)
N2O.014	09.09.94	13:00	30.05	129.04	EAST CHINA SEA
N2O.032	10.09.94	22:00	25.55	126.04	(19 samples)
N2O.033	10.09.94	22:00	25.55	126.04	KUROSHIO II
N2O.044	11.09.94	20:00	21.59	127.39	(12 samples)
N2O.045	11.09.94	20:00	21.59	127.39	KUROSHIO III
N2O.061	13.09.94	12:00	18.40	119.55	(17 samples)
N2O.062	13.09.94	12:00	18.40	119.55	WEST PHILIPPINES
N2O.087	16.09.94	00:00	08.03	115.24	(26 samples)

Eventually, the contribution of the western Pacific to the global flux of DMS will be evaluated, but we observe already that the flux intensities are relatively low in this area in summer, in part because of the calm meteorological conditions encountered.

The main part of the N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> data have to be processed later, but some selected results from different areas yield an indication of N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> air-sea exchange behaviour. The total data set has been separated into 5 different segments (see Table 18). For N<sub>2</sub>O, concentrations in the atmosphere and equilibrated air seem to increase from the northern to the southern section. In addition, N<sub>2</sub>O

saturation was found to be slightly higher in the South China Sea than in the area influenced by the Kuroshio current. For CH<sub>4</sub>, no specific behaviour was discernible for the data processed in the different transect portions.

## 6. Kohlendioxid und Methan

R. Keir und G. Rehder

### 6.1 Introduction

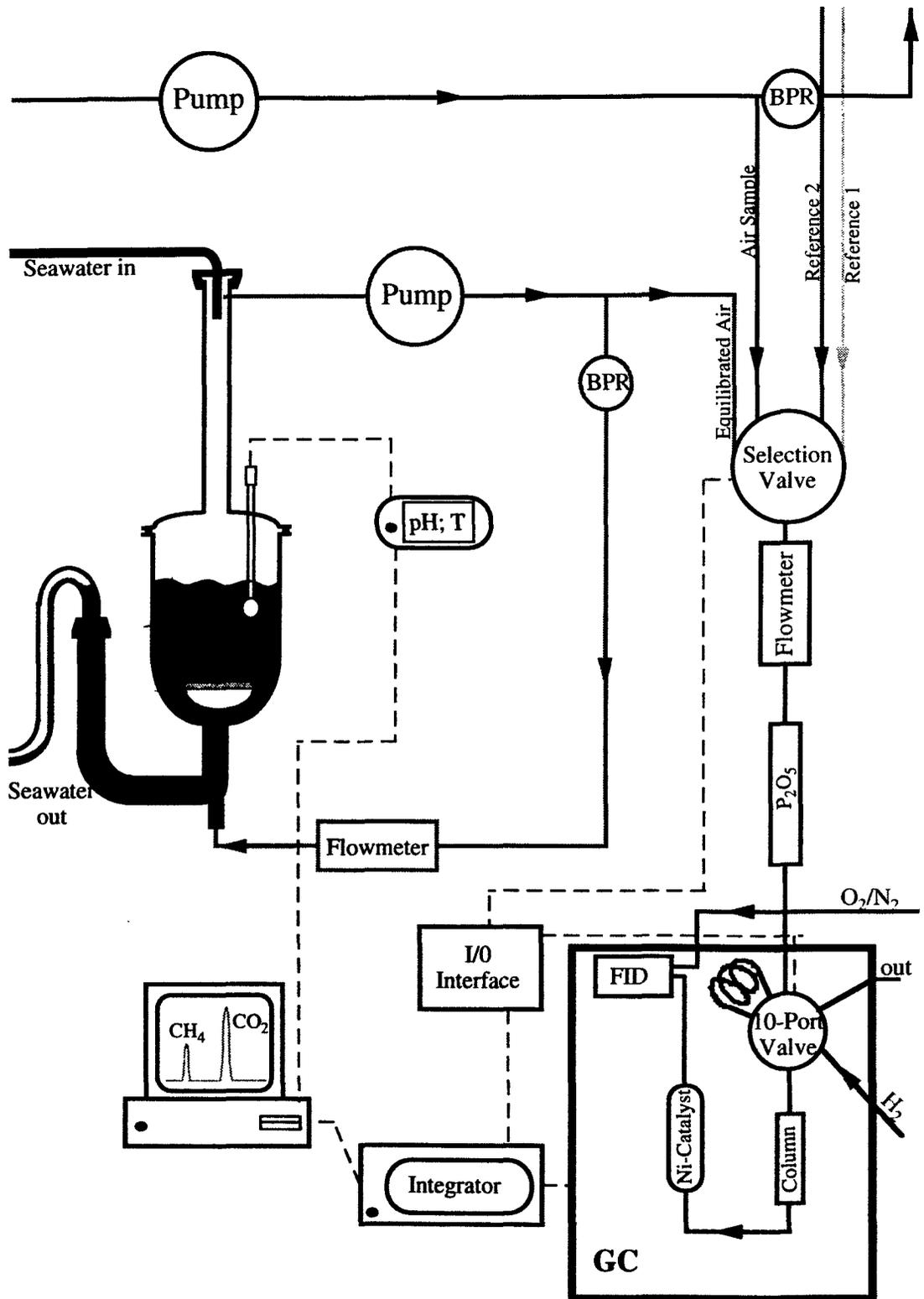
Dissolved methane and carbon dioxide vary considerably throughout the surface ocean. In the case of CO<sub>2</sub>, the net biological production of organic carbon exerts a primary control on the average surface pCO<sub>2</sub>, reducing its value to less than half that it would have if deep water directly exchanged its dissolved gas with the atmosphere. Superimposed on this reduction, surface water pCO<sub>2</sub> varies by about 150 ppm about a mean of 350 ppm due to the effects of upwelling, surface circulation, and heating and cooling. The temperature affects the solubility of dissolved CO<sub>2</sub>, which varies by a factor of about two between warm (20°C) and cold water (0°C). Along the equator in the Pacific, CO<sub>2</sub> partial pressure is high because of upwelling at the equatorial divergence and the inability of net biological production to keep up with the upwelled flux of dissolved inorganic carbon. It may also be that heating of the water after it upwells and flows westward tends to raise the pCO<sub>2</sub>, thus offsetting the continuing biological production which decreases nutrients along the flow path. In contrast, the central gyres of the Pacific appear to have pCO<sub>2</sub> values slightly undersaturated with respect to the atmospheric concentration.

The distribution of dissolved methane in surface waters is not nearly as well-investigated as CO<sub>2</sub>. In the open ocean, a limited number of measurements indicate that the methane concentration in the surface water is in general slightly oversaturated (~a factor of 1.2) with respect to the atmosphere due to microbial production. However in shallow shelf and shelf margin areas, methane fluxes from bottom sediments can elevate surface water concentrations well over saturation with the atmosphere.

The equatorial currents of the Pacific lead into a large pool of warm water at the western margin and in the area of the South China Sea. Part of this water turns north and flows as the Kuroshio Current along the coast of Japan. There is little previous published information concerning either pCO<sub>2</sub> or methane in this area, and during the Sonne cruise 97/3, these quantities were surveyed.

### 6.2 Instrumentierung und Probennahme

Methangehalt und pCO<sub>2</sub> in der Luft und im Oberflächenwasser wurden gaschromatographisch bestimmt. Hierzu wurde in einer vorgewählten Sequenz der



**Abb. 74:** Schematische Darstellung des Systems zur kontinuierlichen Messung der Partialdrücke von CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub>. Die Gleichgewichtseinstellung erfolgte in einem halboffenen Kreislauf zwischen Oberflächenwasser und einem Trägergas; die Probensequenz erlaubte auch, die erforderlichen Eichgase und Luftproben in vorgegebenen Abständen zu messen.

Gehalt dieser Gase in 2 Eichgasen (S1, S2), Luft (L) und mit Seewasser equilibrierter Luft (W) gemessen. In der Regel wurde eine Sequenz von 14 Messungen (S1, S2, (W, L, W, W)<sub>3</sub>) wiederholt, was bei einer Dauer der Einzelmessung von 10 min. ein mittleres Zeitintervall von 47 min. zwischen 2 Luftmessungen und von 16 min. zwischen 2 Wassermessungen ergibt. Der verwendete apparative Aufbau ist in Abb. 74 dargestellt.

Luft wurde unter Verwendung einer Membranpumpe (Cole Palmer G-07059-62) durch eine Polypropylenleitung (~100 m, 10 mm Durchmesser) vom vorderen Schiffsmast angesaugt, um jede Art von Schiffskontamination zu vermeiden. Die Ausgangsleitung der Pumpe wurde durch einen Vordruckregler auf einen Überdruck von 0.5 bar justiert. Der Durchfluß lag während des gesamten Fahrtabschnittes über 10 l/min., so daß die Aufenthaltszeit in der Luftleitung < 1 min. war.

Das Oberflächenwasser wurde der bordeigenen Reinseewasseranlage (vgl. Kapitel 8.4) entnommen. Der Durchfluß durch das neu entwickelte Äquilibrationsgerät wurde auf 3 l/min eingeregelt, was bei einem Wasservolumen im Gerät von 2 l einer mittleren Verweilzeit von 40 s entspricht. Die equilibrierte Luft wird im Gegenstromprinzip in einem quasi geschlossenen Luftkreislauf (Druckausgleichsleitung mit hohem Fließwiderstand um eine Ab- oder Zunahme der Gasmenge im System durch Löslichkeitseffekte zu verhindern) durch das kontinuierlich erneuerte Seewasser gepumpt (Cole Palmer Air Cadet 7530-50, 1.6 l/min). Auch hier wird auf der Ausgangsseite der Pumpe durch einen Vordruckregler ein Überdruck von 0.5 bar aufrechterhalten, was aber keinen Einfluß auf den Innendruck des Äquilibrators hat.

Die Erzeugung einer großen Oberfläche zum Austausch zwischen wäßriger- und Gas-Phase wird durch die Verwendung einer Glasfritte (Blasenbildung) und einer Kolonne nach Hempel gewährleistet. Es wurden folgende Eichgase (Matheson Gas Products) verwendet:

- 4 ppm CH<sub>4</sub> und 200 ppm CO<sub>2</sub> in N<sub>2</sub>
- 10 ppm CH<sub>4</sub> und 503 ppm CO<sub>2</sub> in N<sub>2</sub>

Die Auswahl der 4 Gase erfolgt durch ein elektronisch gesteuertes 6-Port-Verteilerventil (Besta, 5012). Das jeweils gemessene Gas wird durch den auf den Zuleitungen zum Ventil liegenden Druck (Vordruckregler bzw. Druckminderer der Eichgase) über ein Trockenrohr (Sicapent<sup>®</sup>) zur Probenschleife (1 ml) getrieben. Das "Spülen" der Leitung erfolgte einmal pro Minute bei einer Fließgeschwindigkeit von 85 ml/min. Eine Verlängerung dieses Zeitintervalls führte nicht zu einer Änderung der Meßwerte.

Während der Entnahme von Probengas aus dem Äquilibrator wird die Druckausgleichsleitung des Äquilibrators mittels eines Magnetventils geschlossen, um das Eindringen von nicht äquilibriertem Gas im Zuge des durch die Probenahme erzeugten Unterdruckes zu verhindern. Durch Schaltung eines 10-Port-

Ventils (Valco) wird der Inhalt der Probenschleife unter Verwendung von  $H_2$  als Trägergas auf die Säule (6m 1/8" Porapak QS) injiziert. Das 10-Port Ventil ist im Inneren des Gaschromatographen (Shimadzu GC 14 A mit FID) installiert. Die Innentemperatur des GC betrug 40 °C. Nach Trennung von  $CO_2$  und Methan wird das  $CO_2$  an einem Nickelkatalysator (380 °C) quantitativ zu  $CH_4$  reduziert und ist so mit dem FID detektierbar. Die Steuerung des Verteilerventils und des Gaschromatographen sowie die Aufzeichnung der Chromatogramme erfolgt über den Integrator (Chromatopac CR6-A mit entsprechendem I/O-Interface). Die Steuerung des 10-Port-Ventils erfolgt über das Zeitprogramm des GC.

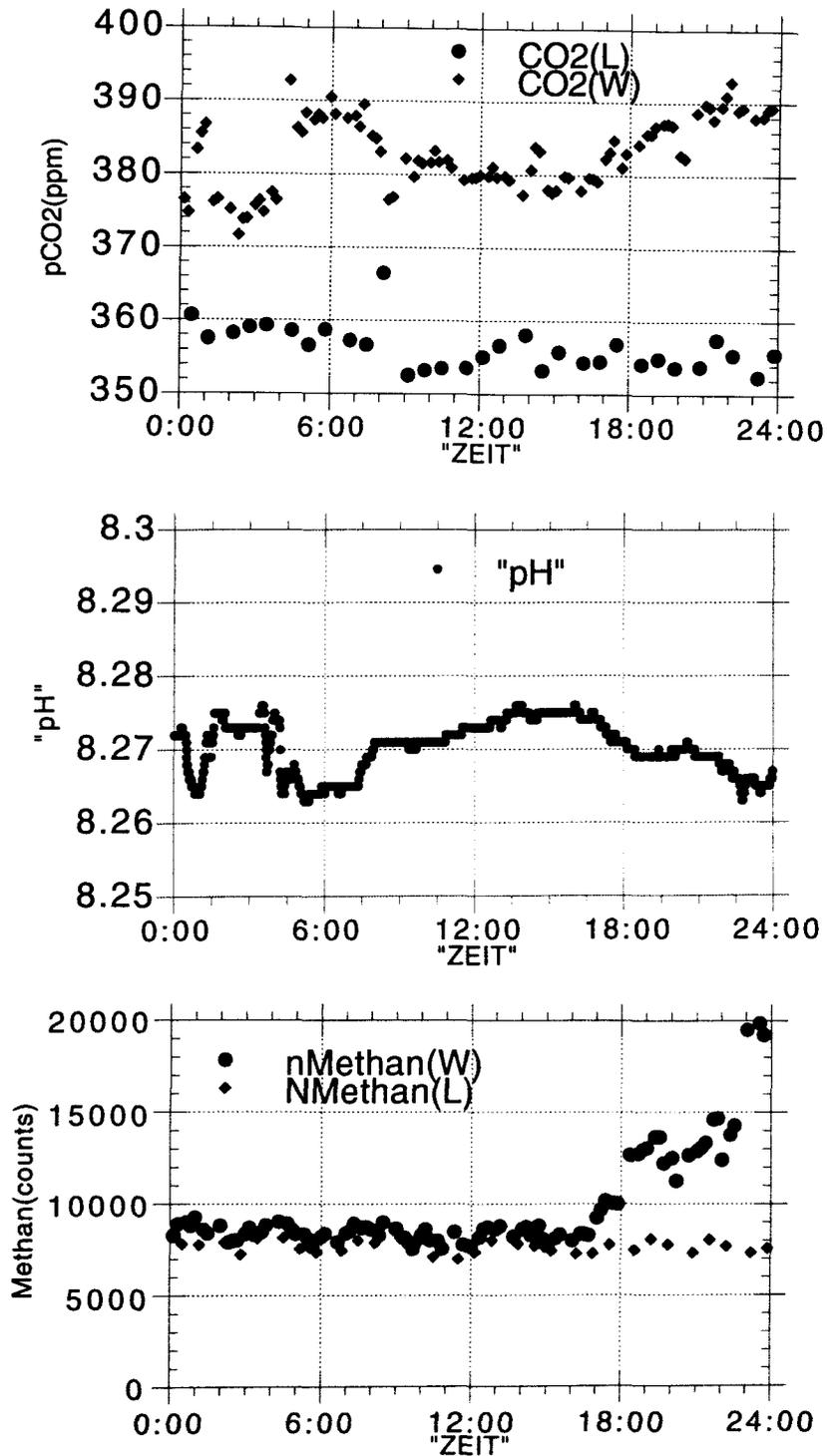
Die Meßgenauigkeit lag in Bezug auf Methan bei 5%, wobei das System noch nicht für dieses Gas optimiert ist. Die Meßgenauigkeit für  $CO_2$  ist deutlich <1%. Die hohe Genauigkeit, die für die Messung von  $pCO_2$  erreicht werden konnte, machen eine präzisere Analyse der Eichgase und eine Nachkalibrierung der während des Fahrtabschnittes gewonnenen Daten erforderlich, ohne daß dies einen negativen Einfluß auf die Datenqualität hätte.

Zur Überprüfung der Funktion des Äquilibrators wurde kontinuierlich der pH-Wert des Seewassers bestimmt. Das hierzu verwendete pH-Meter (Schott CG 841) wurde über eine serielle Schnittstelle minütlich ausgelesen. Die verwendete pH-Elektrode (Schott N2041A) ist mit einem Pt100-Temperatursensor ausgestattet und diente so gleichzeitig zur Erfassung der Wassertemperatur am Äquilibrator. Der Temperaturfühler wurde mit dem Bordsensor abgeglichen (vgl. Kapitel 8.3), so daß die Temperaturkorrektur der Rohdaten mit hoher Genauigkeit durchgeführt werden kann.

### 6.3 Vorläufige Ergebnisse

Die vorläufigen Meßergebnisse weisen darauf hin, daß für  $pCO_2$  im gesamten untersuchten Seegebiet das Oberflächenwasser in Bezug auf die Atmosphäre übersättigt war und damit als Quelle für atmosphärisches  $CO_2$  zu dieser Jahreszeit anzusehen ist. Einen wichtigen Effekt scheint hierbei die hohe Temperatur des Oberflächenwassers zu spielen. Die Korrelation mit den während der Fahrt durchquerten unterschiedlichen Wassermassen aus den unkorrigierten Rohdaten war noch nicht möglich.

Die Methankonzentration des Oberflächenwassers war im gesamten Fahrtgebiet nur leicht übersättigt bzw. im Gleichgewicht mit der Atmosphäre. Lediglich beim Passieren der Nordecke Borneos zeigten sich einige "Plumes" methanreichen Wassers, die gegenüber der atmosphärischen Konzentration bis zu einem Faktor 3 übersättigt waren. (Abb. 75). Die Fahrtroute verlief hier nahe des Schelfrandes, so daß ein advektiver Transport von methanreichem Schelfwasser die Ursache hierfür sein kann. Methaninjektionen aus dem Boden sind in der Nähe von Erdöllagerstätten, wie sie auf diesem Küstenabschnitt vorhanden sind, häufig beobachtet worden und scheinen uns daher als Ursache der beobachteten Methananomalie möglich.



**Abb. 75:** Beispiel eines 24-stündigen Verlaufs von Partialdrücken von CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> in Oberflächenwasser (CO<sub>2</sub> W und CH<sub>4</sub> W) und der Luft (CO<sub>2</sub> L und CH<sub>4</sub> L) entlang der Fahrtroute sowie die pH-Schwankungen. Die Messungen belegen, daß die Oberflächenwässer an diesem Tag gegenüber der Luft leicht übersättigt waren, daß die Methangehalte zwischen 24 und 18 Uhr im Gleichgewicht miteinander standen, daß aber zwischen 18 und 00 Uhr eine Wassermasse durchfahren wurde, die einen bis 3-fach höheren Partialdruck an Methan besitzt, als von den Luftwerten zu erwarten war; (pCH<sub>4</sub> = nicht-kalibrierte Skalenteile).

**Tab. 19:** Liste der CH<sub>4</sub>- und CO<sub>2</sub>-Beprobung während SO97-3.

Probe	Beprobungs- zeitraum	Datum	Zeit (UTC)	Latitude (0°N)	Longitude (0°W)
SO97/3-CO2-1	von bis	07.09.94 07.09.94	14:00 20:00	34.042 33.513	137.993 136.610
SO97/3-CO2-2	von bis	08.09.94 09.09.94	06:50 01:00	32.124 30.001	135.173 131.680
SO97/3-CO2-3	von bis	09.09.94 10.09.94	13:00 06:20	30.084 29.161	129.059 126.002
SO97/3-CO2-4	von bis	10.09.94 10.09.94	11:20 19:02	28.067 26.536	126.001 126.001
SO97/3-CO2-5	von bis	11.09.94 11.09.94	01:22 00:00	25.371 21.510	126.526 126.991
SO97/3-CO2-6	von bis	12.09.94 12.09.94	02:40 20:00	21.174 20.058	126.528 122.820
SO97/3-CO2-7	von bis	13.09.94 13.09.94	07:00 20:00	19.420 16.953	120.524 119.510
SO97/3-CO2-8	von bis	14.09.94 16.09.94	03:00 00:00	15.504 07.031	119.167 115.392

## 7. Biological marker compounds of particulate organic matter

### A. Flügge

#### 7.1 Objective

In order to interpret the composition of sedimentary lipids for paleoceanographic application an understanding of these biomarkers in the contemporary water masses is needed. During cruise SO97-3 particulate organic matter (POM) was collected from surface water for organic geochemical analysis. The subsequent analyses will focus on quantification of biological marker compounds, particularly long-chain *n*-alkanes and a suite of long-chain alkenones. As an additional organic geochemical parameter, the amount of total organic carbon (TOC) will be determined.

However, the main work will focus on the characterization of the long-chain alkenones which are assumed to be produced by prymnesiophyte algae only (Marlowe et al., 1990). This compound group comprises C<sub>36</sub> to C<sub>39</sub> di- to tetra-unsaturated methyl and ethyl ketones, commonly recognized among sedimentary lipids. They are of particular interest because the ratio of the C<sub>37:2</sub>

and C<sub>37:3</sub> alkenones (7,22 heptatriacontadienone-2 and 7,14,22 hepta-triacontatrienone-2), expressed as the U<sub>37</sub><sup>k</sup> index (Brassell et al., 1986), reflects the water temperature in which the producing organism lived. Applying an empirical function on the U<sub>37</sub><sup>k</sup> index, estimates of the sea-surface temperature are possible and have been successfully applied to fossil deposits. Long-chain alkenones have been extracted from sediment cores reaching as far back as the Jurassic period and accordingly been used to derive a temperature.

The existing U<sub>37</sub><sup>k</sup> versus temperature calibrations, however, show significant variations among water masses with temperatures below about 15°C (Conte et al., 1992). The upper end of the U<sub>37</sub><sup>k</sup> index is reached at water temperatures above 29 to 30°C, because no C<sub>37:3</sub> seems to be synthesized at higher temperatures by the phytoplankton. In the western boundary current system and water masses of the South China Sea sampled during SO97-3, sea-surface temperatures were as high as 30°C and varied between 26° and 30°C. Due to the high sampling rate, on average each sample represents a composite of about 150 km of sea-surface transect, and accurate temperature acquisition during this cruise, an ideal opportunity is provided to verify or even to redefine the alkenone-based temperature calibration in this crucial upper temperature range.

Another environmentally significant application of the C<sub>37:2</sub> alkenone is its utility to reconstruct the partial pressure of CO<sub>2</sub>. Jasper and Hayes (1990) demonstrated that the carbon isotopic composition of the C<sub>37:2</sub> records the pCO<sub>2</sub> within the sea-surface mixed layer. This is based on physiological properties of a photosynthesing organism which preferentially fixes the lighter <sup>12</sup>C as biomass. If the demand of CO<sub>2</sub> for the C-fixating cell is high (low pCO<sub>2</sub>), the kinetic fractionation of <sup>12</sup>C decreases, and leads to higher δ<sup>13</sup>C values of the biomass produced. On a small set of samples of particulate organic matter from the sea-surface, it was shown previously that pCO<sub>2</sub> is however not the only variable that affects the carbon isotopic composition of the C<sub>37:2</sub> alkenone, but that the availability of nutrients (e.g., PO<sub>4</sub>) to the organism exerts an important influence as well on the δ<sup>13</sup>C (Fluegge, 1994). Therefore, the pCO<sub>2</sub> and PO<sub>4</sub> were continuously measured during SO97-3. This might allow further elucidation of the link between δ<sup>13</sup>C of marine biomass and availability of CO<sub>2</sub> and nutrients.

Long-chain *n*-alkanes (> C<sub>21</sub>) are known to be supplied to the oceanic environment mainly from terrestrial plant waxes. Thus, variations of these *n*-alkanes in the POM of sea-surface waters may reflect the terrigenous contribution to the total organic matter in the ocean. Examining this parameter is of interest, because the burial rate of terrigenous material during glacial and interglacial times is of great importance to understanding the carbon cycling during changing climatic conditions. Samples of POM taken during SO97-3 will allow to verify if the amounts of long-chain *n*-alkanes differ in response to the distance from land.

## 7.2 Methods

POM was continuously collected on glass-fiber filters (Schleicher and Schuell, GF 52, 140 mm diameter; pre-combusted at 500°C) using a stainless steel Satorius membrane filtration device. The water was supplied by the contamination-free seawater pumping system of the ship at an approximate flow rate of 2 l/min. The time of filtration varied between 5 and 12 hours, depending on hydrographic conditions and on the amount of material collected, as visually estimated from the filters afterwards. Table III.3 in the appendix provides information on sampling time and total amount of filtrated seawater of each filter as well as the locations of transects collected. After filtration, the wet filters were folded and packed in pre-combusted aluminum foil. They will kept frozen below -20°C until extraction at the shore-based laboratory in Kiel.

Commonly applied ultrasonic extraction technique employing methanol/dichloromethane (1:2) as solvent will completely remove lipids from the filtered material. The crude lipid extract will be separated into compound groups of different polarity by high-performance liquid chromatography. Quantification of *n*-alkanes and long-chain alkenones will be accomplished by capillary gas chromatography. The carbon isotopic composition of long-chain alkenones will be determined by irm-GC/MS if laboratory time will be provided. After removal of CaCO<sub>3</sub> by acid vapor treatment, TOC will be measured with an HCNO-elemental analyser using an air-dried aliquot of the filter.

## 8. Unterstützende Daten

### 8.1 Optische Messungen und Chlorophyll *a*

T. Skripko

Die Bestimmung von Chlorophyll *a* und DOM (dissolved organic matter) wurden mittels optischer Messungen in regelmäßigen Abständen von, je nach Fahrtroute, zwei oder vier Stunden ganztägig durchgeführt. Das Oberflächenwasser wurde stets unmittelbar nach Probennahme analysiert. Hierbei konnte DOM mittels eines *Perkin Elmer LS 30* Spektrometers umgehend und das Chlorophyll *a* mit einem *Turner* Fluorometer nach vierstündiger Extraktion bestimmt werden.

Zur Chlorophyllanalyse wurden 50 ml Meerwasser durch extra dicke *Gelman Sciences* Glasfaserfilter (Durchmesser 13mm ) filtriert und in 8 ml Aceton- Wasser-Gemisch (9:1) extrahiert. Nach vier Stunden wurde der Chlorophyll-Gehalt in einem *Turner* Fluorometer bestimmt.

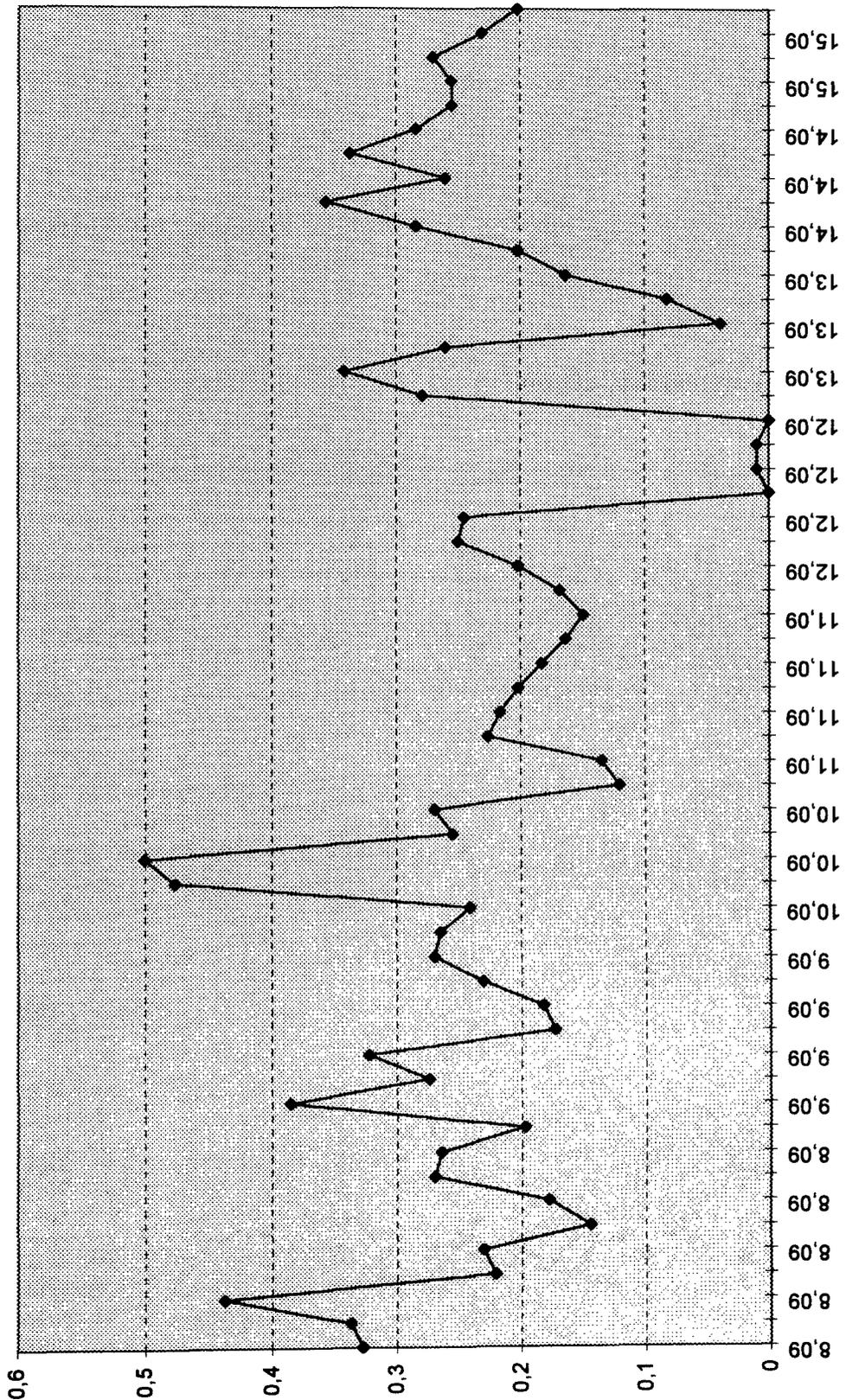


Abb. 76: Chlorophyll-a-Gehalt im Oberflächenwasser entlang der Fahrtroute; das Maximum am 10.09. ist mit Schelfwasser im Ostchinesischen Meer in Verbindung zu bringen, die Minima am 12.09. und 13.09. mit Nordäquatorialwasser.

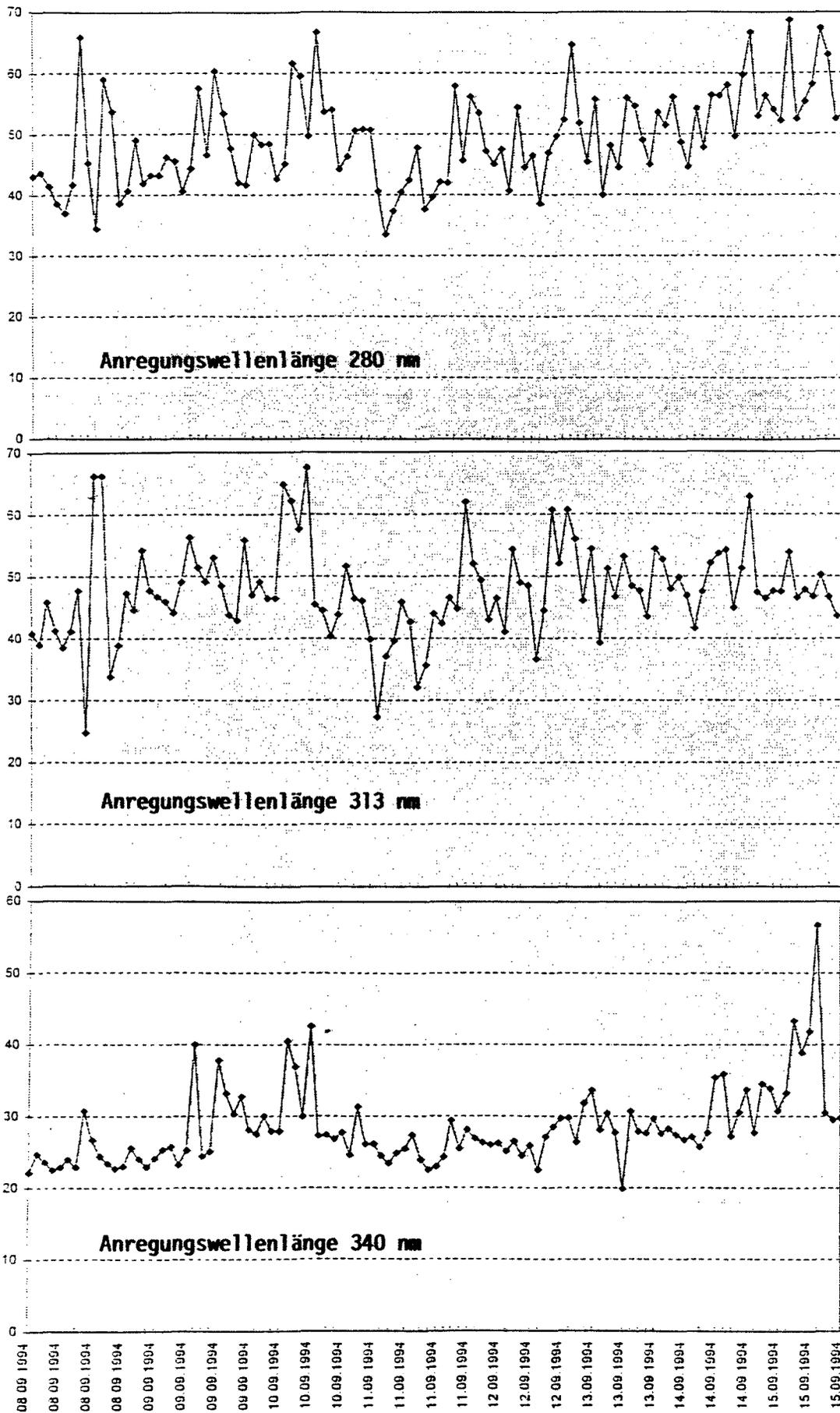


Abb. 77a-c: Emissionsspektren im Oberflächenwasser entlang der Fahrtroute zur Charakterisierung der gelösten organischen Substanz (DOM); Maxima bei Anregungswellenlänge 280 nm deuten auf proteinähnliche Verbindungen hin, Maxima bei den Anregungswellenlängen 313 nm und 340 nm sind auf Huminstoffe zurückzuführen.

Zur Standardisierung der Methode wurde vor der Expedition eine Kalibration des Fluorometers mit Chlorophyll-Lösungen verschiedener Konzentrationen durchgeführt. (Das hierfür von Merck gelieferte Chlorophyll *a* wurde bis zur Verwendung bei -18°C in einer Tiefkühltruhe aufbewahrt.)

### 8.1.1 Vorläufige Ergebnisse

Nach einer an Bord durchgeführten vorläufigen Kalibrierung zeigen die Chlorophyllgehalte generell niedrige Werte (Abb. 76) mit einigen interpretierbaren Schwankungen. So sind deutlich die durch Schelfwasser beeinflussten Oberflächenwässer des Ostchinesischen Meeres mit einem Chlorophyll-Maximum gekennzeichnet (10.09.). Ebenso deutlich läßt sich das Nordäquatorialwasser anhand extremer Minima erkennen (12.09. und 13.09.). Die übrige Feinstruktur im Verlauf der Reise kann nur im Zusammenhang mit den übrigen Daten sinnvoll interpretiert werden.

Das durch Gelman Sciences Glasfaserfilter (13 µm) filtrierte Reinseewasser (Oberflächenwasser) wurde direkt in ein Perkin Elmer LS 30 Spektrometer gepumpt und bei den Anregungswellenlängen 280 nm, 313 nm und 340 nm die entsprechenden Emissionsspektren gemessen. Mittels Chininsulfat-Bihydrat wurde eine Kalibrationskurve für die Wellenlängen 280 nm, 313 nm, 340 nm und 370 nm bestimmt. Eine Lösung aus 0,1 mg Chininsulfatbihydrat/l und 0,1 n HClO<sub>4</sub> entsprechen dabei 100 QSU. Diese spektroskopische Charakterisierung von DOM stellt jedoch lediglich eine qualitative Messung dar (Abb. 77a-c), wobei die bei den Anregungswellenlängen 313 nm (Abb. 77b) (Emissionsmaximum bei 390 nm) und 340 nm (Abb. 77c) (Emissionsmaximum bei 430 nm) resultierenden Emissionssmaxima die Existenz von Huminstoffen belegt. Die Emissionsmaxima, die durch Anregung bei 280 nm (Abb. 77a) gemessen werden konnten, sind charakteristisch für proteinähnliche Komponenten im Oberflächenwasser. Emissionsspektren werden kalibriert, indem diese mit der Ramanbande des Wassers verknüpft werden.

## 8.2 Nährstoffe im Oberflächenwasser

A. Flügge, S. Laube und E. Suess

Die Nährstoffe Silikat und Phosphat wurden photometrisch an einem UV/VIS Spektrometer (*Lambda 2, Perkin Elmer*) gemessen. Die Parameter Nitrit, Nitrat und Ammonium konnten mit dem zur Verfügung stehenden Autoanalyser nicht erfaßt werden, weil die Gehalte dieser Stoffe im Oberflächenwasser des Untersuchungsgebietes unterhalb der Nachweisbarkeitsgrenze lagen.

### 8.2.1 Methodik

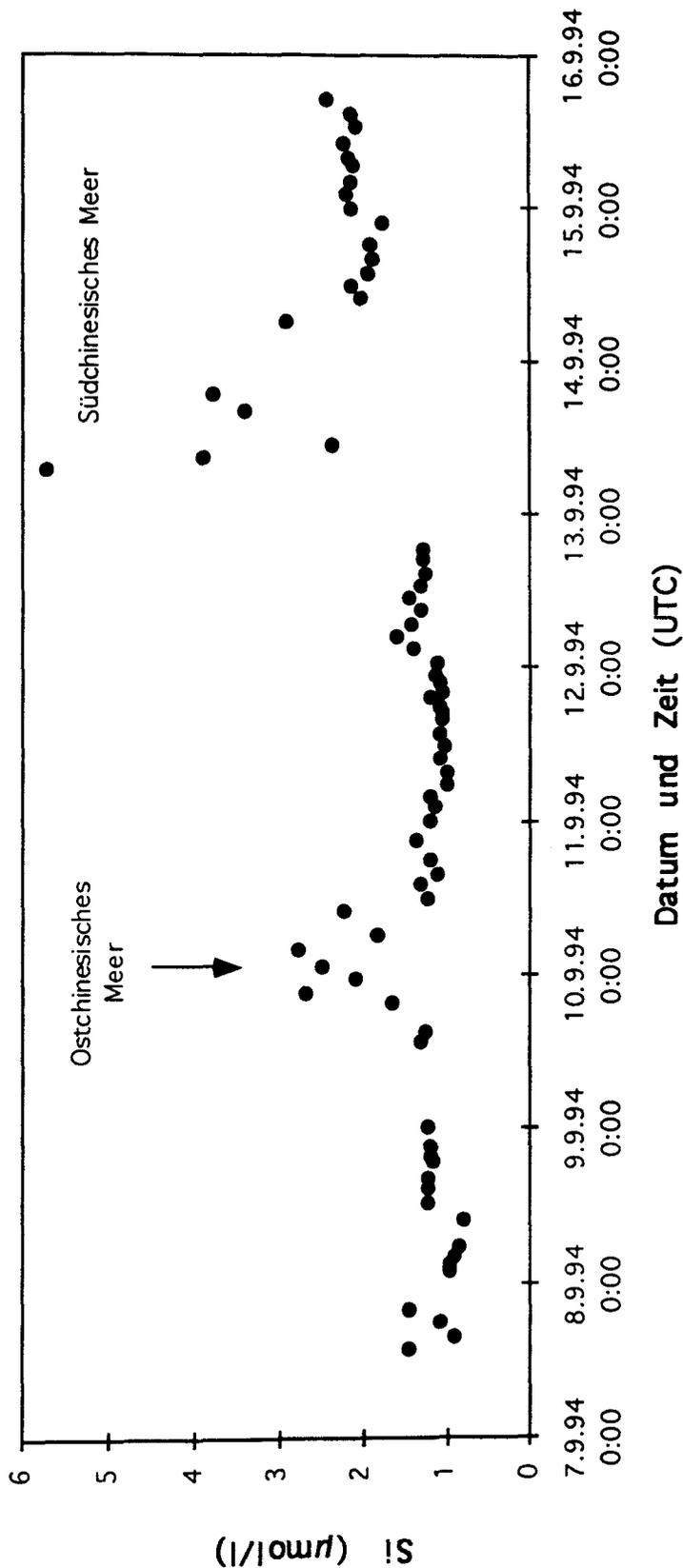
Die Probennahme erfolgte der hydrographischen Situation entsprechend in Abständen von zwei bis vier Stunden am Auslauf der Glasfaserfiltrationsanlage, mit welcher das partikuläre organische Material beprobt wurde (Kapitel 7). Bis zur Analyse wurden die Proben, die in jeweils zwei 60 ml PE Flaschen (Nalgene, mit verd. HCl und doppelt deionisiertem Wasser gespült) abgefüllt wurden, bei ca. 4° C im Kühlschrank gelagert. Probennahme und Analyse lagen in der Regel 12 bis 24, maximal 48 Stunden auseinander.

Zur Analyse von Silikat wurde 20 ml Probe mit 800 ml Molybdatlösung (6,3 g Ammonium-heptamolybdat-tetrahydrat auf 50 ml DDW + 350 ml 4,5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) versetzt. Nach 10 Minuten erfolgte Zugabe von 800 ml Oxalsäurelösung (10 g Oxalsäure auf 100 ml DDW) und 800 ml Ascorbinsäurelösung (2,5 g Ascorbinsäure auf 100 ml DDW). Nach 30 bis 90 Minuten wurde bei 810 nm die Absorption in einer 5 cm Küvette ermittelt. Zur Kalibrierung diente die Standard-Additionsmethode. Hierzu wurde Meerwasser mit verschiedenen Mengen von Silikatstandard versetzt (3,56 µm und 1,78 µm) und als Probe weiterbehandelt. Selbiges Meerwasser diente als Blindprobe. Unter diesen Analysenbedingungen war der Silikatnachweis empfindlich genug, um auf Mehrfachmessungen verzichten zu können, was durch stichprobenartige Doppelbestimmungen bestätigt werden konnte. Die Genauigkeit lag bei ± 0,2 µm.

Zur Phosphatbestimmung wurde 20 ml Probe mit 800 ml Ascorbinsäurelösung (10 g Ascorbinsäure auf 50 ml DDW + 350 ml 4,5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) und 800 ml Mischreagenz (10 g Ammonium-heptamolybdat-tetrahydrat auf 100 ml DDW + 0,5 g Antimonyltatrat auf 20 ml DDW + 350 ml 4,5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) versetzt und nach 10 bis 45 Minuten die Absorption bei 880 nm in einer 5 cm Küvette gemessen. Zur Kalibrierung diente bei der Phosphatbestimmung ebenfalls die Standard-Additionsmethode (1,06 µm und 0,53 µm auf Meerwasser). Die Phosphatgehalte waren sehr niedrig und selbst Vierfachbestimmungen wiesen teilweise deutliche Schwankungen auf. Die gemessenen Konzentrationen können als Nachweisgrenze mit der verfügbaren Methode angesehen werden und sind mit einem hohen analytischen Fehler behaftet, der durchaus den Faktor 2 überschreiten kann. Die Ergebnisse der Phosphatuntersuchungen sind im Anhang III.4 wiedergegeben. Aufgrund des analytischen Fehlers wird aber auf eine weitere Interpretation dieser Daten verzichtet.

### 8.2.2 Ergebnisse

Die Silikatkonzentrationen des beprobten Oberflächenwassers sind in Tabelle 21 des Anhanges wiedergegeben, zusammen mit dem Zeitpunkt der Probennahme und der geographischen Position. Abbildung 78 zeigt die zeitliche Verteilung der Silikatkonzentrationen während SO 97-3. Die Gehalte schwanken zwischen 0,8 und 5,7 µM, wobei die Variationen recht deutlich einen Wechsel der hydrographischen Situation anzeigen. Die niedrigsten Si-Gehalte wurden in vom Nordäquatorialstrom dominierten Wassermassen gemessen. So lagen die Werte für



den ersten Fahrabschnitt von Tokyo bis zum Erreichen der Meeresenge zwischen Taiwan und den Philippinen im Mittel bei  $1,3 \mu\text{m}$ . Im Schelfbereich des Ostchinesischen Meeres traten erhöhte Konzentrationen auf, erklärbar durch erhöhten festländischen Eintrag.

Der Eintritt in das Südchinesische Meer war durch die höchsten gemessenen Si-Konzentrationen charakterisiert. Vermutlich führen in diesem Bereich lokale Stömungsverhältnisse westlich der philippinischen Inselkette zu einem leichten Auftrieb von nährstoffreichen Tiefenwasser. Ein W-E Tiefenschnitt im Bereich dieser Meeresenge könnte einen wesentlichen Beitrag zur Klärung dieser Frage liefern. Das Südchinesische Meer ist ein von Festland umgebenes Meeresbecken, deshalb machte sich hier der Einfluß des Festlandes durch generell höhere Silikatgehalte bemerkbar, die im Mittel bei  $2,4 \mu\text{m}$  lagen. Die hier sehr fragmentarische Kennzeichnung der Wassermassen alleine durch Si-Gehalte kann sehr wahrscheinlich noch verbessert werden, wenn die übrigen unterstützenden Daten mit berücksichtigt werden.

### 8.3 Temperatur, Salzgehalt und meteorologische Daten

G. Rehder

Zur Interpretation der Messungen von Spurengasen im Oberflächenwasser und in der Luft sind eine Vielzahl von meteorologischen Daten, die Kenntnis von Wassertemperatur und Salzgehalt sowie die Korrelation des Zeitpunkts der Messung mit der jeweiligen Schiffposition erforderlich. Aus diesem Grunde wurden die folgenden Parameter mit den bordeigenen Sensoren erfaßt und abgespeichert:

- Zeit
- Position
- Kurs und Fahrt über Grund
- Wahre Windstärke und Richtung
- Relative Windstärke und Richtung
- Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftdruck
- Wassertemperatur
- Salzgehalt
- Wassertiefe

Es wurden während SO97-3 2 Datensätze dieser Parameter mit einer zeitlichen Auflösung von 1 min. (G. Rehder) und 5 min. (B. Quack, D. Amouroux) aufgezeichnet und sind am GEOMAR als Datenfiles verfügbar.

Die Messung der Wassertemperatur erfolgt mit einer Pt100 Temperatursonde (OTS-Sal Pt 100), Salzgehaltsmessung mit einer 7-Elektroden-Glaszelle (OTS-Sal Ti-7E) der Firma ME (Meerestechnik Elektronik GmbH). Die Sensoren werden über das Data Terminal VDT1(ME) ausgelesen. Da das System von Zeit zu Zeit den Betrieb einstellte und dann neu gestartet werden mußte, wurde die Anzeige

regelmäßig überwacht, um einen möglichst vollständigen Datensatz zu erhalten. Darüberhinaus wurde die Statusvariable des Thermosalinographen in den Datensatz aufgenommen, was ermöglicht, die Zeitintervalle mit Fehldaten (kontinuierliche Abspeicherung der letzten noch gemessenen Werte vor dem „Ausstieg“ des Systems) leicht im Datensatz aufzufinden. Der Thermosalinograph hat eine eigene Wasserversorgung. Die Ansaugöffnung liegt etwa 1.8 m oberhalb des Schiffsbodens und damit deutlich oberhalb der Ansaugöffnung der Reinseewasseranlage.

Übrige Sensoren:

- Lufttemperatur:	Aanderaa 3145	Rel. Genauigkeit: 0.1 Grad
- Luftfeuchtigkeit(rel):	Aanderaa 2820	Rel. Genauigkeit: 3 %
- Luftdruck:	Aanderaa 2810	Rel. Genauigkeit: 0.2 mbar
- Windgeschwindigkeit:	Aanderaa 2740	Rel. Genauigkeit: 2%
- Windrichtung:	Aanderaa 3150	Rel. Genauigkeit: 5 Grad

Der Windrichtungsmesser arbeitet mit einem eigenen Magnetkompaß. Die Daten müßten daher zum Erreichen der oben angegebenen Genauigkeit bezüglich Magnetfehlweisung korrigiert werden.

Alle nautischen Daten sind Schiffssystemdaten. Welche der zur Verfügung stehenden Daten hier eingespeist werden, hängt von der jeweiligen Einstellung am Brückenarbeitsplatz ab (GPS, Doppler-Speed-Log, Magnavox, EM-Log; HYDROSWEEP-, Echolot- oder PARASOUND-Tiefe). In der Regel erfolgte die Positionierung mit GPS, die der Wassertiefe mit HYDROSWEEP, wobei durch einen Filteralgorithmus eine Glättung der Daten erfolgt. Sämtliche Daten werden über den ANP Interfaceprozessor verarbeitet, die Protokollierung erfolgt über das NAV-VAX-System.

#### 8.4 Seewasserversorgung

G. Rehder

Die Entnahme aller während des Fahrtabschnittes genommenen Wasserproben sowie die Wasserversorgung der beiden verwendeten Äquilibratoren und der Filtrationseinheit erfolgte aus der bordeigenen Reinseewasseranlage. Die Ansaugöffnung der Anlage befindet sich im vorderen Teil des Schiffes, wo ein Rohrstützen etwa 25 cm aus dem Rumpf des Schiffes herausragt. Die Tiefe, aus der angesaugt wird, entspricht etwa dem Tiefgang des Schiffes (6.5 m bei Auslaufen Tokyo).

Der Wasserkreislauf wird von einer Kreiselpumpe (Richter Chemie-Technik GmbH, Typ PCK/P 40-200) getrieben. Sämtliche Teile der Pumpe, die mit dem Seewasser in Berührung kommen, sind aus Polypropylen. Die Förderleistung beträgt 3000 l/h, die bei Betrieb der Pumpe unabhängig von der Seewasserabnahme in den Laboratorien kontinuierlich gepumpt werden. Nicht abgenommenes Wasser verläßt über einen Hauptbypass wieder das Schiff. Auf diese Weise wird

ein ständig hoher Durchfluß durch die Rohrleitungen des Reinwassersystems (unterhalb des Meeresspiegels 50 mm i.D. Levasint beschichtete Stahlrohrleitungen, zu den Laboratorien 25 mm i.D. PVC-Rohre) sichergestellt. Leider existieren keine Unterlagen über das Gesamtvolumen des Wasserkreislaufes, so daß keine exakte Aussage über die Verweilzeit im System gemacht werden kann. Aufgrund der Verwendung von Rohrleitungen mit 50 mm i.D. muß aber davon ausgegangen werden, daß sie trotz der hohen Förderleistung in der Größenordnung mehrerer Minuten liegen muß.

Die hohen Wassertemperaturen während des gesamten Fahrtabschnittes bedingten, daß der Temperaturunterschied zwischen der Oberflächentemperatur des Seewassers (Thermosalinograph) und des von der Reinwasseranlage geförderten Wassers nie mehr als 1°C betrug. Probleme bereitet allerdings, daß trotz der hohen Gesamtförderleistung der Anlage an keinem der einzelnen Laboranschlüsse mehr als 10 -15 l/min entnehmbar sind, was für große Äquilibrationssysteme (vgl.6.3) oder auch für die Filtrierung größerer Wassermengen kritisch wurde. Diese Situation wurde behelfsmäßig umgangen, indem durch Leitungen die Förderleistung aus mehreren auseinanderliegenden Laboranschlüssen im Geolabor zusammengeführt wurde. Hierdurch wurde der Äquilibrator zur N<sub>2</sub>O- und CH<sub>4</sub>-Bestimmung betrieben, der 25 l/min erforderte.

Insgesamt gesehen hat die Reinwasseranlage während des gesamten Fahrtabschnittes einwandfrei funktioniert und insbesondere völlig blasenfreies Wasser gefördert. Die Dokumentation des Reinwassersystems (hier beschriebene Daten, Gesamtvolumen und damit berechenbar die Verweilzeit im Rohrleitungssystem, genaue Ansaugtiefe) in der nächsten Ausgabe des FS Sonne Benutzerhandbuches sowie die Bereitstellung eines Einzelanschlusses mit höherer Kapazität werden dringend empfohlen.

## 9. Literatur

- Andreae, M.O., and W.R. Barnard (1983). Determination of trace quantities of Dimethyl Sulfide in aqueous solutions. *Analytical Chemistry*, 55: 608-612.
- Andreae, M.O. (1990). Ocean-atmosphere interactions in the global biogeochemical sulfur cycle. *Marine Chemistry*, 30: 1-29.
- Bange, H. (1994). Methane and nitrous oxide air-sea exchange. Ph.D. Thesis, J. Gutenberg-Universität, Mainz, Germany.
- Barrie, L.A., Bottenheim, J.W., Schnell, R.C., Crutzen, P.J., Rasmussen, R.A. (1988). Ozone destruction and photochemical reactions at polar sunrise in the lower arctic atmosphere. *Nature*, 334: 138-141.
- Berg, W.W., Heidt, L.E., Pollock, W., Sperry, P.D., Cicerone, R.J. (1984). Brominated organic species in the arctic atmosphere. *Geophys. Res. Lett.* 11: 429-432.
- Brassell, S.C., Eglinton, G., Marlowe, I.T., Pflauman, U. and Sarnthein, M. (1986). Molecular stratigraphy: A new tool for climatic assessment. *Nature* 320: 129-133.
- Cicerone, R.J. (1981). Halogens in the atmosphere. *Rev. geophys. Space Phys.* 19: 123-129.
- Conte, M.H., Eglinton, G. and Madureira, L.A.S. (1992). Long-chain alkenones and alkyl alkenoates as paleotemperature indicators: their production, flux and early sedimentary diagenesis in the Eastern North Atlantic. In: *Advances in Organic Geochemistry 1991* (eds. C. B. Eckardt, S. R. Larter et al.), pp. 287-298. Pergamon Press, Oxford.
- Darnerud, P.O., Lund, B.E., Brittebo, E.B., Brandt, I. (1989). 1, 2-Dibromoethane and Chloroform in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*): Studies on the distribution of nonvolatile and irreversibly bound metabolites. *J. Tox. and Env. Health* 26: 209-221.
- Dyrssen, D., Fogelqvist, E. (1981). Bromoform concentrations of the Arctic Ocean in the Svalbard area. *Oceanologica Acta* 4: 313-317.
- Fluegge, A. (1994). Molecular isotopic derivation of maps of sea-surface temperature and oceanic  $PCO_2$  in the eastern Equatorial Pacific. MS thesis, Indiana University, Bloomington.
- Frank, H. (1991). Airborne chlorocarbons, photooxidants and forest decline. *Ambio* 20: 13-18.

- Gschwend, P.M. (1985). Volatile halogenated organic compounds released to seawater from temperate marine macroalgae. *Science* 227: 1033-1035.
- Jasper, J.P. and Hayes, J.M. (1990). A carbon isotope record of CO<sub>2</sub> levels during the late Quaternary. *Nature* 347: 462-464.
- Junge, C. (1978). Der natürliche Kreislauf der Gase. *Ber. Bunsenges. Phys. Chem.* 82: 1182-1132.
- Klick, S., Abrahamson, K. (1992). Biogenic volatile iodated hydrocarbons in the ocean. *J. Geophys. Res.*, 97: 12683-12687.
- Kritz, M.A., Rancher, J. (1980). Circulation of Na, Cl, Br in the tropical marine atmosphere. *J. Geophys. Res.* 85: 1633-1639.
- Lovelock (1975). Natural halocarbons in the air and in the sea. *Nature* 256: 193-194.
- Lovelock, J.E. , Maggs, R.J., Wade, R.J. (1973). Halogenated hydrocarbons in and over the Atlantic. *Nature* 241: 194-196.
- Manley, S.L., Dastoor, M.N. (1987). Methyl halide (CH<sub>3</sub>X) production from the giant kelp *Macrocystis* and estimates of global CH<sub>3</sub>X production by kelp. *Limnol. Oceanogr.* 32: 709-715.
- Marlowe, I.T., Brassell, S.C., Eglington, G., and Green, J. C. (1990). Long-chain alkenones and alkyl alkenoates and the fossil coccolith record of marine sediments. *Chem. Geology* 88: 349-375.
- Molina, M.J., Rowland, F.S. (1974). Stratospheric sink for chlorofluoromethanes. Chlorine atom catalyzed destruction of ozone. *Nature* 249: 810-812.
- Ocean passages for the world (1987). Published by the Hydrographer of the Navy (4. ed). Hydrographic Department, Ministry of Defense, Taunton, Somerset England.
- Pearson, C.R. (1980). C<sub>1</sub> und C<sub>2</sub> Halocarbons. In " Handbook of Environmental Chemistry". Vol 3B: Anthropogenics.
- Penkett, S.A., Jones, B.M.R., Rycroft, M.J. (1985). An interhemispheric comparison of the concentrations of bromine compounds in the atmosphere. *Nature* 318: 550-553.
- Prinn, R. (1988). How have the atmospheric concentrations of the halocarbons changed? In "The Changing Atmosphere", F.S. Rowland, I.S.A., Isaksen (eds.). John Wiley & Sons Limited (Dahlem Konferenzen Report).

- Ramanathan, V., Cicerone, R.J., Singh, H.B., Khiel, J.T. (1985). Trace gas trends and their potential role in climate change. *J. Geophys. Res.* 90: 5547-5566.
- Rasmussen, R.A., Khalil, M.A.K. (1983). Natural and anthropogenic trace gases in the lower troposphere of the arctic. *Chemosphere* 12: 371-375.
- Schaumburg, F.D. (1990). Banning trichlorethylene: responsible reaction or overkill? *Env. Sci. Tech.* 24: 17-22.
- Singh, H.B., Salas, L.J., Stiles, R.E. (1983). Selected man-made halogenated chemicals in the air and oceanic environment. *J. Geophys. Res.* 88: 3675-3683.
- Singh, H.B., Salas, L.J., Viezee, W., Sitton, B., Ferek, G. (1992). Measurement of volatile organic chemicals at selected sites in California. *Atm. Env.* 26A: 2929-2946.
- Wirth, W., Gloxhuber, C. (1985). *Toxikologie für Ärzte, Naturwissenschaftler und Apotheker.* Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- Zafiriou, O.C. (1975). Reaction of methyl halides with seawater and marine aerosols. *J.Mar. Res.* 33: 75-81.

Anhang I.1: Stationsliste der SO97-1-Expedition.

Stat.Nr. SO97/	Gerät	Datum ..1994	Beginn (UTC)	am Boden auf Tiefe	Ende (UTC)	Latitude ° N	Longitude ° W	Wassertiefe HS (m)	Gewinn (m)	Bemerkungen
11-1	CTD	28:07	08:08	09:15	10:50	57°40.85'	148°08.47'	3286	11 Schöpfer	Bakterienprobe
11-2	CTD	28:07	11:29	12:15	13:30	57°40.76'	148°08.76'	3244	11 Schöpfer	
12	EXPLOS	28:07	14:25	15:17 / 15:27	16:30	57°40.55' / 57°40.52'	148°12.62' / 148°12.38'	2809 / 2838		Kabel defekt, abgebrochen
13	HS	28/29:07	23:46		02:23	58°20.57' / 58°23.98'	146°08.47' / 146°59.91'	4623 / 2314		
14	HS	29:07	02:47		04:58	58°28.00' / 58°25.08'	147°00.09' / 146°10.17'	2217 / 4720		
15	HS	29:07	05:25		12:07	58°30.01' / 58°34.97'	146°08.56' / 148°30.06'	4689 / 191		
16	SPI	29:07	12:56	13:08	14:09	58°32.85'	148°29.52'	147		
17	SPI	29:07	16:31	16:59	18:20	58°11.20'	148°20.28'	1387		
18	EXPLOS	29/30:07	21:52	23:04 / 4:30	05:25	57°48.43' / 57°42.04'	148°13.72' / 148°6.84'	2806 / 3192		nur eine Kamera
19	CTD	30:07	06:40	8:10	10:14	57°32.08'	148°07.92'	4472	11 Schöpfer	
20	CTD	30:07	11:10	12:50	14:54	57°26.09'	148°01.14'	4946	12 Schöpfer	
21-1	EXPLOS	30:07	15:56	16:30	ca. 16:30	57°30.05'	148°03.55'	4693	330 Fotos	Kamera defekt, abgebrochen
21-2	EXPLOS	30/31:07	17:19	18:28 / 00:05	01:30	57°29.48' / 57°25.89'	148°03.01' / 148°00.98'	4681 / 4997		Probe: 57°26.6N 148°01.28W, ca. 4740 m
22	TVG	31:07	02:29	03:47 / 04:18	05:27	57°26.97' / 57°26.97'	148°01.21' / 148°01.27'	4776 / 4949		Bakterienprobe
23-1	CTD	31:07	06:06	07:49	09:42	57°25.98'	148°01.20'	4969	12 Schöpfer	
23-2	CTD	31:07	10:50	11:27	12:15	57°25.99'	148°01.41'	4978	12 Schöpfer	
24	VESP	31:07	15:35	18:06 / 19:16	22:10	57°26.99' / 56°26.83'	148°01.49' / 148°01.46'	4872 / 4808	3 Schöpfer	Probe: 57°26.80N 148°01.37W, 4803m
25	MUC	31:07/01:08	22:45	00:15	01:45	57°26.82'	148°01.76'	4753	6 Rohre	
26	HS	01:08	03:13	-	07:00	57°12.57' / 57°45.14'	148°11.69' / 149°12.79'	4940 / 1738		
27	HS	01:08	07:15	-	11:31	57°42.93' / 57°09.90'	149°14.95' / 148°13.70'	2022 / 4936		
28	KAL	01:08	14:04	15:39	19:36	57°26.74'	148°01.66'	4776	leer	Winde defekt, Sediment ausgewaschen abgebrochen, Gerät nicht abgesetzt
29-1	VESP	01/02:08	20:00	21:53 / 00:10	-	57°26.59' / 57°26.37'	148°02.32' / 148°00.45'	4753 / 4981		
29-2	VESP	02:08	03:00	04:40 / 06:34	07:50	57°26.55' / 57°25.54'	148°02.28' / 148°00.74'	4768 / 4981		abgebrochen, Gerät nicht abgesetzt
30	CTD	02:08	09:41	11:25	14:10	57°22.99'	148°22.05'	4978	12 Schöpfer	Bakterienprobe
31-1	TVG	02:08	14:27	15:45 / 16:41	18:04	57°27.08' / 57°26.21'	148°01.21' / 148°01.22'	4741 / 4976		keine Probennahme
31-2	TVG	02:08	18:28	19:35 / 20:32	22:08	57°27.00' / 57°26.44'	148°01.06' / 148°01.21'	4974 / 4976		Probe: 57°26.44N, 148°01.21W, 4976m
32	VESP	03:08	-	01:06 / 04:41	06:03	57°27.29' / 57°26.61'	148°01.65' / 148°01.21'	4974 / 4948	leer	CTD defekt, Schöpfer nicht geschlossen
33	SPI	03:08	07:35	08:43	10:49	57°40.49'	148°11.96'	2783		
34	EXPLOS	03:08	14:03	15:00 / 19:20	20:49	57°22.06' / 57°19.30'	148°26.64' / 148°23.88'	4120 / 5022		
35	EXPLOS	03:08	22:24	23:47 / 04:27	05:53	57°29.59' / 57°26.29'	148°01.04' / 147°50.39'	4527 / 4979		
36	CTD	04:08	06:36	08:18	10:12	57°31.00'	147°53.02'	4972	12 Schöpfer	Bakterienprobe
37	CTD	04:08	11:49	13:28	15:00	57°26.70'	148°12.20'	4828	12 Schöpfer	
38-1	VESP	04:08	07:45	17:27 / 19:33	20:52	57°27.27' / 57°26.26'	147°59.28' / 147°59.28	4906 / 4970		keine Beprobung
38-2	VESP	04/05:08	22:54	23:38 / 00:54	02:15	57°27.34' / 57°26.98'	147°59.81' / 147°59.81'	4924 / 4974		keine Beprobung
39	TVG	05:08	02:53	05:03 / 05:08	06:32	57°27.17' / 57°27.17'	147°59.84' / 147°59.98'	4968 / 4953		Probe: 57°27.17N, 147°59.98W, 4953m
40	CTD	05:08	08:05	09:46	11:46	57°19.40'	148°24.00'	5008	12 Schöpfer	Bakterienprobe
41	EXPLOS	05:08	14:05	15:27 / 16:53	18:22	57°27.37' / 57°26.95'	148°11.42' / 148°12.35'	4553 / 4829		
42	VESP	05/06:08	19:15	20:43 / 23:56	01:36	57°27.73' / 57°27.36'	148°00.03' / 148°00.35'	4788 / 4877	5 Schöpfer	

Anhang I.1: Fortsetzung

Stat.Nr. SO97/	Gerät	Datum ..1994	Beginn (UTC)	am Boden auf Tiefe	Ende (UTC)	Latitude ° N	Longitude ° W	Wassertiefe HS (m)	Gewinn (m)	Bemerkungen
43	TVG	06:08	02:30	03:59/05:48	07:12	57°27.66'/57°26.80'	148°59.99'/148°59.62'	4789/4984		
44	CTD	06/07.08	20:12	22:08	00:19	55°56.58'	152°00.76'	5376	12 Schöpfer	keine Probenahme
45	HS	07:08	01:38	-	04:45	56°02.77'/56°21.36'	151°40.35'/152°17.80'	5360/900		
46	HS	07:08	05:00	-	05:45	56°19.90'/56°21.36'	152°20.21'/152°13.40'	1085/3220		
47	HS	07:08	05:53	-	06:28	56°15.24'/56°16.00'	152°15.53'/152°22.46'	2879/1115		
48	HS	07:08	07:05	-	10:17	56°22.40'/56°07.13'	152°15.25'/151°32.82'	1243/5368		
49-1	CTD	07:08	11:20	13:23	15:20	56°05.81'	151°44.86'	5379	11 Schöpfer	
49-2	CTD	07:08	16:22	17:02	18:120	56°05.92'	151°45.13'	4825	12 Schöpfer	
50	EXPLOS	07/08:08	19:47	21:14/03:07	04:36	56°01.14'/56°58.91'	152°11.86'/152°04.77'	4892/5394		
51	CTD	08:08	06:00	07:34	08:38	56°08.60'	152°20.10'	4204	12 Schöpfer	
52	HS	08:08	12:04	-	15:17	56°11.00'/56°23.68'	151°25.33'/152°13.77'	5360/1244		
53	HS	08:08	15:57	-	16:44	56°25.82'/56°23.08'	152°04.91'/151°53.20'	1107/2834		
54	HS	08:08	16:58	-	17:34	56°24.83'/56°26.56'	151°51.65'/152°01.33'	2880/1375		
55	HS	08:08	18:00	-	21:15	56°24.83'/56°14.43'	151°08.45'/151°20.58'	1038/5176		
56	HS	08:08	21:55	-	23:47	56°17.09'/56°23.80'	151°12.51'/151°40.07'	5337/2876		
57	SPI	09:08	00:40	02:40	04:40	56°21.39'	151°51.91'	2980		
58-1	SPI	09:08	05:28	05:39	06:30	56°30.07'	151°59.67'	430		
58-2	SPI	09:08	06:36	06:44	07:07	56°30.72'	151°59.67'	375		
59	SPI	09:08	07:35	07:39	07:55	56°35.17'	152°04.86'	91		
60	SPI	09:08	22:56	23:00	23:34	57°39.95'	150°22.01'	116		
61	SPI	10:08	01:00	01:07	01:41	57°38.60'	150°09.19'	246		
62	SPI	10:08	02:34	02:44	03:31	57°37.43'	149°58.57'	395		
63	SPI	10:08	04:48	05:25	06:40	57°35.56'	149°29.64'	1426		
64	SPI	10:08	07:50	08:49	10:05	57°33.59'	149°06.03'	2482		
65	TVG	10:08	14:05	15:39/16:41	17:51	57°27.93'/57°26.67'	148°00.11'/147°59.48'	4750/4981		keine Probenahme
66	TVG	10:08	18:10	19:31/20:40	21:48	57°27.33'/57°26.79'	148°00.04'/147°59.98'	4850/4987		Probe: 57°26.79'N/147°59.98'W; 4982 m
67	VESP	11:08	02:05	01:45/05:23	07:20	57°27.16'/57°27.45'	147°59.86'/148°00.20'	4776/4804	5 Schöpfer	
68	CTD	11:08	08:04	-	10:35	-	-	3900		Station abgebrochen
69	CTD	11:08	11:06	12:56	15:00	57°27.07'	148°00.47'	4832	12 Schöpfer	
70	VESP	11:08	17:20	18:46/20:58	22:40	57°27.42'/57°27.26'	148°00.10'/147°59.67'	4798/4972		
71	VESP	12:08	00:15	00:55/03:04	04:22	57°27.21'/57°27.13'	148°00.36'/148°00.43'	4870/4862	5 Schöpfer	
72	MUC	12:08	05:12	06:57	08:15	57°27.68'	148°00.87'	4744	7 Rohre	
73	CTD	12:08	09:01	10:44	12:47	57°26.60'	148°01.01'	4932	12 Schöpfer	
74	KAL	12:08	14:28	15:55	17:23	57°27.29'	147°00.40'	4784	leer	kein Kerngewinn
75	VESP	12/13:08	18:00	20:43/22:21	00:00	57°27.37'/57°27.76'	148°00.13'/147°59.81'	4983/4979		nicht abgesetzt
76	VESP	13:08	00:30	02:18/03:38	05:00	57°27.35'/57°27.13'	148°00.12'/148°00.19'	4842/4972		nicht abgesetzt
77	EXPLOS	14:08	14:12	15:41/21:05	22:47	54°10.81'/54°07.34'	157°09.15'/157°06.11'	5562/5872		
78	EXPLOS	14/15:08	23:56	01:30/04:25	05:59	54°15.07'/54°13.53'	157°11.45'/157°09.58'	5065/5548		

Anhang I.1: Fortsetzung

Stat.Nr. SO97/	Gerät	Datum ..1994	Beginn (UTC)	am Boden auf Tiefe	Ende (UTC)	Latitude ° N	Longitude ° W	Wassertiefe HS (m)	Gewinn (m)	Bemerkungen
79	CTD	15.08	06:50	08:31	10:23	54°17.73'	157°14.14'	4736	12 Schopler	Bakterienprobe
80	CTD	15.08	11:12	12:36	14:28	54°22.80'	157°18.59'	3947	12 Schopler	
81	EXPLOS	15.08	14:50	15:42/22:01	23:26	54°24.31'/54°20.45'	157°20.03'/157°13.03'	2979/ 4400		
82	EXPLOS	16.08	00:22	01:38/04:29	05:42	54°18.61'/54°17.57'	157°13.82'/157°09.97'	4546/ 4896		Kamera B defekt
83	HS	16.08	06:23	-	07:31	54°13.19'/54°26.08'	157°19.99'/157°26.76'	5093/2808		
84	HS	16.08	07:43	-	08:36	54°26.50'/54°36.88'	157°30.90'/157°35.84'	2864/ 1690		
85	HS	16.08	09:00	-	09:45	54°37.00'/54°30.77'	157°28.58'/157°20.19'	1712/2654		
86	HS	16.08	10:20	-	12:15	54°26.42'/54°04.21'	157°29.99'/157°26.03'	3198/ 6022		
87	HS	16.08	12:36	-	13:22	54°04.24'/54°13.21'	157°19.13'/157°21.04'	5816/5055		
88	MUC	16.08	14:20	16:11	17:38	54°16.81'	157°14.09'	4776		
89	EXPLOS	16/ 17.08	18:22	19:34/01:14	02:40	54°16.89'/54°11.49'	157°23.39'/157°19.33'	4509/5381		
90	EXPLOS	17.08	03:27	04:41/06:17	07:29	54°18.86'/54°17.75'	157°11.69'/157°10.46'	4715/ 4939		
91	HS	17.08	08:00	-	09:02	54°13.89'/54°02.43'	157°15.51'/157°11.61'	5172/ 5605		
92	HS	17.08	09:05	-	10:18	54°01.90'/53°58.74'	157°11.63'/157°34.89'	5570/ 5714		
93	HS	17.08	10:21	-	10:50	53°58.67'/54°03.95'	157°35.47'/157°35.99'	5715/ 5926		
94	HS	17.08	10:51	-	11:37	54°04.28'/54°06.55'	157°35.98'/157°22.86'	5748/ 5916		
95	CTD	17.08	11:48	13:57	16:25	54°06.30'	157°22.86'	5946	12 Schopler	Bakterienprobe
96	EXPLOS	17.08	17:55	19:17/22:18	23:57	54°17.83'/54°14.55'	157°05.28'/157°05.38'	4813/ 5525		ohne CTD
97	TVG	18.08	00:50	02:07/03:12	05:22	54°18.23'/54°17.98'	157°12.75'/157°11.71'	4619/ 4861		größtenteils ausgewaschen
98	SPI	18.08	07:57	08:42	09:56	54°37.59'	157°20.47'	1839		
99	SPI	18.08	10:48	11:41	13:01	54°33.58'	157°12.34'	2262		
100	DR	18.08	14:45	16:34/ 18:10	19:30	54°18.13'/54°17.29'	157°11.72'/157°12.68'	4845/ 4792	leer	ausgewaschen
101	VESP	18/ 19.08	20:10	21:37/00:23	02:10	54°18.33'/54°17.43'	157°12.75'/157°10.34'	4628/ 4921		nicht abgesetzt
102	TVG	19.08	02:24	03:46/05:22	07:05	54°18.16'/54°17.69'	157°12.51'/157°11.14'	4654/ 4905		nicht abgesetzt
103-1	CTD	19.08	07:11	09:06	10:55	54°18.10'	157°11.38'	4880	12 Schopler	Bakterienprobe
103-2	CTD	19.08	12:00	13:08	14:30	54°17.71'	157°11.80'	4843	12 Schopler	
104	VESP	19.08	15:00	16:21/ 19:18	20:54	54°18.29'/54°17.86'	157°12.46'/157°11.74'	4662/ 4892	5 Schopler	
105	TVG	19/20.08	21:22	22:38/00:04	01:28	54°18.29'/54°17.98'	157°12.77'/157°11.31'	4605/ 4885		nicht abgesetzt
106	TVG	20.08	02:00	03:20/06:06	07:39	54°18.36'/54°18.05'	157°12.30'/157°11.42'	4698/ 4881		nicht abgesetzt
107	DR	20.08	08:10	09:52/ 13:16	14:25	54°18.39'/54°18.66'	157°11.31'/157°10.68'	4840/ 4715		
108	VESP	20.08	15:58	17:17/ 18:33	20:08	54°18.39'/54°18.32'	157°12.36'/157°11.79'	4704/ 4891		Trübung am Boden, nicht abgesetzt
109	TVG	20/21.08	20:34	21:50/22:37	00:01	54°18.16'/54°18.01'	157°12.23'/157°10.90'	4746/ 4872		Probe 54°18'01" N 157°12' 23" W, 4872m
110	HS	21.08	00:23	-	21:08	54°16.89'/53°36.28'	157°11.84'/156°59.06'	4890 4731		
111	KAL	21.08	04:39	06:08	07:30	53°35.89'	156°59.66'	4704	4,93 m	
112	MUC	21.08	08:20	10:06	11:20	53°34.17'	157°00.39'	4630	7 Rohre	
113	HS	21.08	12:05	-	15:01	53°35.94'/54°06.89'	156°52.43'/156°57.33'	4708 5685		
114	HS	21.08	15:40	-	16:35	54°13.26'/54°21.92'	156°52.31'/157°02.76'	5708 4977		
115	VESP	21.08	18:00	20:22/21:00	22:45	54°17.72'/54°18.03'	157°10.87'/157°11.02'	4938 4938		nicht abgesetzt

Anhang I.1: Fortsetzung

Stat.Nr. SO97/	Gerät	Datum ..1994	Beginn (UTC)	am Boden auf Tiefe	Ende (UTC)	Latitude ° N	Longitude ° W	Wassertiefe HS (m)	Gewinn (m)	Bemerkungen
116	HS	21/22-08	23:30	-	00:40	54°19.94' / 54°29.68'	157°19.83' / 157°26.79'	4238 / 2771		
117-1	SPI	22-08	14:17	15:25	17:10	54°02.88'	160°55.41'	2402		
117-2	PN	22-08	14:17	-	17:10	54°02.88'	160°55.41'	0-20		
118-1	SPI	22-08	19:09	19:38	21:03	54°00.81'	161°21.52'	1229		
118-2	PN	22-08	19:09	-	21:03	54°00.81'	161°21.52'	0-20		
119-1	SPI	22-08	21:44	22:02	23:05	54°03.76'	161°27.82'	686		
119-2	PN	22-08	21:44	-	23:05	54°03.76'	161°27.82'	0-20		
120-1	SPI	23-08	00:05	00:11	00:50	54°09.92'	161°33.58'	144		
120-2	PN	23-08	00:05	-	00:50	54°09.92'	161°33.58'	0-20		

Legende:

- HS: HYDROSWEEEP
- SPI: Sediment Profile Imagery
- EXPLOS: Exploration System
- TVG: TV-Greifer
- VESP: Vent Sampler
- CTD: Multisonde mit Kranzwasserschöpfer
- MUC: Multicorer
- KAL: Kastenlot
- PN: Planktonnetz
- DR: Dredge

Anhang I.2: Nährstoffdaten CTD-Stationen SO97-1.

SO97-11-CTD

CTD-Nr.	Schöpfer-Nr.	Wassertiefe [dbar]	Wassertiefe [m]	SiO2 [µM]	PO4 [µM]	NO3- [µM]	NH4+ [µM]	NO2- [µM]
2	12	29	29.6	15.4	1.11	10.39	0.97	0.6
2	11	69	68.9	19.1	1.61	12.36	0.58	0.14
2	10	120	119	27.6	1.48	16.26	0.26	0.1
2	9	219	217	58.7	2.42	31.1	0.27	0.06
2	8	271	269	67	2.8	35.52	0.39	0.09
2	7	525	520	107.5	3.3	42.93	0.26	0.05
2	6	778	770	131	3.33	43.36	0.04	0.06
2	4	1540	1520	172	3.3	43.22	0	0.07
2	3	1792	1769	194	3.28	43.49	0.29	0.07
1	12	2020	1992	192	3.09	42.18	0	0
2	2	2041	2012	183	2.91	43.28	0.3	0.08
1	11	2276	2243	181	3.06	41.57	0.32	0.01
2	1	2300	2267	183	2.86	41.35	0.35	0.01
1	10	2533	2495	184	2.98	40.91	0.57	0
1	9	2784	2746	194	2.97	40.22	0.16	0
1	8	3047	2998	182	2.93	39.66	0.35	0
1	7	3251	3197	183	2.87	39.2	0.22	0.01
1	6	3303	3248	181	2.84	39.41	0.49	0.02
1	5	3332	3275	177	2.99	39.54	0.43	0.02
1	1	3357	3300	180	2.82	39.66	0.29	0.01

SO97-19-CTD

Schöpfer-Nr.	Wassertiefe [dbar]	Wassertiefe [m]	SiO2 [µM]	PO4 [µM]	NO3- [µM]	NH4+ [µM]	NO2- [µM]
12	69	69	19.5	1.3	14.51	0.42	0.06
11	270	268	69	2.76	38.45	0	0.02
10	524	519	104	3.33	45.15	0.16	0.03
9	780	772	127	3.34	45.35	0.11	0.01
8	1035	1023	142	3.42	45.58	0.09	0.02
7	2059	2031	170	3.1	44.6	0.1	0
6	3089	3039	173	2.86	40.68	0.13	0
4	4125	4049	164	2.63	38.11	0.22	0.06
3	4384	4300	162	2.78	37.84	0.3	0.06
2	4542	4453	158	2.64	37.43	0.28	0.04
1	4588	4497	161	2.59	37.85	0.36	0.03

SO97-36-CTD

Schöpfer-Nr.	Wassertiefe [dbar]	Wassertiefe [m]	O2 [µM]	SiO2 [µM]
12	2541	2503	86.3	178
11	3573	3511	99.9	174
10	4403	4318	102.8	167
9	4610	4518	129.6	164
8	4817	4721	155.3	162
7	4870	4771	150.9	162
6	4922	4821	130.8	163
5	4976	4872	97.4	162
4	5027	4923	138.3	162
3	5099	4993	158.2	161

Anhang I.2: Fortsetzung

SO-97-20-CTD

Schöpfer-Nr.	Wassertiefe [dbar]	Wassertiefe [m]	SiO2 [µM]	PO4 [µM]	NO3- [µM]	NH4+ [µM]	NO2- [µM]
12	45	45	17.7	1.06	12.76	0.24	0.08
11	248	246	67.8	2.66	36.77	0.27	0.03
10	499.5	495	102	3.22	44.42	0.01	0.01
9	756	748	125	3.34	43.53	0	0
8	1010	999	142	3.4	45.31	0.29	0
7	2035	2007	171	3.3	43.85	0.27	0.01
6	3065	3016	173	2.97	40.78	0.29	0.01
4	4621	4530	158.5	2.65	38.85	0.08	0.03
3	4881	4782	158	2.66	37.25	0.1	0.01
2	5037	4933	159	2.67	37.87	0.23	0.01
1	5095	4989	157	2.68	37.25	0.2	0.01

SO97-37-CTD

Schöpfer-Nr.	Wassertiefe [dbar]	Wassertiefe [m]	SiO2 [µM]
12	2551	2513	177
11	3585	2522	171
10	4103	4027	168
9	4416	4331	163
8	4520	4432	165
7	4622	4531	164
6	4727	4631	163
5	4781	4684	162
4	4831	4734	160
3	4884	4784	162
2	4910	4809	162
1	4949	4846	162

SO97-23-CTD

CTD-Nr.	Schöpfer-Nr.	Wassertiefe [dbar]	Wassertiefe [m]	SiO2 [µM]	PO4 [µM]	NO3- [µM]	NH4+ [µM]	NO2- [µM]
2	12	15	15	3.2	0.41	0.14	0.6	0.11
2	11	27	27	14.4	1.17	11.11	0.44	0.26
2	10	54	54	16.7	1.31	12.81	0.35	0.09
2	9	79	79	19.65	1.25	13.88	0	0.06
2	8	102	102	29.2	1.58	18.7	0.5	0.06
2	7	203	202	55.2	2.39	32.97	0.66	0.04
2	6	408	404	93	3.17	42.55	0.3	0.04
2	5	610	604	112	3.29	45.42	0.44	0.04
2	4	814	805	129	3.39	45.56	0.16	0.03
2	3	1018	1007	142	3.38	46.32	0.35	0.02
2	2	1271	1256	155	3.36	46.65	0.56	0
2	1	1529	1509	164	3.35	45.51	0.45	0
1	12	2555	2517	172	3.06	43.21	0.31	0
1	11	3588	3526	164	2.7	38.99	0.33	0.02
1	10	4418	4333	157	2.61	36.78	0.25	0.01
1	7	4626	4535	157	2.71	36.39	0.34	0.02
1	6	4836	4739	155	2.67	36.55	0.05	0.01
1	5	4888	4789	154.7	2.71	38.49	0.22	0.01
1	4	4941	4840	154.5	2.68	39.31	0.49	0.01
1	3	4993	4890	154	2.65	39.71	0	0.01
1	2	5045	4941	154	2.68	39.49	0.23	0.01
1	1	5116	5009	154	2.6	39.39	0.13	0.01

CTD97-40-CTD

Schöpfer-Nr.	Wassertiefe [dbar]	Wassertiefe [m]	O2 [µM]
12	3586	3524	130.5
11	4416	4331	147.7
10	4624	4533	149.7
9	4835	4736	151.6
8	4887	4787	152.4
7	4939	4838	153.8
6	4991	4888	153.0
5	5043	4939	152.6
4	5095	4989	153.0
1	5148	5039	90.8

SO97-69-CTD

Schöpfer-Nr.	Wassertiefe [dbar]	Wassertiefe [m]	O2 [µM]
12	4815	4717	151
11	4867	4767	169
10	4892	4792	152
9	4916	4815	154
8	4941	4840	155
7	4963	4861	154
6	4990	4886	154
5	5014	4908	155
4	5033	4929	155
3	5052	4949	155
2	5075	4969	156
1	5109	5004	159

Anhang I.2: Fortsetzung

SO97-49-CTD

CTD-Nr.	Schöpfer-Nr.	Wassertiefe [dbar]	[m]	O2 [µM]	SiO2 [µM]	PO4 [µM]	NO3 [µM]	NH4 [µM]	NO2 [µM]	TIC [mM]
2	12	2	2	286.0	0.2	0.6	2.46	0.94	0.28	2
2	11	10	10	287.4	0.62	0.67	2.48	1.04	0.28	2
2	10	24	24	289.2	1.5	0.85	5.29	1.35	0.32	2.04
2	9	52	51	317.2	11.8	1.27	10.82	2	0.42	2.08
2	8	76	75	295.4	26.1	1.58	16.68	0.77	0.59	2.06
2	7	106	106	179.3	52.6	2.74	30.4	0.62	0.05	2.24
2	6	258	255	42.3	90.2	3.21	43.23	0.55	0.02	2.32
2	5	511	506	20.6	114	3.31	43.69	0.35	0.01	2.39
2	4	767	759	18.6	132	3.35	44.49	0.3	0.01	2.38
2	3	1021	1009	19.8	146	3.36	45.39	0.4	0.01	2.42
2	2	1277	1262	27.1	157	3.36	45.49	0.38	0.01	2.42
1	12	1516	1498	38.1	162	3.32	45.09	0.52	0.01	2.43
2	1	1532	1513	37.6	165	3.33	45.49	0.37	0.01	2.49
1	11	2031	2004	63.8	171	3.19	43.48	0.24	0.02	2.52
1	10	2547	2509	96.9	172	3.07	41.85	0.22	0.05	2.5
1	8	3580	3517	136.5	164	2.88	39.26	0.48	0.04	2.46
1	7	4099	4024	147.1	161	2.78	38.16	0.34	0.03	2.46
1	6	4618	4527	159.1	157	2.77	37.49	0.24	0.01	2.46
1	5	5136	5029	162.0	153	2.77	37.29	0.42	0.01	2.43
1	4	5240	5130	160.8	152	2.79	36.93	0.16	0.07	2.43
1	3	5346	5232	162.9	150	2.82	36.97	0.19	0.03	2.46
1	2	5452	5334	160.5	150	2.83	37.09	0.35	0.01	2.45
1	1	5529	5409	158.2	153	2.82	37.18	0.26	0.02	2.45

SO97-103-CTD

CTD-Nr.	Schöpfer-Nr.	Wassertiefe [dbar]	[m]	O2 [µM]	SiO2 [µM]	PO4 [µM]	NO3 [µM]	NH4 [µM]	NO2 [µM]	TIC [mM]
2	12	6	6	285.5	2.5	0.76	3.24	0.47	0.08	1.92
2	11	12	12	97.8	173	3.00	40.54	0.15	0	2.4
2	10	51	50	312.0	14.5	1.71	11.99	1.22	0.39	2.08
2	9	117	116	152.0	56.7	2.75	32.11	0.26	0.02	2.3
2	8	267	264	31.7	95.5		43.62	0.17	0.01	2.37
2	7	522	516	28.9	122		44.9	0.31	0	2.1
2	6	776	768	23.4	140		44	0.19	0.01	2.45
2	5	1031	1019	22.2	152		45.12	0.26	0.01	2.45
2	4	1542	1522	46.8	169		42.8	0.32	0.01	2.44
2	3	2054	2025	68.8	175		41.98	0	0.01	2.41
2	2	2569	2530	96.1	175		40.96	0.21	0	2.41
2	1	3598	3534	141.0	164		37.41	0.3	0	2.41
1	12	4691	4510	159.0	156	2.92	36.22	0.2	0.02	2.3
1	11	4796	4612	161.0	156	2.91	35.77	0.41	0.02	2.28
1	10	4758	4663	165.0	158	2.93	36.7	0.33	0.02	2.33
1	9	4810	4712	156.0	155	2.89	35.79	0.32	0	2.31
1	8	4862	4763	160.0	155	2.86	36.93	0.25	0.01	2.29
1	5	4912	4811	169.5	156	2.86	34.87	0.11	0.02	2.42
1	4	4934	4833	164.0	156	2.84	35.86	0.43	0.02	2.31
1	3	4986	4884	163.0	154	2.88	35.82	0.28	0.01	2.4
1	2	5017	4914	163.0	156	2.92	36.47	0.31	0	2.38
1	1	5056	4950	164.0	157	3.01	37.17	0.49	0	2.31

Anhang I.3: Geochemische Wasserdaten des Ventsamplers.

SO97-24-VESP \* :Bodenwasser

Probe	Zeit [min]	O2 [µM]	SiO2 [µM]	PO4 [µM]	NO3- [µM]	NH4 [µM]	NO2- [µM]	Cl+Br [mM]
BW* aus CTD-23, CTD-36	0	157	152.6	2.63	38.82	0.13	0.01	582
BW* aus MUC-25	0	162	152.8	2.81	39.03	0.2	0.12	567
VESP-2	30	179	156.1	3.24	38.86	1.37	0.55	573
VESP-4	50	169	154.4	3.29	38.5	1.82	0.55	568
VESP-5	60	162	153.3	3.38	39.16	1.82	0.55	569

SO97-42-VESP

Probe	Zeit [min]	O2 [µM]	SiO2 [µM]	PO4 [µM]	NO3- [µM]	NH4 [µM]	NO2- [µM]
BW aus CTD-49	0	160.9	155.2	2.61	37.9	0.60	0.015
VESP1	28	158.8	156.6	2.66	38.4	0.54	0
VESP2	43	156.8	156.6	2.65	38.6	0.50	0.005
VESP3	58	156.0	157.4	2.66	38.3	0.53	0.005
VESP4	73	155.3	157.4	2.71	38.2	0.66	0.015
VESP5	88	154.2	156.7	2.65	38.6	0.51	0.01

SO97-104-VESP

Probe	Zeit [min]	O2 [µM]	SiO2 [µM]	PO4 [µM]	NO3- [µM]	NH4 [µM]	NO2- [µM]	TIC [mM]
BW aus CTD-103	0	163.8	156.2	2.84	37.1	0.22	0	
VESP1	13	165.2	156.1	2.64	36.9	0.49	0.02	2.41
VESP2	23	164.0	156.5	2.83	37.1	0.51	0.02	2.45
VESP3	33	164.6	155.6	2.71	37.2	0.36	0.02	2.44
VESP4	43	163.7	155.4	2.84	40.1	0.35	0.04	2.36
VESP5	53	162.2	158.2	2.79	36.9	0.27	0.03	2.44

SO97-67-VESP

Probe	Zeit [min]	O2 [µM]	SiO2 [µM]	PO4 [µM]	NO3- [µM]	NH4 [µM]	NO2- [µM]	TIC [mM]
BW aus CTD-49, CTD-69	0	160.9	155.6	2.32	36.6	0.39	0.01	2.45
VESP1	25	159.6	154.5	2.3	36.7	0.85	0.04	2.35
VESP2	40	159.0	151	2.33	37	0.40	0.01	2.32
VESP3	55	159.9	152	2.36	36.8	0.49	0.01	2.37
VESP4	70	159.5	153.5	2.36	36.4	0.42	0.01	2.34
VESP5	85	159.5	152.2	2.38	36.8	0.44	0.01	2.37

SO97-71-VESP

Probe	Zeit [min]	O2 [µM]	SiO2 [µM]	PO4 [µM]	NO3- [µM]	NH4 [µM]	NO2- [µM]	TIC [mM]
BW aus CTD-49, CTD-69	0	160.9	155.6	2.57	36.6	0.62	0.01	2.45
VESP1	27	159.5	157.3	2.59	37.9	2.94	0.03	2.32
VESP4	57	158.0	158.4	2.49	38.2	0.65	0.02	2.36
VESP5	67	157.8	159	2.49	37.8	0.83	0.02	2.28
VESP3	47	47.8	169.2	3.01	45.3	0.59	0.01	2.34

Anhang I.4: Geochemische Daten der TV-Greifer-Poben

SO97-31-TVG

Probe	Tiefe von-bis [cm]	Tiefe Mitte [cm]	SiO2 [µM]	PO4 [µM]	NH4 [µM]	NO2- [µM]	NO3- [µM]	N/P
Gang			410	34.0	422	0.33	0	12.4
Kern	0-2	1	376	25.5	371	0.01	0	14.5
Kern	2-4	3	378	25.9	411	0.07	0	15.9
Kern	4-6	5	365	26.5	388	0.09	0	14.7
Kern	6-8	7	395	27.8	402	0	0	14.5
Kern	8-10	9	393	28.0	381	0.24	0	13.6
Kern	10-12	11	392	28.0	396	0.08	0	14.2
Kern	12-14	13	388	28.4	416	0.05	0	14.6
Kern	14-16	15	395	29.3	417	1.12	0	14.2
Kern	16-18	17	400	30.0	440	0.65	0	14.7
Kern	18-20	19	397	29.2	460	0	0	15.8
Kern	20-22	21	397	32.6	484	0.07	0	14.9
Kern	22-24	23	396					
Kern	24-26	25	393					
Kern	26-28	27	394					
Kern	28-30	29	397	38.2	553	1.65	0	14.5
Kern	30-32	31	394	37.3	533	1.92	0	14.4
Kern	32-34	33	396	38.7	552	0.96	0	14.3
Kern	34-36	35	394	39.1	550	2.12	0	14.1
Kern	36-38	37	390	39.9	557	2.49	0	14.0

SO97-39-TVG

Probe	Tiefe von-bis [cm]	Tiefe Mitte [cm]	SiO2 [µM]	PO4 [µM]	NO3- [µM]	NH4 [µM]	NO2- [µM]	N/P
Kern	0-1	0.5	276	2.5	18.35	6.32	3.68	11.3
Kern	1-2	1.5	311	2.82	8.21	7.98	2.94	6.8
Kern	2-3	2.5	280	3.42	2.49	6.36	1.9	3.1
Kern	3-4	3.5	309	3.57	2	7.61	1.22	3.0
Kern	4-5	4.5	313	3.9	1	6.97	1.53	2.4
Kern	5-6	5.5	311	3.84	0	8.69	1.01	2.5
Kern	6-7	6.5	325	3.93	0	7.04	0.1	1.8
Kern	7-8	7.5	317	4.48	0	7.5	0.05	1.7
Kern	8-9	8.5	321	4.33	0	7.86	0.32	1.9
Kern	9-10	9.5	333	4.5	0	9.73	0	2.2
Kern	10-13	11.5	342	3.99	0	10.09	0.01	2.5
Kern	13-16	14.5	328	3.97	0	13.03	0.33	3.4
Kern	16-19	17.5	342	4.06	0	14.51	0.25	3.6
Kern	19-22	20.5	366	3.99	0	17.84	0	4.5
Kern	22-25	23.5	356					
Kern	25-28	26.5	381	3.89	0	23.12	2.08	6.5
Kern	28-31	29.5	405	3.86	0	26.04	0.1	6.8
Kern	31-34	32.5	409	4.66	0	27.79	0	6.0
Kern	34-37	35.5	407					

Anhang I.4: Fortsetzung

SO97-66-TVG

Probe	Tiefe von-bis [cm]	Tiefe Mitte [cm]	SiO2 [µM]	PO4 [µM]	NO3 [µM]	NH4 [µM]	NO2 [µM]	N/P	TTC [mM]
Kern B	0-1	0.5	290	13.9	0	431	0.45	31.1	
Kern B	1-2	1.5	288	14.1	0	439	0.28	31.2	
Kern B	2-3	2.5	295	14.7	0	435	0.37	29.7	
Kern B	3-4	3.5	299.5	14.3	0	481	0.3	33.6	
Kern B	4-5	4.5	300	14.0	0	482	0.45	34.6	
Kern B	5-6	5.5	301	14.2	0	481	0.47	34.0	
Kern B	6-7	6.5	314	14.2	0	491	0.81	34.6	
Kern B	7-8	7.5	291	13.7	0	526	0.18	38.3	
Kern B	8-9	8.5	314	13.8	0	503	0.41	36.4	
Kern B	9-10	9.5	310	13.8	0	519	0.37	37.7	
Kern B	10-13	11.5	328	13.8	0	457	0.41	33.2	
Kern B	13-16	14.5	322	14.6	0	476	0.35	32.7	
Kern B	16-19	17.5	354	26.6	0	881	0.49	33.1	
Kern B	19-22	20.5	351	32.7	0	1000	1.52	30.6	
Kern B	22-25	23.5	367	38.9	0	1387	0.49	35.7	
Kern B	25-28	26.5	416	39.8	0	1630	1.71	41.0	
Kern B	28-31	29.5	438	45.0	0	1810	0.25	40.2	
Kern B	31-34	32.5	499	53.3	0	2034	0	38.1	
Kern B	34-37	35.5	513	51.5	0	2140	1.69	41.6	
Kern B	37-40	38.5	500.5	53.2	0	2128	0.11	40.0	
Kern C	0-1	0.5	253	2.63	0	48	0.37	18.4	2.96
Kern C	1-2	1.5	249	3.03	0	52	0.57	17.3	2.89
Kern C	2-3	2.5	241	3.46	0	43	0.5	12.7	3.05
Kern C	3-4	3.5	245	3.32	0	37	0.48	11.1	3.37
Kern C	4-5	4.5	252	3.25	0	39	0.1	11.9	2.73
Kern C	5-6	5.5	269	3.25	0	32	0.05	9.7	2.78
Kern C	6-7	6.5	278	3.93	0	34	0	8.6	2.61
Kern C	7-8	7.5	281	4.29	0	45	0	10.5	2.71
Kern C	8-9	8.5	287	5.33	0	61	0	11.4	2.73
Kern C	9-10	9.5	275	5.55	0	64	0.08	11.6	3.38
Kern C	10-13	11.5	289	6.41	0	95	0	14.9	3.1
Kern C	13-16	14.5	298	7.92	0	138	0.06	17.5	3.09
Kern C	16-19	17.5	335	8.06	0	207	0.16	25.7	2.99
Kern C	19-22	20.5	351	10.1	0	271	1.76	27.2	3.19
Kern C	22-25	23.5	346	10.5	0	258	0	24.5	2.99
Kern C	25-28	26.5	344	12.9	0	320	0	24.9	3.68
Kern C	28-31	29.5	358	16.9	0	501	0	29.7	5.26
Kern C	31-34	32.5	359	16.9	0	555	0.15	32.9	4.7
Kern C	34-37	35.5	379	21.3	0	595	0.15	28.0	5.46
Kern C	37-40	38.5	391	28.4	0	823	0	29.0	7.06
Kern C	40-43	41.5	399.5	28.6	0	835	0	29.2	6.72
Kern C	43-46	44.5	400.3	28.8	0	784	0	27.2	7.01

Anhang I.4: Fortsetzung

SO97-66-TVG

Probe	Tiefe von-bis [cm]	Tiefe Mitte [cm]	SiO2 [µM]	PO4 [µM]	NO3 [µM]	NH4 [µM]	NO2 [µM]	N/P	TIC [nM]	pH in Sediment
Muschel A	0-2	1	267	6.37	4.61	66	1.86	11.4	2.7	7.32
Muschel A	2-4	3	311.5	4.38	0	134	2.04	31.1	3.21	7.8
Muschel A	4-6	5	323	6.09	0	219	0.52	36.0	3.7	7.77
Muschel C1	0-2	1	530	32.0	0	401	0.16	12.5	3.88	7.33
Muschel C2	0-2	1	653	80.8	0	478	0.38	5.9	6.09	
Muschel D	0-2	1	569	34.9	0	339	0.05	9.7	4.53	
Muschel D	2-4	3	490	30.2	0	407	0.12	13.5	4.33	
Muschel D	4-6	5	455	27.2	0	441	0.7	16.3	4.42	
Gang 1			297	19.5	0	635	0.69	32.5		
Gang 2			241	7.61	0	519	0.3	68.2	4.5	7.53
Gang 3			240	5.07	0	222	0.48	43.9	4.01	
Kern A	0-1	0.5	283	4.15	0.59	149	0.06	36.1	3.24	
Kern A	1-2	1.5	278	6.8	0.94	282	0.49	41.7	4	
Kern A	2-3	2.5	234	6.95	1.41	259	0.6	37.6	4.05	
Kern A	3-4	3.5	294	7.08	2.25	331	0.58	47.1	4.44	
Kern A	4-5	4.5	305	12.9	0	376	0.49	29.2	5.28	
Kern A	5-6	5.5	308	13.6	0	395	0.61	29.0	5.43	
Kern A	6-7	6.5	320	16.4	0	565	0.76	34.4	6.68	
Kern A	7-8	7.5	333	18.6	0	711	0.9	38.2	6.9	
Kern A	8-9	8.5	341	21.2	0	725	2.14	34.4	7.68	
Kern A	9-10	9.5	332	21.8	0	850	0.98	39.0	8.23	
Kern A	10-13	11.5	372.5	32.3	0	991	0	30.7	9.63	
Kern A	13-16	14.5	395	39.4	0	1182	4.35	30.2	11.94	
Kern A	16-19	17.5	388	42.1	0	1277	7.25	30.5	13.72	
Kern A	19-22	20.5	402	51.9	0	1591	1.65	30.7	16.31	
Kern A	22-25	23.5	430	75.0	0	2195	1.7	29.3	18.12	
Kern A	25-28	26.5	510	86.3	0	2964	4.6	34.4	22.93	
Kern A	28-31	29.5	522	74.7	0	2999	2.6	40.2	23.4	
Kern A	31-34	32.5	514	76.7	0	2871	3.5	37.5	21.43	
Kern A	34-37	35.5	522	69.6	0	2855	3	41.1	20.79	
Kern A	37-40	38.5	474	71.3	0	2946	0.6	41.3	18.11	

## Anhang I.4: Fortsetzung

## SO97-22-TVG

Proben	SiO2 [µM]	PO4 [µM]	NO3- [µM]	NH4 [µM]	NO2- [µM]	N/P	pH in Sediment	Cl+Br [mM]
Muschel a	229	10.2	0	181	0.785	17.8	7.49	550.5
Muschel b	290	19.7	0	407	0.11	20.7	7.64	561.5
oben	293	5.4	0	114	0.395	21.2	7.46	561
Mitte a	342	11.6	0	205	0.21	17.7	7.37	560
Mitte b	215	5.9	0	133	0.29	22.6	7.67	563
unten a	466	104.9	0	2722	0.2	26.0	7.56	568
unten b	489	110.9	0	2797	0.03	25.2	7.52	568

## SO97-66-TVG

Probe	Tiefe von-bis [cm]	Tiefe Mitte [cm]	pH in Sediment
Kern D	0-1	0.5	7.66
Kern D	1-2	1.5	7.54
Kern D	2-3	2.5	7.54
Kern D	3-4	3.5	7.55
Kern D	4-5	4.5	7.61
Kern D	5-6	5.5	7.6
Kern D	6-7	6.5	7.71
Kern D	7-8	7.5	7.66
Kern D	8-9	8.5	7.73
Kern D	9-10	9.5	7.73
Kern D	10-13	11.5	7.78
Kern D	13-16	14.5	7.78
Kern D	16-19	17.5	7.93
Kern D	19-22	20.5	7.84
Kern D	22-25	23.5	7.84
Kern D	25-28	26.5	7.93
Kern D	28-30	29	7.83

## SO97-97-TVG

Probe	Tiefe von-bis [cm]	Tiefe Mitte [cm]	SiO2 [µM]	PO4 [µM]	NO3 [µM]	NH4 [µM]	NO2 [µM]	N/P	TIC [µM]	pH in Sediment
Sediment	nicht definiert		454	40.9	17.2	292	6.6	7.7	10.49	8.09

Anhang I.5: Geochemische Daten der Multicorer-Proben.

SO97-25-MUC      \*: Bodenwasser aus dem MUC-Rohr

Tiefe von-bis [cm]	Tiefe Mitte [cm]	SiO2 [µM]	PO4 [µM]	NO3- [µM]	NH4 [µM]	NO2- [µM]	N/P	Cl+Br [mM]
BW*	0	153	2.81	39.0	0.18	0	14.0	567
0-1	0.5	372	5.27	43.5	13.1	4.05	11.5	563
1-2	1.5	261	4.34	38.9	7.82	3.55	11.6	567
2-3	2.5	259	4.42	29.6	8.03	3.65	9.3	571
3-4	3.5	262	4.84	19.6	8.68	4.42	6.8	568
4-5	4.5	265	4.01	4.7	8.97	3.78	4.3	570
5-6	5.5	283	4.12	2.0	10.2	2.31	3.5	568
6-7	6.5	336	4.25	0.7	13.8	1.92	3.9	569
7-8	7.5	351	4.86	0.0	17.8	0.71	3.8	569
8-9	8.5	411	5	0.0	25.5	3.23	5.7	570
9-10	9.5	414	5.39	0.0	26.6	1.13	5.1	570
10-13	11.5	403	6.38	0.0	34.4	0.43	5.5	569
13-16	14.5	441	10.6	0.0	40.3	0.19	3.8	570
16-19	17.5	455	13.6	0.0	54.3	0.17	4.0	571
19-22	20.5	433	17.1	0.0	62.8	0.73	3.7	568
22-25	23.5	419	25.3	0.0	73.8	0.02	2.9	569

SO97-72-MUC

Tiefe von-bis [cm]	Tiefe Mitte [cm]	SiO2 [µM]	PO4 [µM]	NO3- [µM]	NH4 [µM]	NO2- [µM]	N/P	TIC [µM]
0-1	0.5	277	3.20	35.3	7.73	1.82	14.0	2.34
1-2	1.5	324	3.90	28.6	8.46	1.10	9.8	2.36
2-3	2.5	362	4.52	8.23	7.75	1.43	3.9	2.84
3-4	3.5	381	5.10	1.91	10.6	0.81	2.6	2.89
4-5	4.5	409	5.23	0.00	11.7	0.19	2.3	2.78
5-6	5.5	431	4.90	0.00	17.2	0.54	3.6	3
6-7	6.5	450	5.94	0.00	20.3	0.56	3.5	3.05
7-8	7.5	459	5.62	0.00	21.0	0.42	3.8	3.05
8-9	8.5	474	7.77	0.00	24.8	0.39	3.2	3.17
9-10	9.5	480	8.25	0.00	26.4	0.23	3.2	3.16
10-13	11.5	487	7.40	0.00	29.7	0.22	4.0	3.21
13-16	14.5	491	8.76	0.00	36.4	0.24	4.2	3.19
16-19	17.5	462	10.8	0.00	40.4	0.20	3.8	3.18
19-22	20.5	442	22.3	0.00	50.2	0.43	2.3	2.86
22-25	23.5	443	27.4	0.00	57.9	0.13	2.1	3.41
25-28	26.5	451	28.6	0.00	62.0	0.60	2.2	3.22
28-31	29.5	459	27.9	0.00	67.9	0.11	2.4	3.16
31-34	32.5	457	31.1	0.00	71.2	0.20	2.3	3.51
34-37	35.5	472	31.5	0.00	73.3	0.16	2.3	3.37
37-40	38.5	484	33.5	0.00	75.8	0.18	2.3	3.39

Anhang I.5: Fortsetzung

SO97-88-MUC \*: Bodenwasser aus dem MUC-Rohr

Tiefe von-bis [cm]	Tiefe Mitte [cm]	SiO2 [µM]	PO4 [µM]	NO3- [µM]	NH4 [µM]	NO2- [µM]	N/P	TIC [mM]
BW*	0	155	2.62	37.0	0	0	14.1	
0-1	0.5	351	4.86	44.7	12.3	1.38	12.0	2.32
1-2	1.5	411	5.79	49.3	9.27	2.22	10.5	2.36
2-3	2.5	437	5.87	47.1	5.42	0.99	9.1	2.27
3-4	3.5	462	5.92	42.2	4.93	0.99	8.1	2.21
4-5	4.5	489	6.09	36.1	3.45	0.82	6.6	2.32
5-6	5.5	493	6.76	30.8	4.36	0.64	5.3	2.33
6-7	6.5	502	7.15	24.2	4.68	1.3	4.2	2.34
7-8	7.5	508	7.8	20.2	5.99	0.72	3.4	2.29
8-9	8.5	508	8.31	17.1	3.46	0.36	2.5	2.5
9-10	9.5	508	9.33	13.1	4.05	0.34	1.9	2.48
10-13	11.5	520	11.1	7.42	4.39	0.72	1.1	2.55
13-16	14.5	492	13.5	1.33	4.77	0	0.5	2.59
16-19	17.5	497	15.0	0	6.37	0	0.4	2.61
19-22	20.5	518	15.5	0	13.7	0	0.9	2.85
22-25	23.5	536	17.1	0	20.1	0.11	1.2	2.85
25-28	26.5	565	18.7	0	24.0	0.06	1.3	3.01
28-29	28.5	541	13.7	0	25.1	0.05	1.8	3.12

SO97-112-MUC \*: Bodenwasser aus dem MUC-Rohr

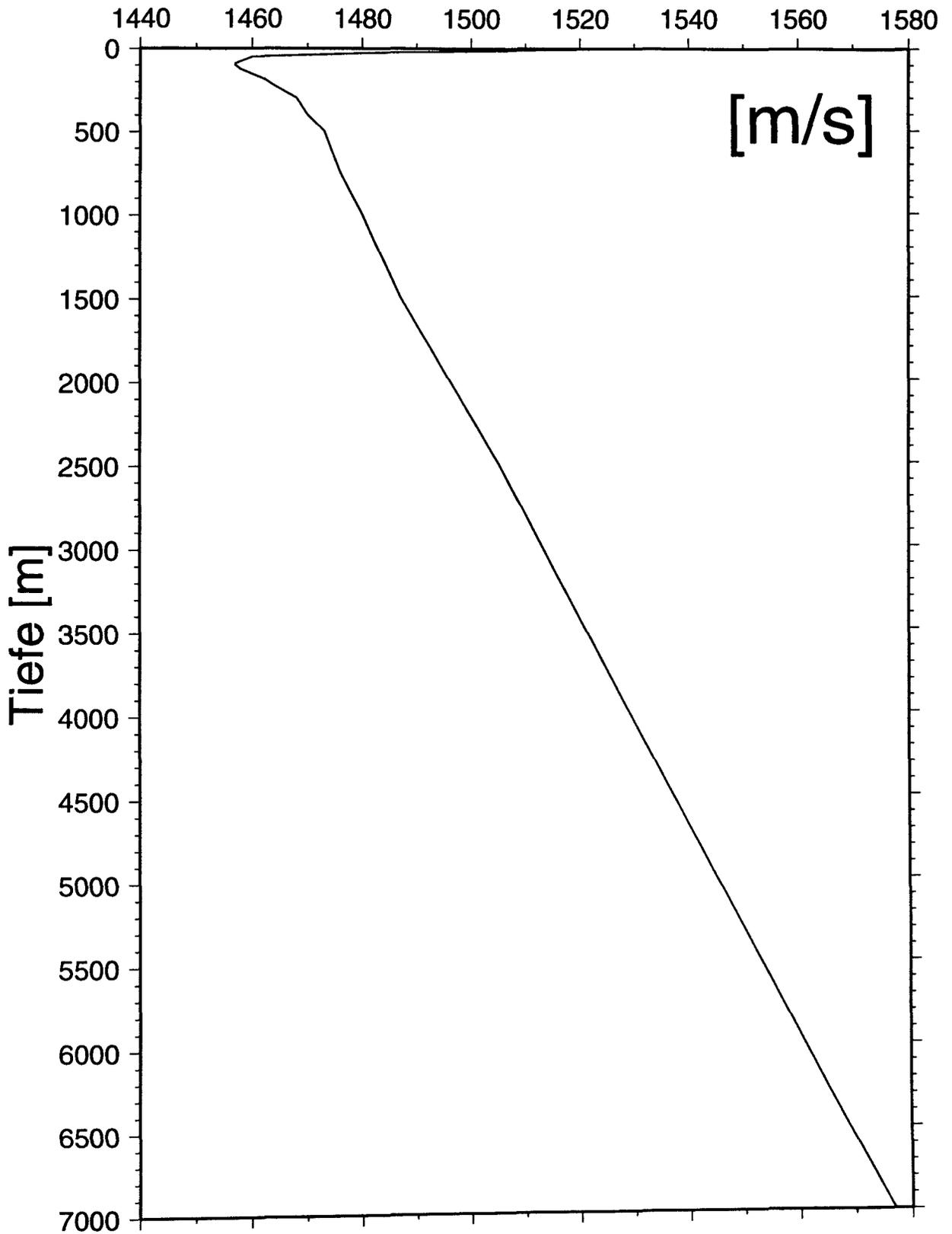
Tiefe von-bis [cm]	Tiefe Mitte [cm]	SiO2 [µM]	PO4 [µM]	NO3- [µM]	NH4 [µM]	NO2- [µM]	N/P	TIC [mM]
BW*	0		2.6	37.06	0	0	14.25	
0-1	0.5	386	5.16	51.55	6.16	2.6	11.68	2.36
1-2	1.5	441	5.85	48.62	6.18	10.1	11.10	2.41
2-3	2.5	479	5.57	45.63	4.83	10.3	10.92	2.45
3-4	3.5	480	5.43	40.83	4.79	10.3	10.31	2.44
4-5	4.5	515	5.55	40	4.21	9.2	9.62	2.47
5-6	5.5	514	5.67	39.97	4.42	7.3	9.11	2.45
6-7	6.5	515	5.72	38.65	5.46	4.2	8.44	2.38
7-8	7.5	528	6.30	36.6	4.74	4.2	7.23	2.45
8-9	8.5	545	7.24	34.07	5.54	4.8	6.14	2.37
9-10	9.5	533	7.37	33.63	6.24	4.1	5.96	2.3

## Anhang I.6: Geochemische Daten der Kastenlotstation.

SO97-111-KAL

Tiefe von-bis [cm]	Tiefe Mitte [cm]	SiO2 [µM]	PO4 [µM]	NO3- [µM]	NH4 [µM]	NO2- [µM]	N/P	TIC [mM]
0-2	0	555	6.9	24.8	4.99	0.58	4.40	2.05
12-15	13.5	555	7.56	25.7	2.58	0.8	3.85	2.27
23-25	24.0	594	11.5	11.6	0.78	0.2	1.09	2.7
36-38	37.0	584	9.78	10.2	7.45	0.7	1.88	2.71
48-50	49.0	521	6.77	11.3	10.4	0.5	3.29	2.86
60-62	61.0	446	9.38	0	18.3	0.41	1.99	2.94
80-82	81.0	519	14.8	0	35.2	0.69	2.42	3.3
100-102	101.0	529	13.4	0	46.5	0.2	3.48	3.34
130-132	131.0	551	15.1	0	70.6	0.16	4.68	3.41
160-162	161.0	548	20.5	0	85.4	0.2	4.18	3.68
190-192	191.0	551	19.5	0	107	0.4	5.50	4.37
220-222	221.0	461	16.0	0	122	0.1	7.65	4.26
250-252	251	508	18.4	0	146	0.1	7.93	4.51
280-282	281.0	484	21.4	0	171	0.19	8.00	4.98
310-312	311.0	458	20.3	0	193	0.27	9.52	5.17
340-342	341.0	479	20.7	0	210	0.25	10.2	5.29
370-372	371.0	481	21.1	0	232	0.11	11.0	5.7
400-402	401.0	482	22.9	0	252	0.19	11.0	5.92
430-432	431.0	430	20.6	0	281	0.19	13.7	5.94
460-462	461.0	517	30.3	0	306	0.50	10.1	6.27
CC oben		314	19.8	0	300	3.30	15.3	7.3

Anhang II.1: Geschwindigkeitsmodell (CTD-Messungen) für HYDROSWEEP.





Anhang II.3: Profilplan-Liste der Vermessung während SO97-2.

Wegpunkt	Latitude	Longitude	Dist (km)	Fwrđ Azim	Back Azim	
001	41:22.9900	145:06.0000	0			
002	41:40.8200	144:25.6200	0	65.145	300.663	120.216 01
003	41:38.9600	144:23.2000	0			
002	41:40.8200	144:24.7000	0	4.024	31.154	211.171 0102
003	41:38.9600	144:23.2000				
004	41:17.8400	145:05.0600	0	70.174	123.624	304.086 02
005	41:14.3300	145:00.4000	0			
004	41:17.8400	145:05.0600	0	9.196	44.023	225.074 0203
005	41:14.3300	145:00.4000	0			
006	41:37.0900	144:20.8000	0	69.414	307.586	127.149 03
007	41:35.3700	144:18.4000	0			
006	41:37.0900	144:20.8000	0	4.610	46.310	226.337 0304
007	41:35.3700	144:18.4000	0			
008	41:10.8200	144:55.6000	0	68.952	131.022	311.432 04
009	41:07.1600	144:50.8000	0			
008	41:10.8200	144:55.6000	0	9.539	44.723	224.776 0405
009	41:07.1600	144:50.8000	0			
010	41:33.4300	144:15.9000	0	68.811	315.156	134.771 05
011	41:31.6400	144:13.4000	0			
010	41:33.4300	144:15.9000	0	4.803	46.364	226.392 0506
011	41:31.6400	144:13.4000	0			
012	41:03.7300	144:45.8000	0	68.663	138.619	318.975 06
013	41:00.3000	144:41.3000	0			
012	41:03.7300	144:45.8000	0	8.949	44.787	224.836 0607
013	41:00.3000	144:41.3000	0			
014	41:31.4900	144:09.3000	0	73.009	322.431	142.079 07
014	41:31.4900	144:09.3000	0			
015	41:43.7300	144:25.2000	0	31.639	224.353	44.177 08
015	41:43.7300	144:25.2000	0			
016	41:29.5500	145:02.3000	0	57.839	116.783	297.194 09
017	41:36.7200	144:53.9000	0			
016	41:29.5500	145:02.3000	0	17.680	138.605	318.697 0910
017	41:36.7200	144:53.9000	0			
018	41:46.5700	144:24.2000	0	45.061	294.033	113.704 10
018	41:46.5700	144:24.2000	0			
019	41:32.3100	144:05.0000	0	37.513	45.171	225.384 11
019	41:32.3100	144:05.0000	0			
020	41:06.6400	144:27.5000	0	56.950	146.422	326.669 12
021	41:04.4800	144:22.8000	0			
020	41:06.6400	144:27.5000	0	7.701	58.697	238.748 1213
021	41:04.4800	144:22.8000	0			
022	41:30.7500	144:02.7000	0	56.141	330.123	149.902 13

Σ 835.9 KM

**Anhang II.4: Protokollübersicht der Magnetik-Kartierung SO97-2.**

**Sonne 97 Magnetik - Kartierungen**

**Protokoll:**

28.-29.7.94 HS-Profile 13, 14, 15

- 1 Papierrolle erneuert, 2 Schrauben an Finne ern.

- Magnetometer BB über Auslegerkran

- Time = UTC, Date = 209 (28.7.94), Sampl. 10, Tune 53000 nT

Testlauf mit intergrierten Akkus und Akkulader scheinbar o.k., Meßbeginn: Werte zwischen 8 und 15 tsd - Powersupply gewechselt - kaum Effekt.

29.7.94 03.50 UTC Problemstelle "Stecker" erkannt, dann Messungen mit 10 s, 53.5 tsd, Day 210, HS 14 zum Teil - HS 15 ganz.

so97hs13.dat -->mv-->so97hs15.dat

Files: so97HS11.DAT

so97 HS12.DAT

so97HS13.DAT

01.08.94 HS-Profile 26, 27

- Time UTC, Day 213, Sampl. 15s, Tune 53 tsd

- Messung: Werte total daneben, Spikes, um 45 tsd

Files: so97MAG2.DAT

07.08.94 HS-Profile 45 -48

- Tune 50 tsd, Sampl. 15s

- Messung: Werte um 45.8 tsd ??

Files: MAG7894.DAT

78\_2.DAT

7894\_2.DAT

08.08.94 HS-Profile 52 - 56

Nach durchgeführten Reparaturen hervorragende Werte

- Spannung extern

- Tune 53 tsd, Sampl. 15s

Files: 8894\_1.DAT

8894\_2.DAT

01.09.94 - 03.09.94 HS-Profile HOKKAIDO

Sehr gute Messungen trotz Beschädigung des Magnetometers währen des Profiles

- Tune 48.2 tsd, Sampl. 10s, Day 244 ff.

Files: HM\_01.dat --Hm\_06.dat

**Koordinaten und Zeiten der Profile laut anliegender Liste**

Anhang III.1: Protokoll leicht flüchtiger Halogenkohlenwasserstoffe.

Identification	Date	Time (UTC)	Lat. (°,dez.)	Long. (°,dez.)	Remarks	Sample (L)
SO 97-3/VHC2	07.09.94	14:55	33,957	137,775	Start	20
		19:42	33,536	136,671	Stop	
SO 97-3/VHC3	08.09.94	02:02	32,847	135,902	Start	21
		07:46	32,000	134,995	Stop	
SO 97-3/VHC4	08.09.94	07:54	31,977	134,961	Start	17
		13:43	31,181	133,834	Stop	
SO 97-3/VHC5	08.09.94	07:58	31,965	134,946	Start	23
		13:39	31,170	133,817	Stop	
SO 97-3/VHC6	08.09.94	13:51	31,170	133,817	Start	20
		19:25	30,441	132,783	Stop	
SO 97-3/VHC7	08.09.94	19:38	30,408	132,738	Start	11
		07:39	30,177	130,260	Stop	
SO 97-3/VHC8	08.09.94	19:43	30,397	132,722	Start	21
		01:10	30,004	131,643	Stop	
SO 97-3/VHC9	09.09.94	13:29	30,065	128,951	Start	14
		19:49	30,001	127,574	Stop	
SO 97-3/VHC10	09.09.94	19:59	30,000	127,533	Start	17
		01:45	30,000	126,115	Stop	
SO 97-3/VHC11	09.09.94	20:08	29,998	127,493	Start	22
		01:46	30,000	126,115	Stop	
SO 97-3/VHC12	10.09.94	01:59	30,000	126,052	Start	12
		07:46	28,847	125,996	Stop	
SO 97-3/VHC13	10.09.94	02:09	30,000	126,011	Start	6
		03:43	29,702	126,007	Stop	
SO 97-3/VHC14	10.09.94	03:48	29,686	126,607	Start	14
		05:59	29,234	126,002	Stop	
SO 97-3/VHC15	10.09.94	06:03	29,216	126,002	Start	10
		07:39	28,868	125,996	Stop	
SO 97-3/VHC16	10.09.94	07:54	28,813	125,998	Start	22
		13:31	27,628	126,001	Stop	
SO 97-3/VHC17	10.09.94	13:39	27,594	126,002	Start	19
		18:58	26,543	126,001	Stop	
SO 97-3/VHC18	11.09.94	01:13	25,391	126,510	Start	16
		07:24	24,357	127,372	Stop	
SO 97-3/VHC19	11.09.94	01:27	25,363	126,534	Start	19
		07:46	24,298	127,420	Stop	
SO 97-3/VHC20	11.09.94	07:33	24,327	127,396	Start	14
		13:40	23,207	127,667	Stop	
SO 97-3/VHC21	11.09.94	08:02	24,256	127,455	Start	8
		10:05	23,898	127,666	Stop	
SO 97-3/VHC22	11.09.94	10:09	23,915	127,666	Start	13
		13:33	23,222	127,666	Stop	
SO 97-3/VHC23	11.09.94	13:45	23,192	127,667	Start	19
		20:24	21,939	127,583	Stop	
SO 97-3/VHC24	11.09.94	20:37	21,939	127,583	Start	17
		01:53	21,270	126,660	Stop	
SO 97-3/VHC25	12.09.94	01:59	21,259	126,646	Start	12
		07:45	20,481	125,578	Stop	

Anhang III.1: Fortsetzung

Identification	Date	Time (UTC)	Lat. (°,dez.)	Long. (°,dez)	Remarks	Sample (L)
SO 97-3/VHC26	12.09.94	02:06	21,249	126,631	Start	3
		03:09	21,110	126,439	Stop	
SO 97-3/VHC27	12.09.94	03:53	21,010	126,302	Start	12
		07:37	20,505	125,610	Stop	
SO 97-3/VHC28	12.09.94	07:53	20,458	125,546	Start	13
		13:38	20,058	124,340	Stop	
SO 97-3/VHC29	12.09.94	07:59	20,447	125,531	Start	18
		13:24	20,058	124,398	Stop	
SO 97-3/VHC30	12.09.94	13:42	20,058	124,340	Start	13
		20:07	20,058	122,800	Stop	
SO 97-3/VHC31	13.09.94	09:03	19,160	120,200	Start	22
		15:29	17,925	119,742	Stop	
SO 97-3/VHC32	13.09.94	08:48	19,193	120,240	Start	6
		10:18	18,997	120,000	Stop	
SO 97-3/VHC33	14.09.94	03:07	15,487	119,164	Start	11
		09:00	14,245	118,872	Stop	
SO 97-3/VHC34	14.09.94	03:22	15,436	119,152	Start	4
		04:29	15,196	119,095	Stop	
SO 97-3/VHC35	14.09.94	04:37	15,180	119,091	Start	6
		06:29	14,780	118,997	Stop	
SO 97-3/VHC36	14.09.94	06:32	14,780	118,997	Start	8
		08:44	14,299	118,884	Stop	
SO 97-3/VHC37	14.09.94	08:50	14,281	118,880	Start	19
		14:12	13,130	118,611	Stop	
SO 97-3/VHC38	14.09.94	09:29	14,390	118,847	Start	34
		14:40	13,023	118,586	Stop	
SO 97-3/VHC39	14.09.94	14:40	13,023	118,586	Start	16
		17:30	12,422	118,446	Stop	
SO97-3/VHC40	14.09.94	14:28	13,059	118,594	Start	21
		20:39	11,729	118,285	Stop	
SO 97-3/VHC41	14.09.94	17:34	12,404	118,442	Start	7
		20:25	11,784	118,297	Stop	
SO 97-3/VHC42	14.09.94	20:30	11,766	118,293	Start	19
		02:09	10,551	118,004	Stop	
SO 97-3/VHC43	14.09.94	20:42	11,729	118,285	Start	16
		01:17	10,738	118,055	Stop	
SO 97-3/VHC44	15.09.94	02:19	10,514	118,002	Start	11
		08:11	09,578	117,305	Stop	
SO 97-3/VHC45	15.09.94	05:59	09,909	117,554	Start	7
		08:05	09,591	117,315	Stop	
SO 97-3/VHC46	15.09.94	08:45	09,484	117,234	Start	11
		13:41	08,673	116,624	Stop	
SO 97-3/VHC47	15.09.94	08:40	09,497	117,244	Start	17
		13:28	08,700	116,644	Stop	
SO 97-3/VHC48	15.09.94	13:36	08,687	116,634	Start	11
		16:31	08,217	116,281	Stop	
SO 97-3/VHC49	15.09.94	13:50	08,646	116,604	Start	5
		16:45	08,177	116,251	Stop	
SO 97-3/VHC50	15.09.94	16:50	08,163	116,241	Start	16
		22:36	07,256	115,561	Stop	
SO 97-3/VHC51	15.09.94	16:38	08,190	116,261	Start	15
		21:03	07,493	115,739	Stop	

## Anhang III.2: DMS-Proben

Identification	Date	Time (UTC)	Latitude (N)	Longitude (E)
SO 97-3/DMS 36	12.09.1994	02:00	21:15	126:38
SO 97-3/DMS 37		03:30	21:04	126:23
SO 97-3/DMS 38		05:00	20:51	126:06
SO 97-3/DMS 39		07:00	20:34	125:42
SO 97-3/DMS 40		09:00	20:16	125:17
SO 97-3/DMS 41		12:00	20:03	124:51
SO 97-3/DMS 42		13:30	20:03	124:21
SO 97-3/DMS 43		15:00	20:03	124:01
SO 97-3/DMS 44		18:00	20:03	123:18
SO 97-3/DMS 45	13.09.1994	09:00	19:10	120:12
SO 97-3/DMS 46		11:00	18:52	119:58
SO 97-3/DMS 47		13:00	18:27	119:52
SO 97-3/DMS 48		15:00	17:58	119:45
SO 97-3/DMS 50		03:00	15:31	119:10
SO 97-3/DMS 51		05:00	15:00	119:05
SO 97-3/DMS 52		07:00	14:39	118:58
SO 97-3/DMS 53		09:00	14:13	118:52
SO 97-3/DMS 54		11:00	13:49	118:46
SO 97-3/DMS 55		13:00	13:02	110:39
SO 97-3/DMS 56		15:00	12:56	118:34
SO 97-3/DMS 57		17:00	12:31	118:28
SO 97-3/DMS 58		19:00	12:05	118:22
SO 97-3/DMS 59		21:00	11:24	118:12
SO 97-3/DMS 60		23:00	11:11	118:09
SO 97-3/DMS 61	15.09.1994	01:00	10:44	118:03
SO 97-3/DMS 62		03:00	10:22	117:54
SO 97-3/DMS 63		05:30	09:58	117:36
SO 97-3/DMS 64		08:00	09:33	117:17
SO 97-3/DMS 65		08:30	09:33	117:17
SO 97-3/DMS 66		11:00	09:06	116:56
SO 97-3/DMS 67		13:00	08:45	116:41
SO 97-3/DMS 68		15:00	08:27	116:27

## Anhang III.2: Fortsetzung

Identification	Date	Time (UTC)	Latitude (N)	Longitude (E)
SO 97-3/DMS 01	08.09.1994	03:00	32:39	135:51
SO 97-3/DMS 02		06:00	32:14	135:19
SO 97-3/DMS 03		12:00	31:25	134:10
SO 97-3/DMS 04		21:00	30:15	132:30
SO 97-3/DMS 05	09.09.1994	13:00	30:05	129:04
SO 97-3/DMS 06		15:00	30:01	128:38
SO 97-3/DMS 07		17:00	29:59	128:13
SO 97-3/DMS 08		19:00	30:00	127:46
SO 97-3/DMS 09		21:00	29:59	127:18
SO 97-3/DMS 10		23:00	29:59	126:48
SO 97-3/DMS 11	10.09.1994	01:00	29:59	126:18
SO 97-3/DMS 12		02:00	29:59	126:03
SO 97-3/DMS 13		03:30	29:45	126:00
SO 97-3/DMS 14		05:00	29:27	125:59
SO 97-3/DMS 15		07:00	28:58	125:59
SO 97-3/DMS 16		09:00	28:26	126:00
SO 97-3/DMS 17		11:00	28:07	126:00
SO 97-3/DMS 18		13:00	27:41	125:59
SO 97-3/DMS 19		15:00	27:17	126:00
SO 97-3/DMS 20		17:00	26:55	126:00
SO 97-3/DMS 21		19:00	26:18	126:00
SO 97-3/DMS 22		21:00	26:09	125:59
SO 97-3/DMS 23		23:30	25:45	126:12
SO 97-3/DMS 24	11.09.1994	01:00	25:25	126:29
SO 97-3/DMS 25		03:00	25:03	126:47
SO 97-3/DMS 26		05:00	24:45	126:02
SO 97-3/DMS 27		07:00	24:25	127:19
SO 97-3/DMS 28		09:00	24:02	127:38
SO 97-3/DMS 29		11:00	23:41	127:39
SO 97-3/DMS 30		13:00	23:19	127:40
SO 97-3/DMS 31		15:00	22:56	127:40
SO 97-3/DMS 32		17:00	22:32	127:39
SO 97-3/DMS 33		19:30	21:55	127:33
SO 97-3/DMS 34		21:00	21:52	127:29
SO 97-3/DMS 35		23:00	21:38	127:10

## Anhang III.3: Probenprotokoll organische Substanzen.

Sample ID	Date	Time (UTC)	Lat. (0°N)	Long. (0°N)	Action	Flow rate (l/min.)
SO 97-3/FIL-01	07.09.94	14:00	34,042	137,994	filter in	
	07.09.94	20:00	33,514	136,611	filter out	1,95
SO 97-3/FIL-02	08.09.94	04:45	32,404	135,578	filter in	
	08.09.94	10:50	31,573	134,387	filter out	1,65
SO 97-3/FIL-03	08.09.94	11:00	31,550	134,356	filter in	
	08.09.94	16:45	30,785	133,271	filter out	1,98
SO 97-3/FIL-04	08.09.94	16:55	30,764	133,239	filter in	
	08.09.94	23:30	29,997	132,015	filter out	2,35
SO 97-3/FIL-05	09.09.94	16:05	23,000	128,409	filter in	
	09.09.94	22:10	29,998	127,006	filter out	2,02
SO 97-3/FIL-06	09.09.94	22:20	29,992	126,967	filter in	
	10.09.94	04:30	29,549	126,001	filter out	1,98
SO 97-3/FIL-07	10.09.94	04:35	29,532	126,000	filter in	
	10.09.94	09:55	28,373	126,000	filter out	2,03
SO 97-3/FIL-08	10.09.94	10:00	28,355	125,999	filter in	
	10.09.94	16:00	27,132	126,001	filter out	1,92
SO 97-3/FIL-09	10.09.94	16:05	27,116	126,000	filter in	
	10.09.94	22:15	25,881	126,099	filter out	2,01
SO 97-3/FIL-10	10.09.94	22:20	25,867	126,111	filter in	
	11.09.94	04:30	24,853	126,959	filter out	2,11
SO 97-3/FIL-11	11.09.94	04:40	24,824	126,983	filter in	
	11.09.94	10:15	23,864	127,666	filter out	2,03
SO 97-3/FIL-12	11.09.94	10:25	23,830	127,666	filter in	
	11.09.94	18:45	22,221	127,667	filter out	2,12
SO 97-3/FIL-13	11.09.94	18:55	22,190	127,667	filter in	
	12.09.94	02:00	21,259	126,646	filter out	2,09
SO 97-3/FIL-14	12.09.94	02:05	21,249	126,630	filter in	
	12.09.94	10:55	20,059	124,989	filter out	1,99
SO 97-3/FIL-15	12.09.94	11:00	20,058	124,970	filter in	
	12.09.94	20:00	20,059	122,821	filter out	1,93
SO 97-3/FIL-16	13.09.94	07:45	19,327	120,408	filter in	
	13.09.94	16:00	17,818	119,717	filter out	1,86
SO 97-3/FIL-17	14.09.94	08:50	14,281	118,880	filter in	
	14.09.94	16:45	12,582	118,483	filter out	2,01
SO 97-3/FIL-18	14.09.94	16:50	12,565	118,479	filter in	
	15.09.94	00:45	10,841	118,079	filter out	1,83
SO 97-3/FIL-19	15.09.94	00:50	10,824	118,075	filter in	
	15.09.94	09:30	9,362	117,142	filter out	1,91
SO 97-3/FIL-20	15.09.94	09:35	9,348	117,132	filter in	
	15.09.94	17:00	8,137	116,222	filter out	1,98

Anhang III.4: DOM-Proben

Identification			Date	Time	Lat.	Long.
SO 97-3	1	DOM	08.09.1994	02:32	32,45	135,52
SO 97-3	2	DOM		06:40	32,06	135,08
SO 97-3	3	DOM		10:30	31,35	134,25
SO 97-3	4	DOM		14:30	31,04	133,41
SO 97-3	5	DOM		18:30	30,46	133,05
SO 97-3	6	DOM		20:30	30,16	132,33
SO 97-3	7	DOM		23:00	29,59	132,02
SO 97-3	8	DOM	09.09.1994	00:30	30	131,37
SO 97-3	9	DOM		13:30	30	128,39
SO 97-3	10	DOM		17:30	30	128,06
SO 97-3	11	DOM		22:01	29,59	127,02
SO 97-3	12	DOM		23:30	29,59	126,4
SO 97-3	13	DOM	10.09.1994	01:00	29,59	126,15
SO 97-3	14	DOM		03:15	29,49	126
SO 97-3	15	DOM		07:00	28,56	125,59
SO 97-3	16	DOM		09:00	28,3	126
SO 97-3	17	DOM		13:00	27,43	126
SO 97-3	18	DOM		17:00	26,51	125,59
SO 97-3	19	DOM	11.09.1994	00:00	25,31	126,23
SO 97-3	20	DOM		03:00	25,07	126,44
SO 97-3	21	DOM		05:00	24,43	127,04
SO 97-3	22	DOM		07:00	24,13	127,28
SO 97-3	23	DOM		11:00	23,37	127,39
SO 97-3	24	DOM		13:00	23,17	127,4
SO 97-3	25	DOM		17:15	22,27	127,39
SO 97-3	26	DOM		22:00	21,41	127,13
SO 97-3	27	DOM	12.09.1994	02:30	21,11	126,33
SO 97-3	28	DOM		04:00	21,11	126,17
SO 97-3	29	DOM		07:00	20,34	125,42
SO 97-3	30	DOM		10:00	20,1	125,09
SO 97-3	31	DOM		13:00	20,03	124,27
SO 97-3	32	DOM		19:00	20,03	122,54
SO 97-3	33	DOM	13.09.1994	08:00	19,15	120,19
SO 97-3	34	DOM		12:10	18,38	119,54
SO 97-3	35	DOM		14:05	18,14	119,49
SO 97-3	36	DOM		18:00	17,23	119,36
SO 97-3	37	DOM	14.09.1994	04:15	15,12	119,05
SO 97-3	38	DOM		07:45	14,32	118,56
SO 97-3	39	DOM		12:30	13,27	118,41
SO 97-3	40	DOM		14:00	13,56	118,47
SO 97-3	41	DOM		19:00	11,59	118,2
SO 97-3	42	DOM		23:00	13,56	118,47
SO 97-3	43	DOM	15.09.1994	02:30	10,27	117,57
SO 97-3	44	DOM		06:00	9,51	117,31
SO 97-3	45	DOM		12:30	8,5	116,45
SO 97-3	46	DOM		14:00	8,36	116,34
SO 97-3	47	DOM		18:00	7,58	116,06
SO 97-3	48	DOM		23:00	7,07	115,27

Anhang III.5: Beprobung Nährstoffe.

Sample	Date	Time (UTC)	Lat. (0°N)	Long. (0°W)	SiO <sub>4</sub> (μM)	PO <sub>4</sub> (μM)
SO 97-3/NUT-01	07.09.94	14:00	34,042	137,994	1,46	n. d.
SO 97-3/NUT-02	07.09.94	16:00	33,862	137,525	0,90	n. d.
SO 97-3/NUT-03	07.09.94	18:05	33,664	137,030	1,08	n. d.
SO 97-3/NUT-04	07.09.94	20:00	33,514	136,611	1,46	n. d.
SO 97-3/NUT-05	08.09.94	02:05	32,848	135,902	0,96	n. d.
SO 97-3/NUT-06	08.09.94	02:30	32,764	135,882	0,96	n. d.
SO 97-3/NUT-07	08.09.94	03:20	32,596	135,836	0,95	n. d.
SO 97-3/NUT-08	08.09.94	04:30	32,437	135,625	0,91	n. d.
SO 97-3/NUT-09	08.09.94	06:00	32,236	135,337	0,86	n. d.
SO 97-3/NUT-10	08.09.94	10:00	31,685	134,551	0,80	0,05
SO 97-3/NUT-11	08.09.94	12:55	31,292	133,988	1,22	0,06
SO 97-3/NUT-12	08.09.94	15:00	31,016	133,598	1,22	0,09
SO 97-3/NUT-13	08.09.94	16:35	30,807	133,302	1,21	0,07
SO 97-3/NUT-14	08.09.94	19:10	30,472	132,829	1,16	0,06
SO 97-3/NUT-15	08.09.94	20:00	30,365	132,677	1,20	0,17
SO 97-3/NUT-16	08.09.94	21:20	30,195	132,441	1,18	0,07
SO 97-3/NUT-17	09.09.94	00:35	29,999	131,775	1,23	0,07
SO 97-3/NUT-18	09.09.94	13:55	30,050	128,859	1,30	0,12
SO 97-3/NUT-19	09.09.94	15:20	30,003	128,561	1,24	0,15
SO 97-3/NUT-20	09.09.94	19:40	30,001	127,613	1,64	0,09
SO 97-3/NUT-21	09.09.94	21:20	30,000	127,211	2,68	0,09
SO 97-3/NUT-22	09.09.94	23:40	30,000	126,633	2,08	0,06
SO 97-3/NUT-23	10.09.94	01:40	30,000	126,136	2,49	0,05
SO 97-3/NUT-24	10.09.94	04:00	29,651	126,006	2,78	0,04
SO 97-3/NUT-25	10.09.94	06:25	29,143	126,002	1,81	0,05
SO 97-3/NUT-26	10.09.94	10:05	28,336	125,999	2,23	0,05
SO 97-3/NUT-27	10.09.94	12:00	27,927	126,000	1,21	0,05
SO 97-3/NUT-28	10.09.94	14:15	27,476	126,001	1,30	0,05
SO 97-3/NUT-29	10.09.94	16:00	27,132	126,001	1,10	0,09
SO 97-3/NUT-30	10.09.94	18:00	26,739	125,998	1,18	0,09
SO 97-3/NUT-31	10.09.94	21:20	26,050	126,000	1,37	0,10
SO 97-3/NUT-32	11.09.94	00:05	25,576	126,355	1,18	0,06
SO 97-3/NUT-33	11.09.94	02:30	25,190	126,678	1,14	0,05
SO 97-3/NUT-34	11.09.94	04:00	24,938	126,888	1,18	0,10
SO 97-3/NUT-35	11.09.94	06:00	24,599	127,170	1,00	0,07
SO 97-3/NUT-36	11.09.94	07:55	24,270	127,443	0,99	0,07
SO 97-3/NUT-37	11.09.94	10:00	23,915	127,666	1,08	0,05
SO 97-3/NUT-38	11.09.94	12:00	23,516	127,666	1,01	0,05
SO 97-3/NUT-39	11.09.94	13:50	23,177	127,666	1,08	0,04
SO 97-3/NUT-40	11.09.94	16:05	22,739	127,667	1,06	0,05
SO 97-3/NUT-41	11.09.94	17:20	22,494	127,667	1,04	0,04
SO 97-3/NUT-42	11.09.94	18:05	22,349	127,667	1,07	0,05
SO 97-3/NUT-43	11.09.94	19:30	22,077	127,667	1,19	0,03
SO 97-3/NUT-44	11.09.94	20:20	21,949	127,597	1,06	0,04
SO 97-3/NUT-45	11.09.94	22:00	21,748	127,318	1,08	0,04
SO 97-3/NUT-46	11.09.94	23:00	21,630	127,156	1,12	0,03

## Anhang III.5: Fortsetzung

Sample	Date	Time (UTC)	Lat. (dec. Deg.)	Long. (dec. Deg.)	SiO <sub>4</sub> (μM)	PO <sub>4</sub> (μM)
SO 97-3/NUT-47	12.09.94	00:45	21,419	126,864	1,11	0,05
SO 97-3/NUT-48	12.09.94	03:15	21,098	126,423	1,39	0,03
SO 97-3/NUT-49	12.09.94	05:00	20,862	126,099	1,58	0,07
SO 97-3/NUT-50	12.09.94	07:00	20,585	125,720	1,43	0,07
SO 97-3/NUT-51	12.09.94	09:20	20,268	125,286	1,31	0,07
SO 97-3/NUT-52	12.09.94	11:10	20,058	124,930	1,45	0,07
SO 97-3/NUT-53	12.09.94	13:00	20,058	124,494	1,31	0,08
SO 97-3/NUT-54	12.09.94	15:00	20,058	124,032	1,26	0,03
SO 97-3/NUT-55	12.09.94	17:00	20,058	123,560	1,29	0,03
SO 97-3/NUT-56	12.09.94	18:30	20,058	123,191	1,29	0,01
SO 97-3/NUT-57	13.09.94	07:00	19,420	120,524	5,74	0,02
SO 97-3/NUT-58	13.09.94	09:00	19,171	120,213	3,88	0,01
SO 97-3/NUT-59	13.09.94	11:00	18,862	119,967	2,37	0,01
SO 97-3/NUT-60	13.09.94	16:25	17,726	119,695	3,39	0,01
SO 97-3/NUT-61	13.09.94	19:05	17,151	119,558	3,78	0,04
SO 97-3/NUT-62	14.09.94	06:15	14,833	119,010	2,90	0,01
SO 97-3/NUT-63	14.09.94	10:00	14,030	118,821	2,01	0,01
SO 97-3/NUT-64	14.09.94	12:00	13,596	118,720	2,15	0,01
SO 97-3/NUT-65	14.09.94	14:00	13,166	118,619	1,94	0,01
SO 97-3/NUT-66	14.09.94	16:00	12,741	118,520	1,87	0,01
SO 97-3/NUT-67	14.09.94	18:15	12,258	118,408	1,90	n. d.
SO 97-3/NUT-68	14.09.94	21:45	11,491	118,229	1,77	n. d.
SO 97-3/NUT-69	15.09.94	00:00	10,997	118,115	2,15	n. d.
SO 97-3/NUT-70	15.09.94	02:25	10,497	118,000	2,20	n. d.
SO 97-3/NUT-71	15.09.94	04:15	10,194	117,769	2,15	n. d.
SO 97-3/NUT-72	15.09.94	06:45	9,787	117,463	2,10	n. d.
SO 97-3/NUT-73	15.09.94	08:00	9,598	117,319	2,18	n. d.
SO 97-3/NUT-74	15.09.94	10:15	9,239	117,049	2,23	n. d.
SO 97-3/NUT-75	15.09.94	13:00	8,782	116,706	2,08	n. d.
SO 97-3/NUT-76	15.09.94	15:00	8,458	116,462	2,15	n. d.
SO 97-3/NUT-77	15.09.94	17:00	8,137	116,222	2,44	n. d.
SO 97-3/NUT-78	15.09.94	18:40	7,877	116,026	2,66	n. d.
SO 97-3/NUT-79	15.09.94	21:00	7,507	115,749	2,96	n. d.
SO 97-3/NUT-80	15.09.94	22:30	7,270	115,571	2,99	n. d.
SO 97-3/NUT-81	15.09.94	23:55	7,045	115,403	2,94	n. d.