

Straße bei 2 cm. Außerdem wurden Proben von der Sedimentoberfläche für die Bestimmung von excess Th-234, Po-210 und Pb-210 genommen.

2.9 Marin-geophysikalische Untersuchungen (R. Meissner, J. Bialas, R. Bittner, J.-P. Henriot, R. Herber, E. van Heuverswyn, W. Jokat, N. Kaul, T. Parker, J. Le Pavec, Y. Peneaud, Th. Wever, J. Wohlenberg)

Entsprechend dem DFG-Antrag Me 335/81 war es das Ziel der Untersuchungen, Struktur und Evolution der Antarktischen Halbinsel durch geophysikalische Methoden zu erforschen. Naturgemäß sollte der Schwerpunkt auf seismische Methoden, speziell auf Reflexionsseismik gelegt werden, doch sollten in jedem Fall Gravimetrie und nach Möglichkeit auch das Magnetometer, Seabeam und 3,5 kHz-Lot eingesetzt werden. Mit ihrer mehr als 600 Millionen Jahre alten Subduktion, ihrer "Forearc" und "Backarc" Bildung, ihrer Rücken-Verschluckung und einer rezenten Dehnungstektonik ist die Antarktische Halbinsel ein strukturell besonders ausgezeichneter Teil des antarktischen Kontinents.

2.9.1 Der zeitliche Ablauf der Messungen

Nach dem Auslaufen der "Polarstern" von Rio Grande wurden in den folgenden 16 Tagen eine Reihe von Vorbereitungs- und Testmessungen durchgeführt. Das Gravimeter wurde aktiviert und bereits ab 20.10. beim Auslaufen von Rio Grande eingesetzt. Es blieb, von kurzen Unterbrechungen abgesehen, während der ganzen Fahrt im Einsatz (Abb. 5). Im übrigen wurden die seismischen Registrierstationen aus Bremerhaven und Edinburgh mit Geophonen und Kabeltrommeln aus Kiel und München zusammengestellt und getestet, Batterien und Akkus aufgeladen, Ozean-Boden Seismometer (OBS) geprüft und eine Reihe von Versuchen bezüglich des Empfangs der OMEGA-Zeitzeichen durchgeführt. Nach Überprüfung der Airguns wurde die Nacht vom 30. auf 31.10. zu ersten Testmessungen auf See genutzt: Belgischer Ministreamer (100 m), Hamburger OBS sowie 2 Airguns aus Brest wurden längs eines 10 sm langen Profils erprobt. Auch die nächste Nacht wurde zu Testmessungen, diesmal längs eines Vierecks von etwa 40 sm Gesamtlänge, genutzt. Ein Schwerpunkt dieser Messungen war die Reduzierung von Störgeräusch (Noise), der von der "Polarstern" erzeugt wird. Die Ergebnisse dieser Messungen, die auch in der Nacht vom 1. auf 2.11. fortgeführt wurden, zeigten, daß bei 5 kn Fahrt bei nur einer Maschine und geeigneter Schraubenstellung eine deutliche Reduzierung des Störpegels erreicht werden kann. Die Untersuchungen sind im DFG-Arbeitsbericht im Detail enthalten und scheinen für zukünftige Messungen eine wichtige Voraussetzung darzustellen. Um Anschlußmessungen für die Schweremessungen auf "Polarstern" zu erhalten, flogen 2 Personen per Helikopter am 2.11. nach Hope Bay/Esperanza und führten in den nächsten vier Tagen mit einem La Coste-Romberg Gravimeter im Bereich eines britischen Gravimeterpunktes 1. Ordnung Vergleichsmessungen durch (der Punkt selbst war leider noch tief verschneit). Von Hope Bay aus wurden einige Erkundungsflüge zur Auswahl von geeigneten Positionen für die Refraktionsstationen durchgeführt.

Das eigentliche seismische Meßprogramm begann längs Profil 1 am 6.11. in Hope Bay mit dem Aussetzen und dem Aufbau zweier Refraktionsstationen. Eine unbemannte britische GEOSTORE Station mit 9 Geophonen wurde in den Bergen südlich der Trinity Hut aufgestellt und eine bemannte PCM-Station an einer Position nördlich vom Ausgang von Hope Bay. Während der Fahrt nach NNE wurde eine weitere Station auf Cape Melville (King George Island) ausgesetzt, während das Ausfliegen einer unbemannten Station an die Nordost-Spitze wegen schlechten Wetters verschoben werden mußte und erst am 8.11. stattfinden konnte. Vier OBS wurden längs des Profils in eisfreien Gebieten ausgesetzt, von denen zwei später geborgen werden konnten, davon eine kurz vor Überdriften eines größeren Eisfeldes.

Die Refraktionsmessungen zusammen mit Seabeam- und 3,5 kHz-Lot-Aufzeichnungen begannen am 7.11. um 22.30 Uhr am NNW-Ende des Profils mit dem Einsatz der großen 16 Liter Airguns aus Brest und des belgischen Ministreamers. Wegen Eisbildung mußten die Kanonen in der Nacht gegen 9 Liter-Kanonen ausgetauscht werden, die jedoch ebenfalls Ausfallerscheinungen aufwiesen, die erst im weiteren Verlauf der Messungen behoben werden konnten. Siehe hierzu ebenfalls DFG-Arbeitsbericht, der Vorschläge für zukünftige Einsätze enthält. Gegen 9 Uhr am 9.11. erreichten wir wieder Hope Bay. Hier wurden Magnetbänder der Geostore Station gewechselt und die Besatzung der PCM Station an Bord geholt. Die 9 Liter-Airguns wurden überprüft und mit sog. Wave Shape Kits für die Reflexionsseismik-Messungen vorbereitet. Die Registrierapparatur wurde auf generell 15 s Zweiweglaufzeit eingestellt, um auch Strukturen aus Unterkruste und oberstem Mantel beobachten zu können.

Die Reflexionsmessungen begannen am 9.11. gegen 15 Uhr und wurden am 11.11. gegen 5 Uhr am Nordende des Profils abgeschlossen. Trotz schwerer See und Windstärke 7 bis 8 hatten alle Geräte einwandfrei gearbeitet.

Das Einholen von Mannschaft und Gerät der Landstationen von King George Island erwies sich bei Schneesturm und schlechter Sicht als sehr schwierig und zeitraubend. Erst am 14.11. - nach Durchführung einer Reihe anderer Untersuchungen - konnten die Stationen in Hope Bay abgebaut und eingeholt werden. Erste Auswertungen begannen. Trocknen und Überprüfen der teilweise aus Tiefschnee geborgenen Seismometer erforderten viel Zeit und Arbeit. Nicht alle Stationen hatten den Hätetest gut überstanden. Als Konsequenz der Erfahrungen von Profil 1 wurde das Schwergewicht der folgenden Messungen auf Reflexionsmessungen gelegt.

Überraschend bot sich in der Nacht vom 16./17.11. die Möglichkeit, ein weiteres reflexionsseismisches Profil durch die Bransfield Straße zu legen, und zwar am Westende. Der Einsatz von Airguns und übrigen Gerät entsprach demjenigen auf Profil 1. Die Untergrundstruktur längs dieses Profils (Profil 2) ist von der des Profils 1 äußerst verschieden (siehe unter 2.9.2).

Dichtes Packeis und schlechtes Flugwetter verhinderten den Einsatz von Refraktionsstationen im Mittelabschnitt im Gebiet von Anvers Island. Da auch das Geologie-Programm unter den gegebenen Wetterbedingungen leiden mußte, wurde am 23.11. mit einem umfangreichen reflexionsseismischen

Programm begonnen, das die Untersuchungen von früheren Subduktionszonen und von drei Fracture Zonen zum Ziel hatte, davon die als Transform-Verwerfung rezent noch aktive (?) Hero Fracture Zone, die zweimal überquert wurde (siehe auch Profilnetz mit Linien 3 bis 7 in Abb. 5). Bereits die Analogabspielungen einer Hydrophongruppe (von 24) läßt - ähnlich, aber noch stärker als längs Profil 1 - markante und ganz unerwartete Strukturen der jungen und älteren Plattenränder erkennen (s. auch unter 2.9.2). Seabeam und 3,5 kHz-Lot (sowie Gravimetrie) wurden wiederum zur Unterstützung der seismischen Messungen eingesetzt. Der Versuch, auch das Magnetometer in die Messungen einzuschließen, mußte in schwerer See nach Kollision mit dem Streamer leider aufgegeben werden. Während des 85-stündigen kontinuierlichen Einsatzes bei Windstärken zwischen 6 und 8 haben alle Geräte und Instrumente einwandfrei gearbeitet. Insgesamt wurden im Mittelabschnitt 450 sm reflexionsseismisch beobachtet.

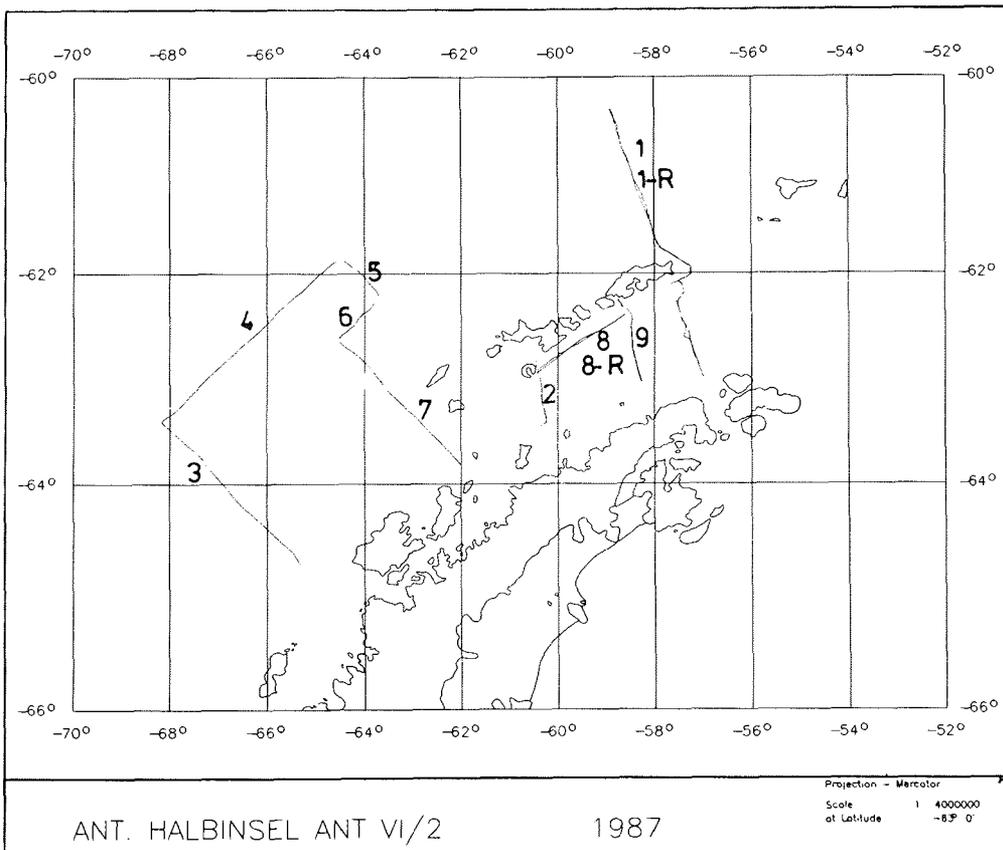


Abb. 5 : Profile der seismischen Untersuchungen.

Fig. 5 : Seismic line location map.

Für die Zeit vom 7. bis 10.12. wurde ein geologisch-geophysikalisches Programm im Gebiet nordwestlich Bransfield Straße vorgesehen. Einmal sollte ein weiterer Versuch unternommen werden, Refraktionsmessungen mit OBS und Inselstationen durchzuführen; zum anderen sollte ein weiteres Querprofil durch die Mitte der Bransfield Straße gelegt werden, um den Übergang von ozeanisierendem Rift im NE (längs Profil 1) und den kontinentalen Dehnungsstrukturen im SW (längs Profil 2) zu untersuchen. Die Profile sollten durch ein im Streichen laufendes Profil verbunden werden (Abb. 5).

Zwei PCM-Stationen und ein Land-OBS mit flächenhafter Überdeckung wurden am 7.12. nach Deception Island geflogen. Außerdem wurde ein OBS per Hubschrauber etwa 40 sm in Profilrichtung im NE ausgesetzt. Die Refraktionsmessungen mit sechs 16 l Airguns begannen am Morgen des 8.12. um 4.30 Uhr und endeten um 11.45 Uhr bei 42 sm Distanz. Nach einer zeitraubenden aber erfolgreichen Suche des OBS und seiner Bergung per Hubschrauber fand die Rückfahrt nach Deception Island statt. Hier wurden die Beobachter und Stationen abgeholt und um 18.45 Uhr mit Reflexionsmessungen begonnen, die am Morgen des 9.12. gegen 4.15 Uhr vor Potter Cove /King George Island) endeten. Am Abend des 9.12. gegen 19.00 Uhr begann das dritte Querprofil durch die Bransfield Straße, das am Morgen des 10.12. beendet wurde. Damit waren die seismischen Messungen abgeschlossen. Im ganzen waren etwa 200 km Refraktion und 1390 Reflexion beobachtet worden.

## 2.9.2 Vorläufige Ergebnisse

Neue Erkenntnisse wurden sowohl auf technisch-logistischem als auch tektonisch-geophysikalischem Gebiet erarbeitet. Im ersten Fall werden die Grenzen der Refraktionsseismik mit Airguns im Untersuchungsgebiet deutlicher erkannt. Für Evolution und Tektonik des Meßgebietes hat die Reflexionsseismik, obwohl bis jetzt nur als Analogschrieb einer Hydrophoneinheit vorliegend, völlig neue und teilweise spektakuläre Daten geliefert.

### Refraktionsmessungen

Während der Fahrt wurde bereits eine gewisse Anzahl von Processingschritten durchgeführt. In direkten Seismogrammontagen längs Profil 1 wurden Einsätze nur bis 30 km beobachtet, teilweise durch tektonische Störungen, größtenteils jedoch durch Noise bedingt. Die Refraktionsmessungen längs Profil 8 konnten wegen des nahen Fahrtendes nicht mehr bearbeitet werden. Durch erstes Stapeln der Daten längs Profil 1 konnte der Entfernungsbereich klarer Einsätze teilweise bis zu 50 km erweitert werden. Scheingeschwindigkeiten von 5 bis 7 km/s wurden beobachtet. Hierbei sind die Einsätze der OBS bedeutend klarer als diejenigen der Inselstationen, bei denen Noise sowohl in Wellengruppen, stoßweise, als auch als allgemeines Rauschen auftritt. Als Quellen kommen neben Brandung an der Steilküste die Bildung von Gletscherspalten und das Kalben von Gletschern in Frage. Ebenfalls eine Rolle spielen mag das Aufgründlaufen von Eisbergen. Der hohe Noise-Pegel (mehr als 4 mal höher für die OBS im Vergleich zur Nordsee und über 10 mal höher für die Land- und Inselstationen gegenüber europäischen Verhältnissen) macht die Refraktionsseismik recht problematisch. Obwohl durch Stapelungen und digitale Filter im Labor zweifellos noch eine Verbesserung des Signal/Noise-Verhältnisses

erreicht werden wird, so muß schon jetzt die Refraktion im Gebiet der Antarktischen Halbinsel als störanfällig und recht aufwendig angesehen werden, letzteres vor allem in bezug auf die Reflexion, bei der ein Profil nur einmal (nicht dreimal) abgefahren werden muß. Zum jetzigen Zeitpunkt erscheinen Refraktionsmessungen ohne Sprengstoff keine aussagekräftigen Daten liefern zu können. Man müßte wohl für spätere Messungen - wie britische und polnische Arbeitsgruppen - Sprengstoff verwenden und die Messungen möglichst zu einer späteren Jahreszeit durchführen.

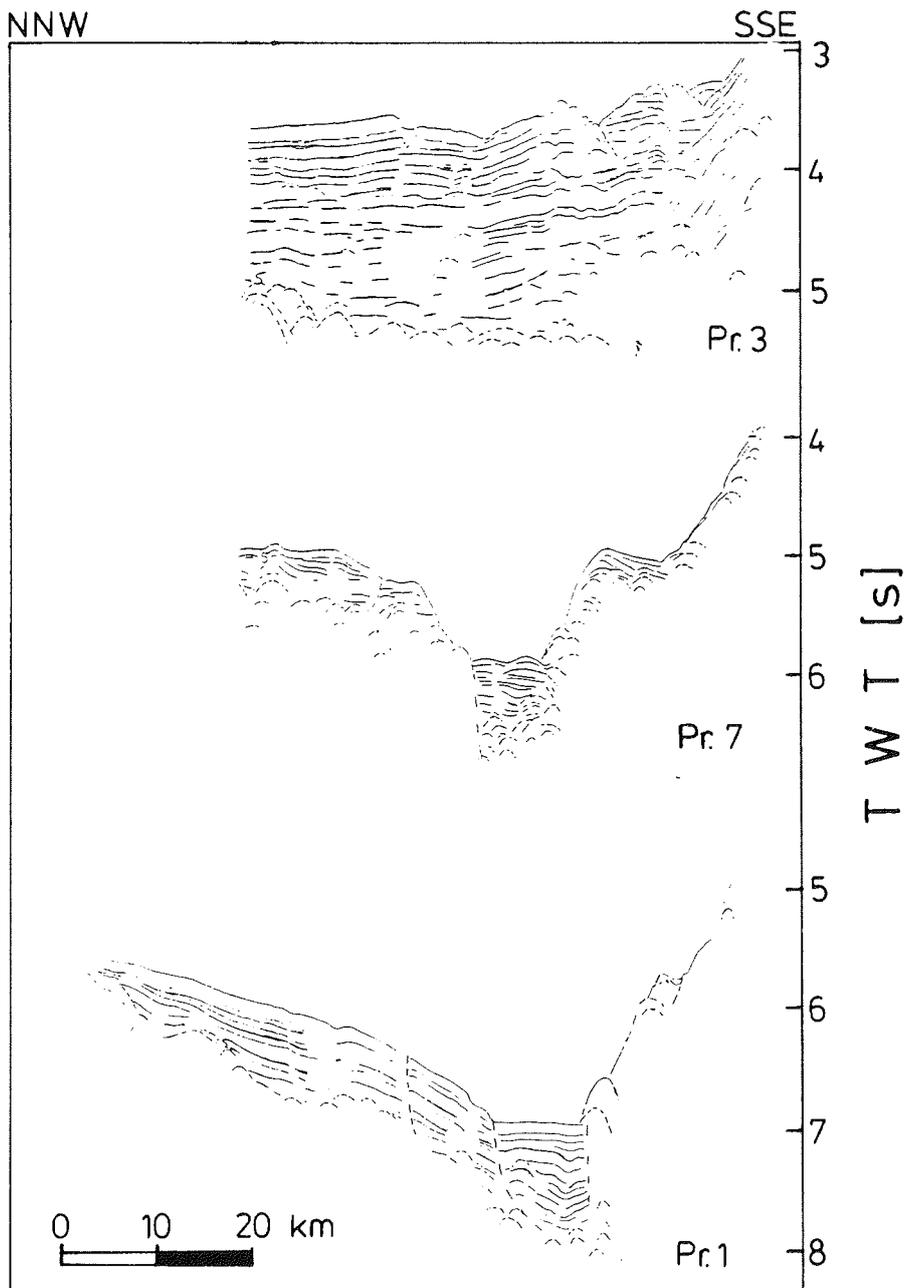
#### Reflexionsmessungen

Die Reflexionsmessungen wurden mit vier 9 Liter Airguns aus Brest, mit einem AWI-Streamer von 600 m Länge mit 24 Hydrophoneinheiten sowie mit einer belgischen Geometrics Registriereinheit mit Zusatzgeräten aus Hamburg und Kiel digital auf Band aufgezeichnet. Darüber hinaus wurde ein Kanal analog auf zwei Schreibern mit unterschiedlichen Parametern registriert. Die Triggerung der Luftkanonen erfolgte entfernungsunabhängig. Für den gewählten Schußabstand von 50 m und einer Schiffsgeschwindigkeit von 5 kn ergab dies eine zeitliche Schußfolge von ca. 20 s. Alle im folgenden diskutierten Strukturen wurden den (vorläufigen) Analogregistrierungen entnommen.

#### Tektonische Aussagen aus den Reflexionsmessungen

Der South Shetland Trench und seine südwestliche Verlängerung wurden durch die Profile 1, 3 und 7 reflexionsseismisch erfaßt. Seine Struktur ist entsprechend dem unterschiedlichen Alter der verschluckten Ozeanplatte und entsprechend dem unterschiedlichen Zeitpunkt der Beendigung der Subduktion verschieden (siehe Abb. 6). Während auf Profil 3 im SW mächtige Sedimente auf 20 Millionen Jahre altem Ozeanboden liegen (magnetische Anomalie 6) und der Aluk Rücken schon ebenso lange verschluckt wurde, ist längs Profil 7 der Rücken gerade erst subduziert, d.h. vor etwa 5,5 Millionen Jahren (Anomalie 3a), wonach die Subduktion offenbar sehr langsam geworden bzw. zum Stillstand gekommen ist, denn ruhige subhorizontale Ablagerungen bestimmen den tiefsten Punkt des Grabens. Ähnlich ist die Situation längs Profil 1, wo ebenfalls kaum noch Subduktion erfolgt, aber bis vor kurzem noch 20 Mio Jahre alte ozeanische Platte (Anomalie 6) verschluckt wurde und seewärts Andeutungen einer ganz jungen Subduktion beobachtet werden. Während südlich King George Island in der Bransfield Straße richtiges Back-Arc oder Inter-Arc Spreading eingesetzt hat, sind auf Profil 7 hinter dem "Accretional Wedge" Fore-Arc Bildungen zu erkennen, die auch längs Profil 3 noch schwach erhalten sein mögen.

Längs Profil 4 wurden drei Fracture Zonen (FZ) überfahren, deren Verlauf teils aus einem vermuteten Versatz der magnetischen Anomalien bzw. gelegentlich durch hypsographische Messungen bekannt waren (siehe Abb. 7). Vor allem die Anvers Fracture Zone war bisher nur ganz vage festgelegt worden und wurde nun durch unterschiedliche Sedimentmächtigkeiten auf beiden Seiten der Anomalie deutlich erkannt. 20 Millionen Jahre alte Kruste im Südwesten (Anomalie 6) ist von 15 Millionen Jahre alter Kruste (Anomalie 5b) deutlich zu unterscheiden. Eine weitere FZ wurde im Mittelteil des Profils lokalisiert. Sie hat noch keinen Namen, man könnte sie in Analogie zur benachbarten Hero FZ ebenfalls nach einem Schiff benennen, also z.B. "Polarstern" FZ. Sie ist eben-



- 6 : Zeichnung des Süd-Shetland-Grabens auf den Profilen 1,3 und 7. Überhöhung der Topographie ca. 13:1; der vertikale Maßstab entspricht TWT.
- 6: Line drawing of the South Shetland Trench on profiles 1,3 and 7. Seafloor topography has approx. 13:1 exaggeration. Vertical scale is TWT.

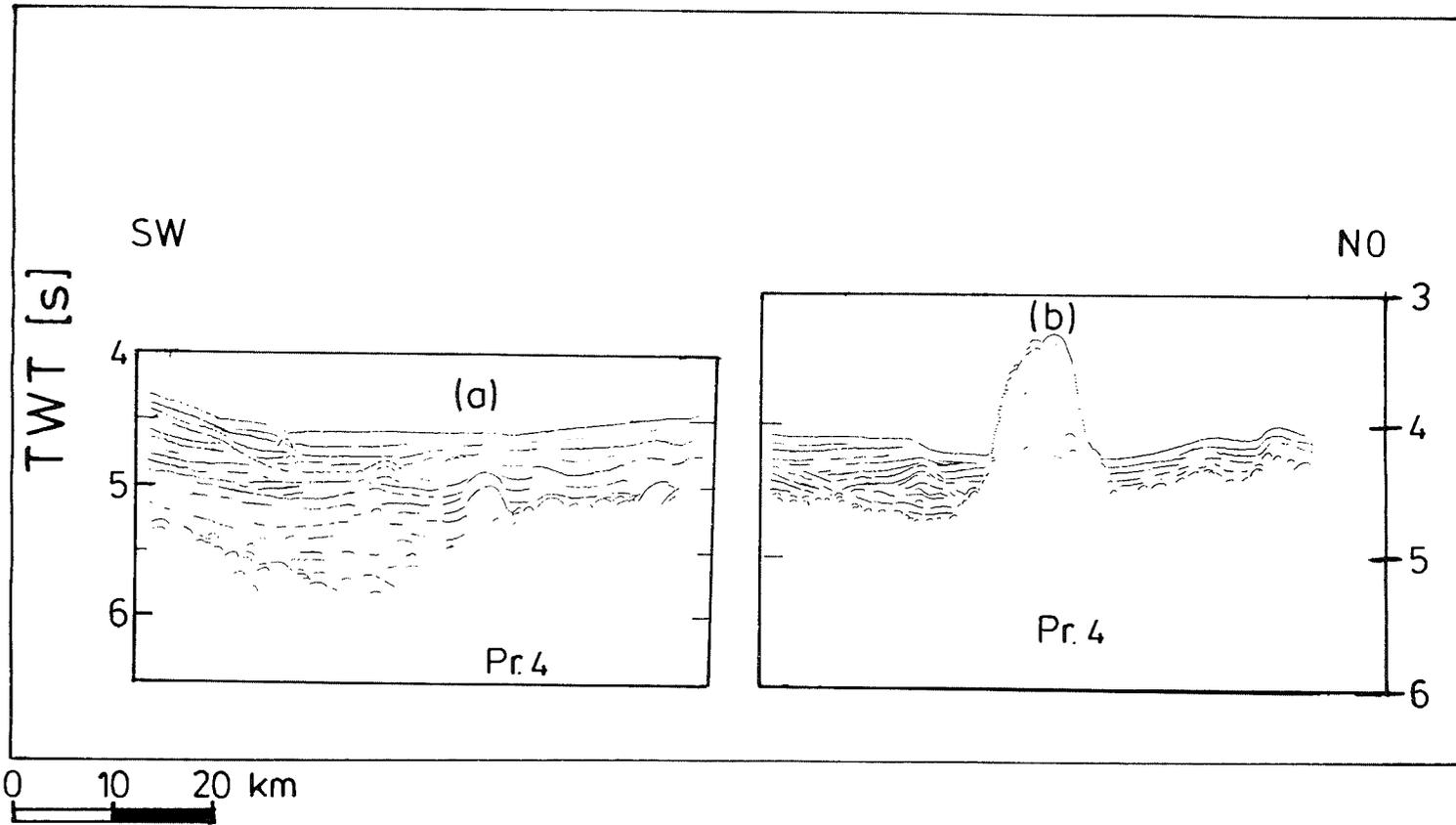


Abb. 7a und 7b: Zeichnungen der Bruchzonen auf Profil 4. Die Topographie des Meeresbodens erscheint überhöht. Der vertikale Maßstab entspricht TWT (two-way traveltime).

Figs. 7a and 7b: Line drawings of the fracture zones on profile 4. Seafloor topography appears exaggerated. Vertical scale is TWT (two-way traveltime).

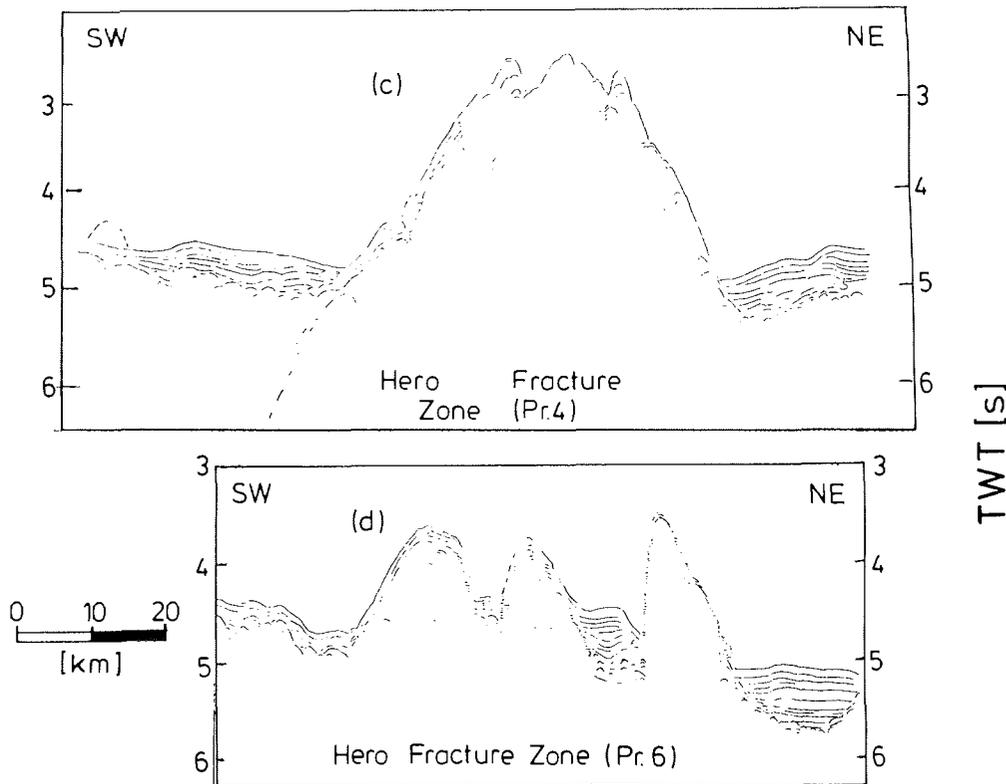


Abb. 7c und 7d: Zeichnungen der Bruchzonen auf Profilen 4 und 6. Überhöhung am Meeresboden ca. 13:1. Vertikaler Maßstab = TWT (two-way traveltime).

Figs. 7c and 7d: Line drawings of the fracture zones on profiles 4 and 6. Seafloor topography approximately 13:1 exaggerated. Vertical scale is TWT.

falls an einem Seamount (??) und einer deutlichen Sedimentverdünnung, entsprechend einem Sprung zu 10 Millionen Jahre alter Kruste (Anomalie 5), deutlich zu erkennen.

Die stärksten Anomalien in Topographie und Schwere sind an der prominenten Hero FZ zu beobachten. Sie ist eine wohl noch aktive Transform Verwerfung von 40 bis 50 km Breite zwischen dem südwestlich soeben versunkenen Aluk Rücken und dem etwa gleich alten Segment etwa 250 km im NW nordöstlich der Hero FZ. Man beobachtet auf Profil 4 bis zu 1600 m hohe untermeerische Vulkane, die mit wahren Neigungen bis zu 40 Grad aus der "leaking transform fault" aufsteigen. Ein Unterschied in der Sedimentmächtigkeit ist hier nicht zu beobachten, da auf beiden Seiten etwa 10 Millionen Jahre alte Kruste liegt (Anomalie 5), die allerdings im SW nordwestlich, im NO nordwestlich des Aluk Rückens liegt. Weiter südlich, beim Schnitt mit Profil 6 sind die Sedimentmächtigkeiten unterschiedlich, wie es den dort unterschiedlichen Altern entspricht.

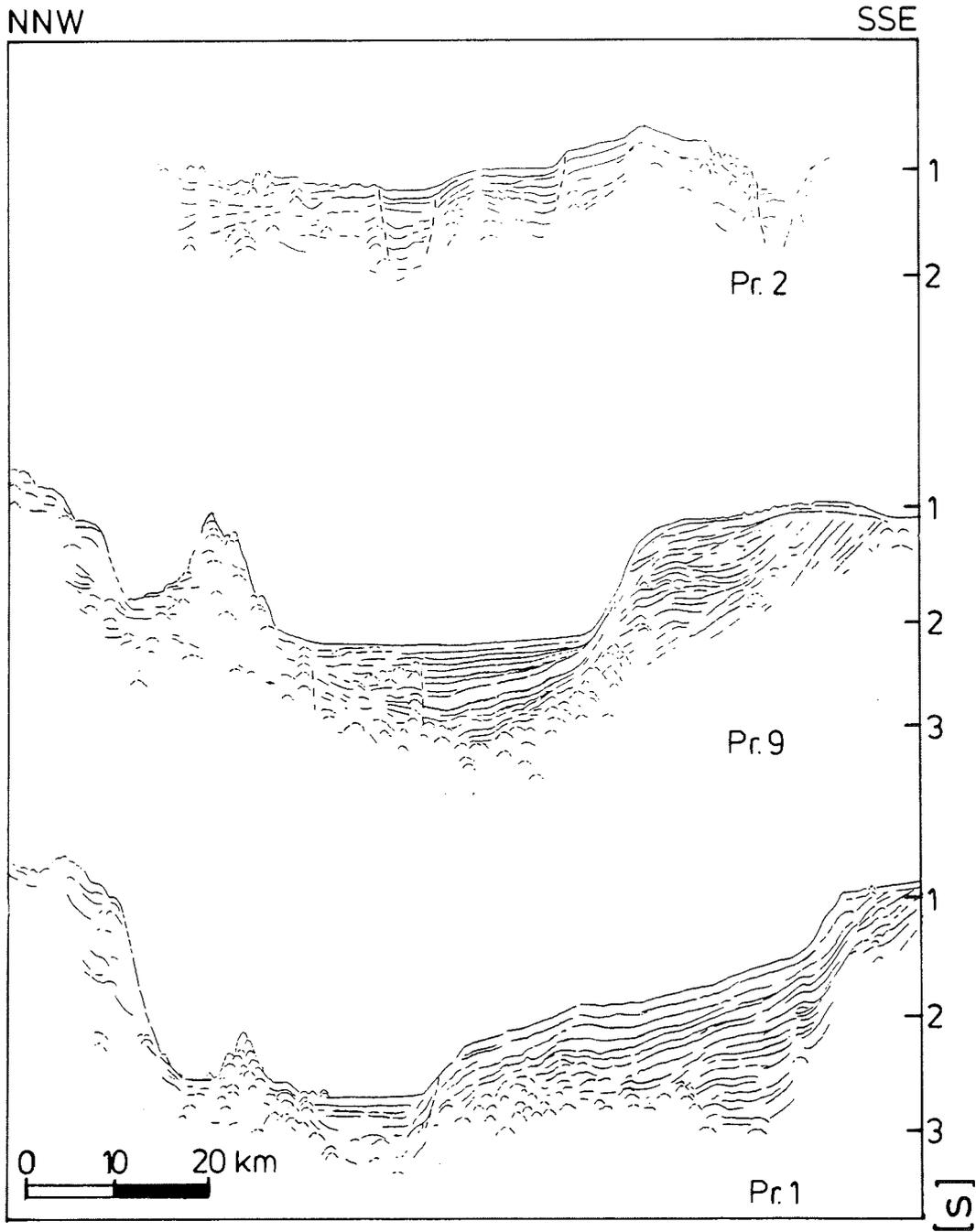


Abb. 8 : Zeichnung der Bransfield Straße auf den Profilen 2, 9 und 1. Überhöhung der Topographie ca. 13:1. Der vertikale Maßstab ist TWT.

Fig. 8 : Line drawing of the Bransfield Strait on profiles 2, 9 and 1. Seafloor topography approximately 13:1 exaggerated. Vertical scale is TWT.

Die drei Reflexionsprofile 1, 2 und 9 senkrecht zum Streichen der Bransfield Straße zeigen den Übergang von kontinentaler Dehnung im SW (Profil 2) zu Ozeanisierung im NE (Profil 1). Während Profil 2 durchaus kontinentale Tiefen und mäßige Dehnungsstrukturen zeigt, sind auf Profil 9 (Mittelprofil) deutliche ozeanische Absenkungen und ein breites Band von teils ruhigen, teils vulkanisch gestörten Sedimenten zu sehen. Auf Profil 1 ist zwar die große Einsenkung noch tiefer und konzentrierter, aber schmaler als auf Profil 9. Eine Ozeanisierung ist an vielen deutlichen Diffraktionen zu erkennen (siehe Abb. 8).

### 2.9.3 Ausblick

Zweifellos wird die Auswertung der Reflexionsdaten noch viele interessante Einzelheiten der tieferen Kruste enthüllen. Bisher ist erst 1/24 der Daten dargestellt. Das Entfernen der Multiplen wird bei dem kurzen Streamer Probleme verursachen, die jedoch lösbar sein sollten. Übergänge zwischen kontinentaler, ozeanischer und ozeanisierter Kruste, Feinheiten und Tiefenstruktur der Fracture Zonen, Subduktion und Fore Arc Becken werden Schwerpunkte der kommenden Auswertung sein.

Die aus vier europäischen Ländern zusammengekommenen 13 Wissenschaftler der Arbeitsgruppe wuchsen im Verlauf der Fahrt zu einer Einheit zusammen. Aufgrund der guten menschlichen und wissenschaftlichen Zusammenarbeit und der sich abzeichnenden neuen Erkenntnisse gab sich die Arbeitsgruppe auf ihrer Sitzung am 27.11. den Namen "GRAPE" = Geophysical Research Group for the Antarctic Peninsula. Dieser Name soll sowohl für gemeinsame Veröffentlichungen als auch für Antragstellungen bei nationalen und europäischen oder anderen internationalen Stellen benutzt werden. Wir glauben, daß viele der jetzt erarbeiteten Ergebnisse eine Fortsetzung, Ergänzung und Intensivierung der begonnenen Arbeit geradezu herausfordern.

### 2.10 Untersuchung niedermolekularer, halogener Kohlenwasserstoffe in Luft und Meerwasser (W. Reifenhäuser)

Auf diesem Fahrtabschnitt konnten 120 Luft- und Wasserproben genommen werden. Die Luftproben wurden kryogen bei -40°C auf dem Adsorptionspolymer Tenax GC angereichert, die Wasserproben wurden der Seewasserleitung im Buglabor entnommen. Fünfzig Luftproben wurden bereits an Bord mit einem Gaschromatographen mit Elektroneneinfangdetektor (ECD) auf halogenierte Kohlenwasserstoffe untersucht. Die Trennung erfolgte auf gekoppelten Kapillarsäulen verschiedener Polarität.

Erste Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- $\text{CCl}_4$  (140-200 pptv) und  $\text{CH}_3\text{CCl}_3$  (110-200 pptv) liegen im gleichen Konzentrationsbereich wie sie auch in kontinentalen Luftmassen der nördlichen Hemisphäre zu finden sind. Die in der Atmosphäre leichter abbaubaren Kohlenwasserstoffe  $\text{C}_2\text{Cl}_4$  (6-30 pptv) und  $\text{C}_2\text{Cl}_3\text{H}$  (4-23 pptv) werden im Vergleich dazu in deutlich niedrigeren Konzentrationen gemessen.