

**Schlüsselwörter**

Marinegeophysik  
 Ostpazifischer Rücken  
 Bathymetrie  
 Magnetostratigraphie  
 Krustenalter

# Marinemagnetik am Ostpazifischen Rücken

BIRGIT JOCHUM<sup>1</sup>, KAY ARIC<sup>1</sup>, WOLFGANG SEIBERL<sup>1</sup>

10 Abbildungen

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	127
Abstract .....	127
1. Einleitung .....	127
2. Bathymetrie .....	128
3. Magnetische Messungen .....	129
3.1 Das Meßgerät .....	129
3.2 Bearbeitung der Meßdaten .....	129
4. Vergleich der Ergebnisse mit magnetostratigraphischen Resultaten .....	131
5. Diskussion .....	133
Literatur .....	133

## Zusammenfassung

Nach entsprechenden Reduktionen und Korrekturen der am ostpazifischen Rücken im Rahmen des „Exchange between Crust and Ocean“-Projekts (EXCO) erfaßten magnetischen Daten, konnten diese anhand bisheriger paläomagnetischer und magnetostratigraphischer Untersuchungen gut in die Vorstellungen über die plattentektonischen Vorgänge an rasch spreizenden ozeanischen Krustenteilen eingepaßt werden. Die Spreizungsrate ergab sich mit ca. 92 mm/a. Dieser Wert ist etwas größer als jener von anderen Untersuchungen am ostpazifischen Rücken (75-85 mm/a).

## Marine Magnetic Data from the East Pacific Rise

### Abstract

After the application of appropriate reduction and correction procedures of marine magnetic data, gathered at the southern East Pacific Rise and comparison of this information with previously published paleomagnetic and magnetostratigraphic results of this area, it is evident that they fit well the idea of fast spreading oceanic plates. The spreading rate is approximately 92 mm/a which is somewhat higher than some published research results (75-85 mm/a).

## 1. Einleitung

Der Ostpazifische Rücken ist wegen seiner Bedeutung für die Plattentektonik Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher Aktivitäten (z. B. CORMIER et al., 1997; GOFF et al., 1993; FUJIOKA et al., 1995; MOTTI et al., 1996 [Internetadresse]). Dazu zählt auch das EXCO-Projekt.

Das wissenschaftliche Vorhaben EXCO (Exchange between Crust and Ocean) ist ein interdisziplinäres geowissenschaftliches Forschungsprojekt des Zentrums für Meeres- und Klimaforschung der Universität Hamburg und der Universität Bremen mit dem Hauptziel, die zeitlichen Veränderungen im Wärmetransport und in den Stoffaustauschprozessen an der Ostflanke des Ostpazifischen Rückens zu untersuchen.

Während der Forschungsfahrt Nr. 105 mit dem Forschungsschiff Sonne wurden folgende geophysikalische Meßverfahren eingesetzt:

- Bestimmung des regionalen Wärmestroms mit Wärmestromdichtemessungen

- Bestimmung der Sedimentmächtigkeit und tektonischen Gegebenheiten mit Hilfe des Parasound Verfahrens und der Drei-Kanal Seismik
- Reflexions- und Refraktionsseismische Messungen zur Untersuchung der zeitlichen Variabilität der seismischen Parameter der Ozeankruste in Abhängigkeit vom Alter
- Bathymetrische Vermessung des Ozeanbodens mit Hydro-sweep
- Marinemagnetische Messungen

Wesentliche Zielsetzungen der magnetischen Vermessung und Auswertung waren:

- Erstellung einer magnetischen Karte der Totalintensität, soweit wie möglich auch unter Einbezug von Fremddaten
- Die Bestimmung von Spreadinganomalien zur Festlegung des Krustenalters nach bereits altersmäßig eingeordneten Anomalien
- Erfassung sonstiger Anomalien (Vulkane, Störungen, sonstige markante Strukturen) (WEIGEL et al., 1996).

## Anschrift der Verfasser

<sup>1</sup> Universität Wien, Institut für Meteorologie und Geophysik, Althanstraße 14, 1090 Wien

Die Beiträge Österreichs zum EXCO-Projekt waren einerseits – die Betreuung des Magnetometers und die Erfassung der Daten an Bord des Forschungsschiffes Sonne sowie die – Bearbeitung und Auswertung der Daten in Österreich, wobei letzteres im Rahmen einer Diplomarbeit am Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien erfolgte.

Über den superschnell spreizenden Ostpazifischen Rücken und über sein Alter wurde zuletzt bei GREVEMEYER und WEIGEL (1997) berichtet, wobei hier die Forschungsaktivitäten der letzten Jahrzehnte zusammengefaßt sind. Die vorläufigen Ergebnisse der geophysikalischen Daten des EXCO-Projektes wurden von GREVEMEYER et. al (1997) veröffentlicht. In der Arbeit von JOCHUM (1997) wurde eine umfassende Bearbeitung unter Berücksichtigung eines neuen Verfahrens zur Simulation der täglichen Variation des Magnetfeldes durchgeführt.

Die Ergebnisse der Bathymetrie und der Seismik wurden von JENNRICH (1997) beschrieben.

Das Meßgebiet befindet sich an der Ostflanke des Ostpazifischen Rückens im Bereich zwischen den Längengraden  $-112,5^{\circ}$  W und  $-105,9^{\circ}$  W sowie den Breitengraden  $-14^{\circ}$  S und  $-15,9^{\circ}$  S (siehe Abb. 1).

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Bestimmung des Alters der Ozeankruste und der Bewegungsgeschwindigkeit der Nazca Platte relativ zum Ostpazifischen Rücken auf Basis von magnetischen Messungen. Dabei wurden zusätzlich grundlegende Untersuchungen zur Anwendbarkeit von synthetischen Tagesgängen getätigt, weil gerade die Bestimmung der magnetischen Variationen weitab von Observatori-

en ein erhebliches Problem in der Marinemagnetik darstellt. Grundsätzlich muß festgestellt werden, daß durch die Verwendung eines Gradiometers der Einfluß von kurzzeitigen Variationen (z. B. Tagesgang) auf die Meßwerte vermieden werden kann. Bei den gegenständlichen Untersuchungen stand aber nur ein Magnetometer mit einem Sensor zur Verfügung.

Folgende Schritte wurden dabei durchgeführt:

- Aufbereitung und Ergänzung der gemessenen Daten der Totalintensität und der Tiefe des Ozeanbodens
- Simulation des tatsächlichen Tagesganges durch theoretische Sq-Variationen und gemessene Indizes von magnetischen äquatorialen Sturmvariationen
- Überprüfung der Übereinstimmung von synthetischen und gemessenen Tagesgängen
- Korrelation der reduzierten Magnetfeldmessungen mit der Topographie des Meeresbodens
- Gegenüberstellung der magnetischen Anomalien mit der aus der Magnetostratigraphie bekannten Chronologie der Feldumkehrungen.

## 2. Bathymetrie

Die Tiefenmessung erfolgte mit einem Fächerecholot (Hydrosweep) der Firma Atlas-Elektronik. Zusätzlich wurden das Schiffsecholot und ein Parasound-Sediment-Echograph eingesetzt. Das Hydrosweepsystem sendet in einer Fächerform und quer zur Fahrtrichtung 59 Strahlen aus. Die äußersten Strahlen können in einem Winkel von  $45^{\circ}$  zur Wasseroberflä-

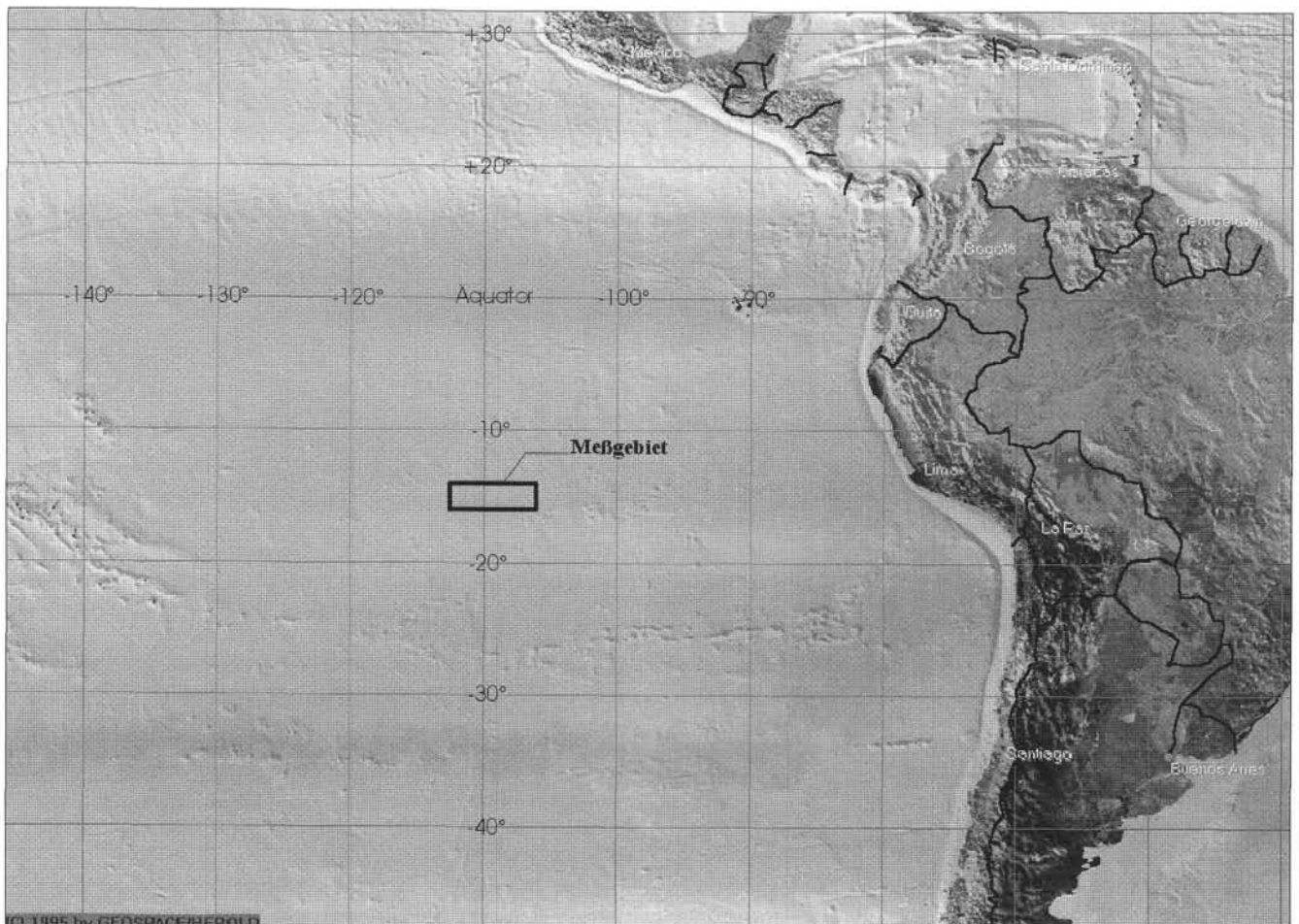


Abb. 1

Lage des Meßgebietes im Pazifischen Ozean (Satellitenaufnahme von HEROLD BUSINESS DATA/GEOSPACE BECKEL, 1996).

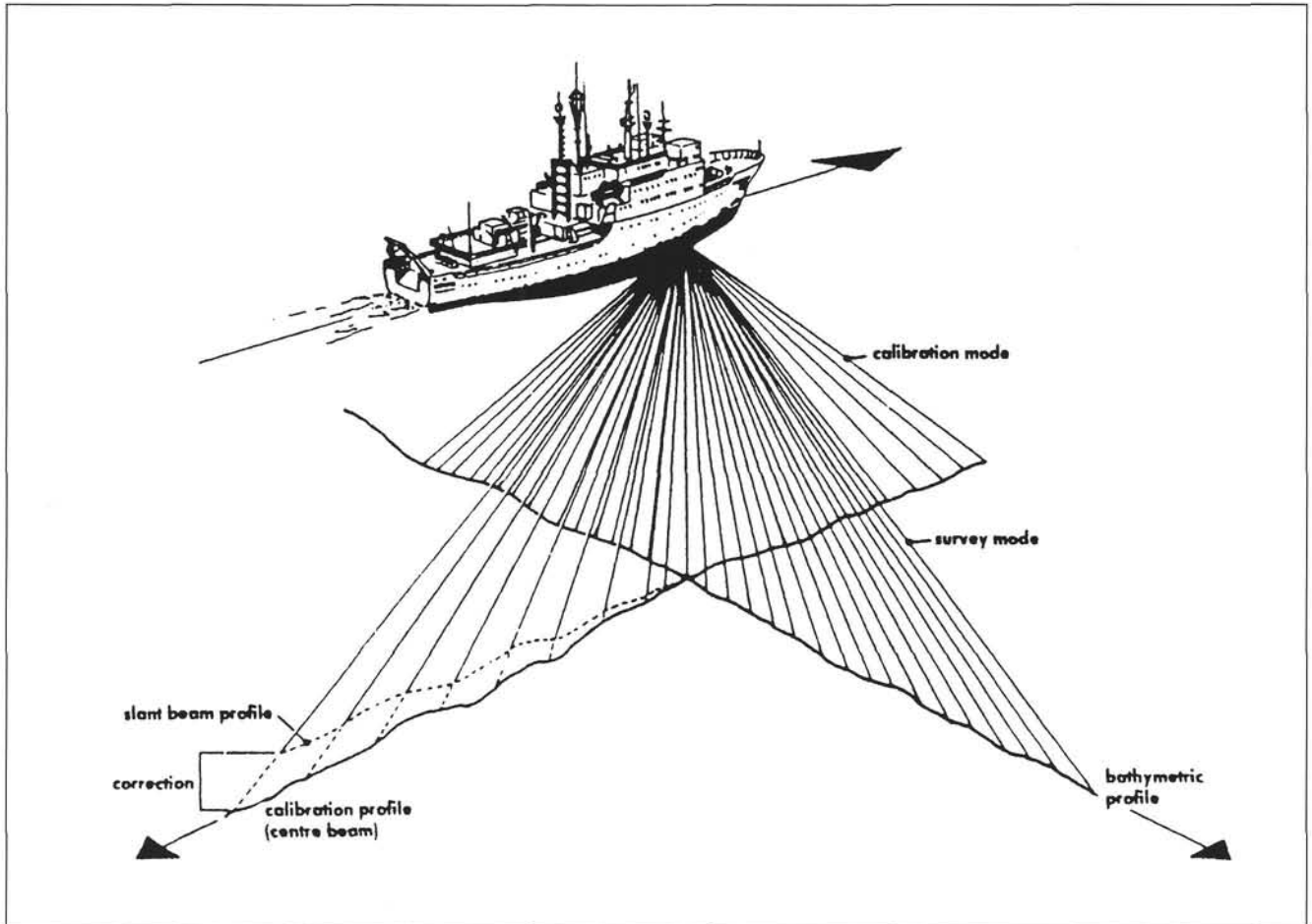


Abb. 2  
Prinzip des Hydroseepsystems (GRANT & SCHREIBER, 1990).

che ausgesendet werden (siehe Abb. 2); dadurch kann eine Fläche, die doppelt so breit ist wie die Meerestiefe, abgetastet werden. Das System arbeitet mit einer Frequenz von 15,5 kHz, um sowohl in große Meerestiefen einzudringen als auch die Unebenheiten am Meeresgrund detailliert wiederzugeben (GRANT & SCHREIBER, 1990).

Die Tiefendaten wurden im gesamten EXCO-Meßgebiet flächendeckend erfaßt. Der Meßstreifen in Abbildung 3 zeigt ein vom Ostpazifischen Rücken ( $-112,5^{\circ}$  W,  $-14^{\circ}$  S) ausgehendes und nach ESE abfallendes Gelände.

Schon im Fahrtbericht über die Sonne Expedition 105 (WEIGEL et al., 1996) wurde festgestellt, daß die Hauptstreichrichtung der topographischen Strukturen im gesamten Meßgebiet  $14^{\circ}$  gegen Nord beträgt. Das bedeutet, daß die Bewegungsrichtung der Nazca Platte in den letzten 8 Mio. Jahren nahezu konstant geblieben sein muß. Die Topographie des Meeresbodens zeigt im Bereich zwischen  $-110^{\circ}$  und  $-108^{\circ}$  westlicher Länge eine Anzahl an Tiefseevulkanen. Ob diese jedoch von gleichem Alter wie die umgebende Kruste sind, ist bislang eine offene Frage.

### 3. Magnetische Messungen

#### 3.1 Das Meßgerät

Die magnetischen Messungen der Totalintensität wurden während der EXCO Expedition mit einem Protonen-Präzessionsmagnetometer durchgeführt, wobei mit diesem Gerät der Betrag der erdmagnetischen Totalintensität  $T$  gemessen wird.

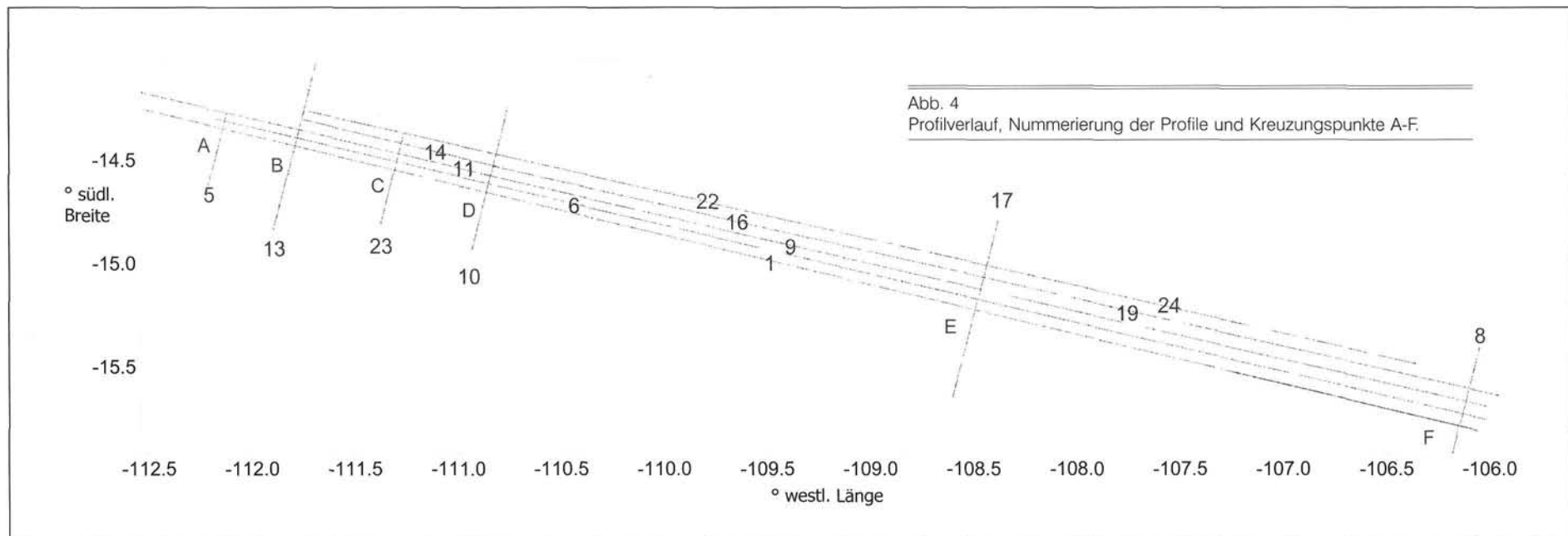
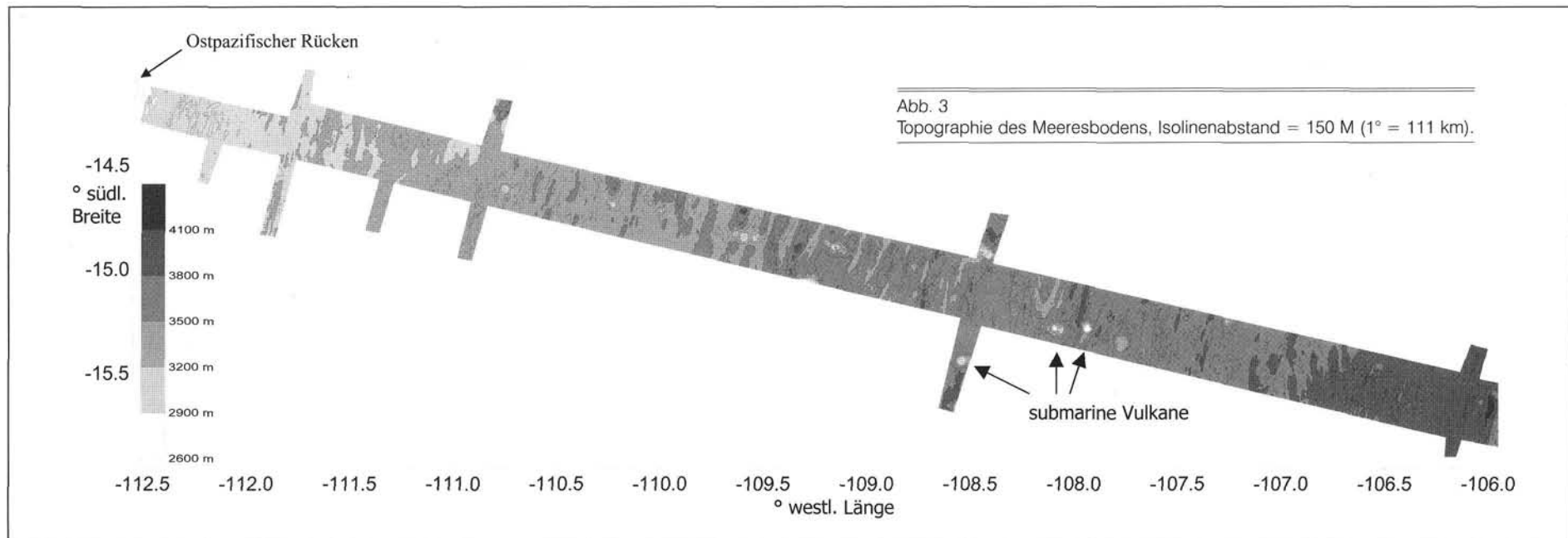
Der Magnetometersensor wurde mit einem 270 m langen Kabel hinter dem Schiff nachgeschleppt (und war dabei fast außerhalb des Schiffseinflusses). Der Meßpunktabstand betrug etwa 70 m (bei einer Meßwertfolge von 30 sec und einer Schiffsgeschwindigkeit von 4,5 Knoten).

#### 3.2 Bearbeitung der Meßdaten

In Abbildung 4 ist die Positionen der Meßprofile dargestellt. Der Abstand zwischen den WNW-ESE verlaufenden Profilen beträgt 5-6 km. Das Meßgebiet hat eine Breite von ca. 30 km und eine Länge von 740 km. Zusätzlich wurden in diese Darstellung die Nummern der Meß- und Querprofile und die Kreuzungspunktbezeichnungen (A-F) eingefügt. Aus den an den Kreuzungspunkten zwischen den Meß- und Querprofilen auftretenden Meßwertunterschieden können weitere Korrekturen an den Meßwerten angebracht werden.

Die Visualisierung der Isanomalien der gemessenen magnetischen Totalintensität ist in Abb. 5 dargestellt. Deutlich sichtbar ist die Abnahme der Werte mit zunehmender Tiefe der ozeanischen Kruste (vergl. Topographie, Abb. 3). Weiters sind bei genauer Betrachtung Anomalien erkennbar, die parallel zum Schiffsweg verlaufen und nicht durch geologische Gegebenheiten (z. B. Abb. 5, Bereich  $14,5^{\circ}$  S,  $112^{\circ}$ - $111,5^{\circ}$  W) erklärt werden können. Diese Meßwertänderungen treten hauptsächlich durch den magnetischen Tagesgang auf. Die Meßwerte müssen daher von diesem störenden Einfluß bereinigt werden.

Die eigentliche geologische Information ist im Anomalienfeld enthalten. Um zu diesem zu gelangen müssen Korrekturen bzw. Reduktionen an den Meßdaten vorgenommen werden. Zu diesen zählen die



- Normalfeldreduktion: Das Hauptfeld oder Normalfeld (siehe Abb. 6) ist das im Erdinneren erzeugte Magnetfeld. Sein Anteil ist an den gemessenen Werten (siehe Abb. 5) am größten. Jener der von magnetischen Quellen in der Erdkruste herrührt, beträgt im Durchschnitt weniger als 1% des Gesamtfeldes und die
- Tagesgangkorrektur: Die Variation des erdmagnetischen Feldes hat ihre Ursache in den Ionosphärenströmen, induziert durch die Gezeitenbewegung mit einer Periode von 24h bzw. durch die Partikelströme des Sonnenwindes mit Schwankungen bis zu mehreren Tagen (siehe auch MILITZER & WEBER, 1984).

Für das Meßgebiet im Ostpazifik wurde die Normalfeldreduktion mit Hilfe des Internationalen Geomagnetischen Referenzfeldes für die Epoche 1995.0 durchgeführt.

Die Tagesgangkorrektur wird im allgemeinen durch die Dauerregistrierung magnetischer Observatorien, die dem Meßgebiet möglichst nahe liegen müssen, durchgeführt. Dieser Weg ist bei Marinemessungen meist nicht möglich, so daß dann eine Abschätzung des Tagesganges aus den Meßwertabweichungen an den Kreuzungspunkten zwischen den Meß- und Querprofilen vorgenommen wird (SANDER & MRAZEK, 1982). Aus Zeitgründen war es während des EXCO-Projektes nicht möglich zusätzliche Querprofile zu messen, so daß ein völlig neuer Weg zur Tagesgangkorrektur beschritten werden mußte. Dabei wird diese Korrektur aus synthetischen Werten des ruhigen Tagesganges (World Data Center-A) und der zonalen Sturmzeitvariation (World Data Center-C2) berechnet. Eine detailliertere Auswertung und Interpretation wurde von JOCHUM (1997) vorgenommen.

In der Abb. 7 ist das Anomalienfeld an Ostpazifischen Rücken wiedergegeben. Man sieht deutlich, daß die Meßergebnisse ein Streifenmuster in etwa parallel zum Ostpazifischen Rücken vorweisen und sich im Vergleich mit Abb. 3 mit der Topographie des Meeresbodens korrelieren lassen. So werden z. B. vulkanische Erhebungen sehr gut durch magnetische Anomalien von 200-250 nT erfaßt. Der Winkel der magnetischen Anomalien und der Streichrichtung der Untergrundstruktur beträgt im gesamten Meßgebiet 14° gegen Nord und bestätigt somit die Bathymetriemessungen.

#### 4. Vergleich der Ergebnisse mit magnetostratigraphischen Resultaten

Zur Erklärung der wechselnden Polarität der Gesteine an den ozeanischen Rücken sei hier auf die aus der Erforschung des Erdmagnetfeldes wohlbekannten Feldumkehrungen verwiesen. Das magnetische Streifenmuster am Ozeanboden, das mehr oder weniger parallel zum mittelozeanischen Rücken verläuft, entsteht durch die wechselnde Polarität des Erdmagnetfeldes beim Auseinanderdriften der Lithosphärenplatten und der Neubildung ozeanischer Kruste. Durch Abkühlung der Gesteinschmelzen unterhalb der Curie Temperatur entsteht eine sehr stabile thermoremanente Magnetisierung, die zur jeweilig vorherrschenden Erdmagnetfeldrichtung parallel ausgerichtet ist. Positive Abweichungen der gemessenen Intensität vom durchschnittlichen Erdmagnetfeld bedeuten gleichlaufende Polarität der Gesteinsremanenz mit dem heutigen Magnetfeld, negative Abweichungen hingegen entgegengesetzte Polarität (siehe Abb. 8). (MILLER, 1992)

Verschiedene Autoren (z. B. TARLING & MITCHELL, 1976 und LABRECQUE et. al., 1977) haben die Erdmagnetfeldumkehrungen datiert. CANDE & KENT (1992) haben mit zahlreichen marinemagnetischen Profilen – unter anderem auch mit einem

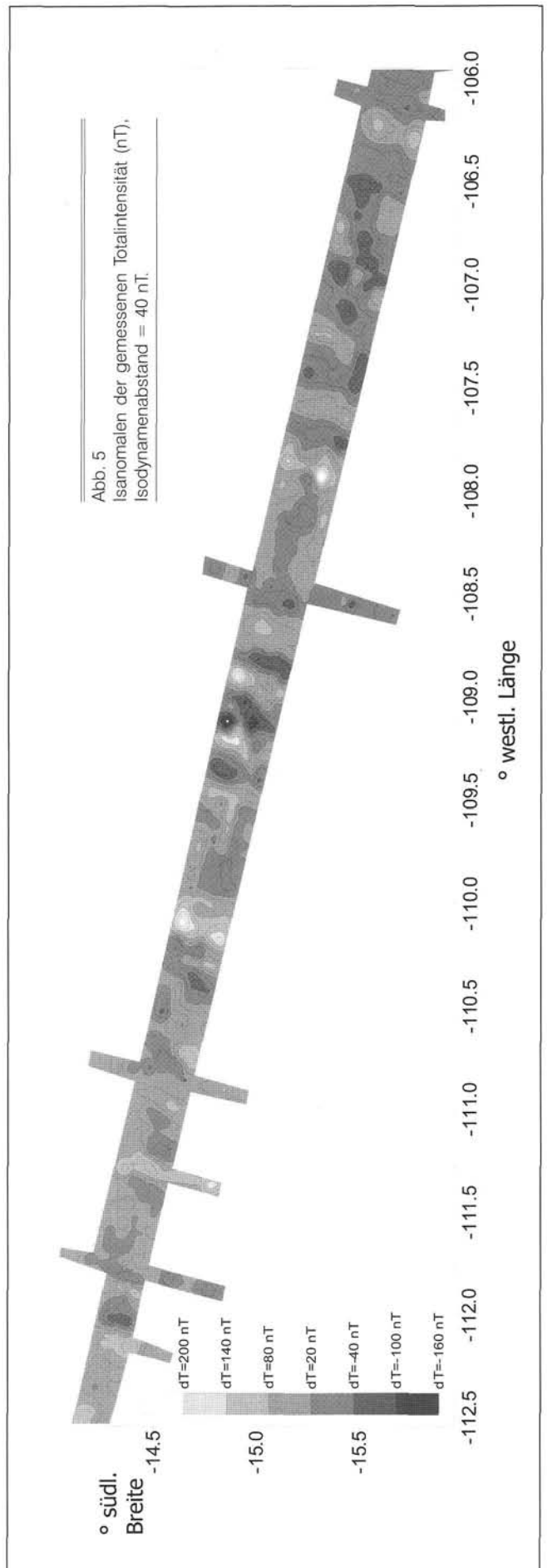


Abb. 5  
Isanomalien der gemessenen Totalintensität (nT),  
Isodynamenabstand = 40 nT.

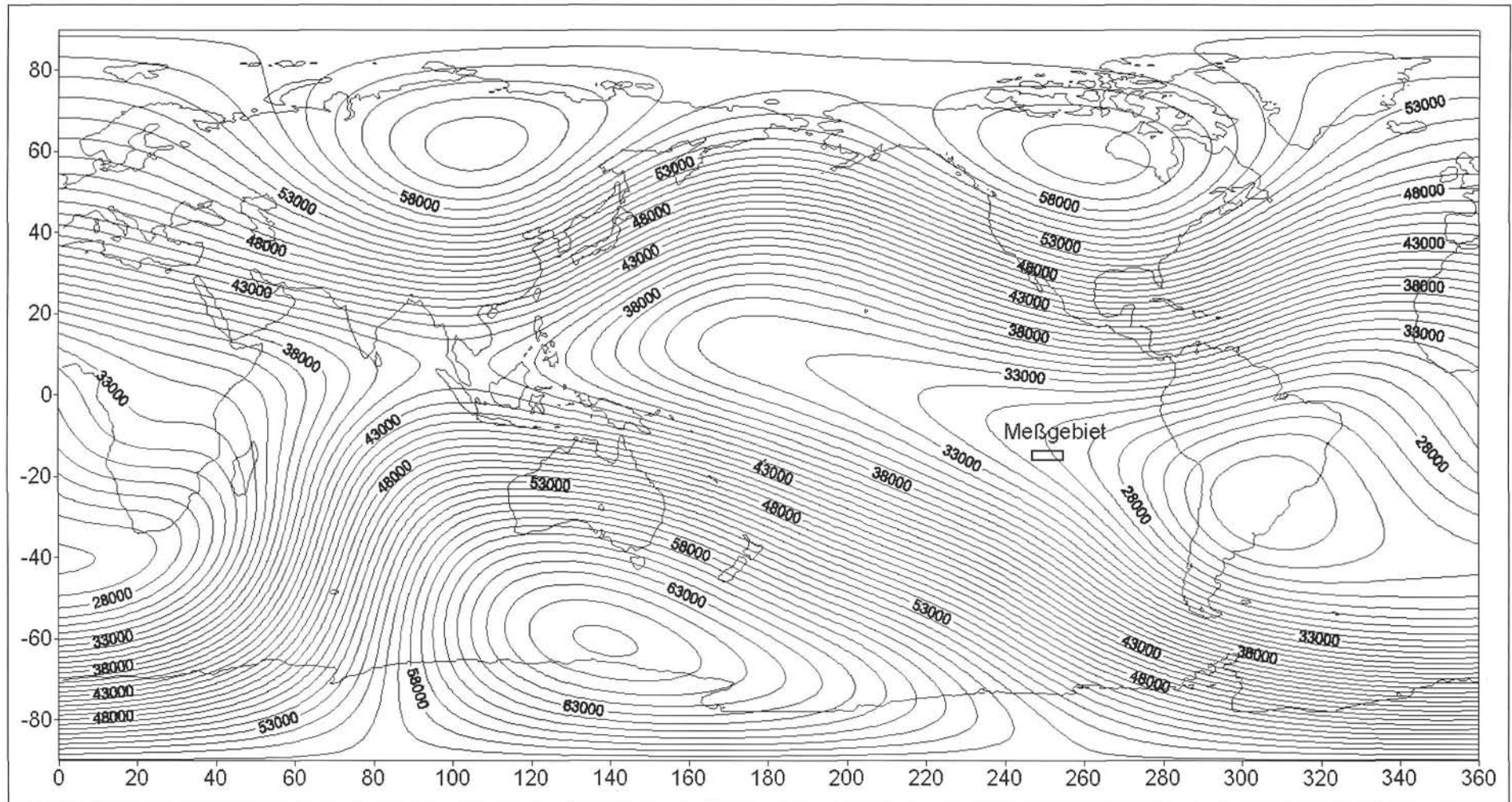
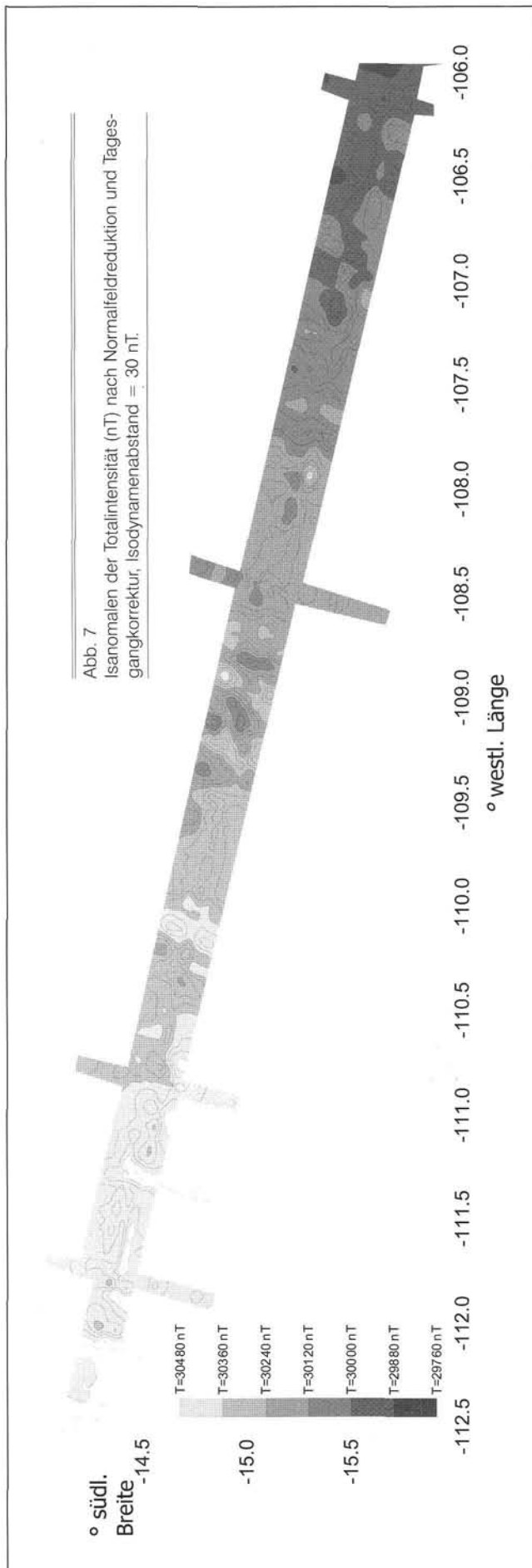


Abb. 6  
Totalintensität (nT) des IGRF der Epoche 1995.0 der Erde, Isodynamenabstand = 1000 nT.



Profil in der Nähe des EXCO Meßgebietes – eine neue geomagnetische Polaritätsskala erstellt.

Der obere Teil der Abb. 9 stellt das Stapelprofil der 5 WNW-ESE verlaufenden Profile des EXCO-Projektes dar. Durch die Korrelation dieses Anomalienmusters mit der Polaritätsskala von CANDE & KENT (1992) ist es möglich das Alter des Meeresbodens zu bestimmen.

Unter der Annahme, daß diese Zuordnung, wie im oberen Teil der Abb. 9 gezeigt, richtig ist und das Alter der ozeanischen Kruste im Meßgebiet mit einer zufriedenstellenden Genauigkeit bestimmt ist, kann die mittlere Spreizungsrate des ostpazifischen Rückens grob abgeschätzt werden. Bei einer Länge des Meßgebiet von 738 km (orthogonal zum mittelozeanischen Rücken) und einem maximalen Alter der Meeresbodens von 8 Millionen Jahren ergibt sich eine Spreizungsgeschwindigkeit relativ zum ozeanischen Rücken von ca. 92 mm/a.

Dieses Ergebnis ist um ca. 1 cm/a höher als die Geschwindigkeiten wie sie von CANDE und KENT in Abb. 10 angegeben sind. Bei GREVEMEYER et al. (1997) beträgt die Driftgeschwindigkeit der Nazca Platte ohne Berücksichtigung der geomagnetischen Variationen und Störungen 75-85 mm/a.

## 5. Diskussion

Die Auswertung der magnetischen Daten im EXCO Meßgebiet ermöglichte die Bestimmung des Alters des Meeresbodens nach entsprechenden Korrekturen. Das dabei verwendete Verfahren ist geeignet den Einfluß des Taganges in den Meßdaten in niederen magnetischen Breiten ohne Zuhilfenahme von Basisstationen oder Kontrollprofilen zu reduzieren. Die reduzierten Meßwerte korrelieren gut mit der Topographie des Meeresbodens.

Das Ergebnis der Marinemagnetik – die Altersdatierung der Kruste – lieferte die notwendige Basis für die Interpretationen aller anderen Teilprojekte von EXCO. Mitarbeiter der Universität Wien werden aufgrund des erfolgreich abgeschlossenen Projekt EXCO erneut am Folgeprojekt EXCO II teilnehmen.

## Appendix

Von folgende Internetseiten wurden Daten für die Berechnungen verwendet:

MOTTL, M., BAKER, E., MACDONALD, K., SINTON, J., WHEAT, G., 1996: Processes and Fluxes on a Superfast Spreading Ridge: The Southern East Pacific Rise – SEPR Workshop Report <http://ridge.unh.edu/sepr/report.html>

WORLD DATA CENTER-A FOR SOLID EARTH GEOPHYSICS, Software: Utility Programs for Beginning Studies of Geomagnetic Fields W. H. Campbell, Geomagnetic Data Group, National Geophysical Data Center, Internet Adresse: <http://www.ngdc.noaa.gov/seg/potfld/geomag.html>

WORLD DATA CENTER-C2 FOR GEOMAGNETISM, Dst Indices: Internet Adresse: <http://swdcd.db.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/dst11f/1f1995.html>

HEROLD BUSINESS DATA + GEOSPACE BECKEL SATELLITENBILDDATEN, Satellitenbild: Satelliten Atlas (CD-Rom), 1996

## Literatur

CANDE, S. und KENT, D., 1992: A new magnetic polarity time scale for the late Cretaceous and Cenozoic. – Journal of Geophysical Research, Vol. 97, B10, 13917-13951.

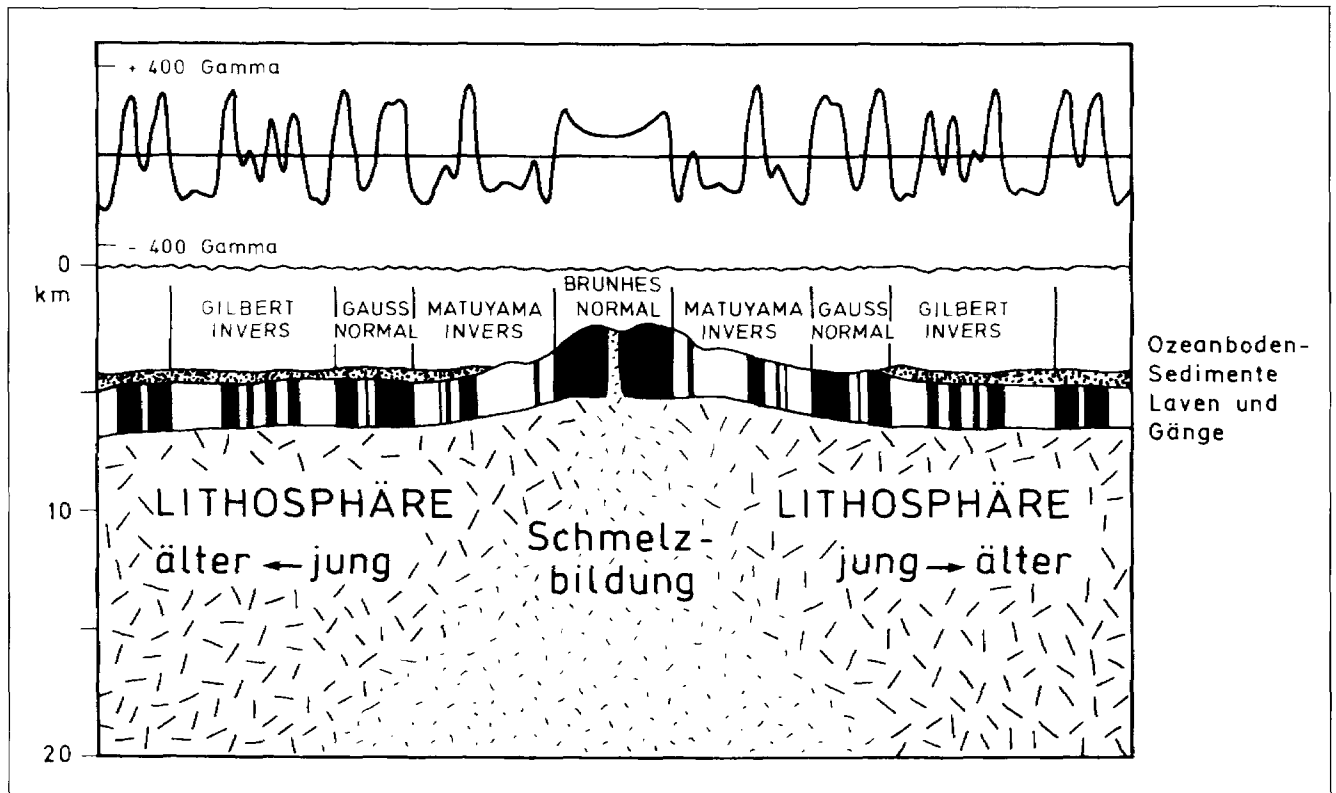


Abb. 8

Entstehung der symmetrischen paläomagnetischen Streifung beiderseits eines aktiven ozeanischen Rückens. Die remanente Magnetisierung konzentriert sich auf die oberste Lage basaltischer Gesteine in der Ozeankruste. Oben tatsächliche Meßkurve an der Meeresoberfläche senkrecht zur Längserstreckung des Rückens (MILLER, 1992).

- CORMIER, M.-H., SCHEIRER, D. S., MACDONALD, K. C., WHITE, S., HAYMON, R. 1997: Sojourn Leg 1: Detailed study of the asymmetries about the East Pacific Rise, 15°30'-20°S. – Ridge Events, 8(2), 1-5.
- FUJIOKA, K., MASSOTH, G., DE RONDE, C., TANAKA-NAKANO, A., GENDRON, J., KINOSHITA, M., NISHIZAWA, A., OKANO, O., PARADIS, G., ROW, K., SHINOHARA, M., SHITASHIMA, K., TSUNOGAI, U., YTOW, N., 1995: Active hydrothermal systems of a super-fast spreading ridge, Southern East Pacific Rise (13° 58'S to 18° 26'S). – Inter-Ridge News 4, 7-10.
- GOFF, J. A., MALINVERNO, A., FORNI, D. J., COCHRAN, J. R., 1993: Abyssal hill segmentation: quantitative analysis of the East Pacific Rise flanks 7°-9°S. – J.Geoph. Res., 98, 13851-13862.
- GRANT, J. und SCHREIBER, R., 1990: Modern Swathe Sounding and Sub-Bottom Profiling, Technology for Research Applications: The Atlas Hydrosweep and Parasound Systems. – Marine Geophysical Researches, 12, 9-19.
- GREVEMEYER, I., WEIGEL, W., 1997: Increase of seismic velocities in upper oceanic crust: The „superfast“ spreading East Pacific Rise. – Geophysical Research Letters, Vol. 24, 3, 217-220.
- GREVEMEYER, I., RENARD, V., JENNRICH, C., WEIGEL, W., 1997: Seamount abundances and abyssal hill morphology on the eastern flank of the East Pacific Rise at 14°S. – Geophysical Research Letters, Vol. 24, 15, 1955-1958.
- JENNRICH, C., 1997: Eine bathymetrische Analyse nach Daten der FS Sonne – Expedition 105, 1995 an der Ostflanke des ostpazifischen Rückens unter besonderer Berücksichtigung der Verteilung von Tiefseevulkanen und eine refraktionsseismische Untersuchung der ozeanischen Kruste im Altersbereich von 5 Millionen Jahren. – Diplomarbeit, 91 S., Universität Hamburg.
- JOCHUM, B., 1997: Geomagnetische Untersuchungen am Ostpazifischen Rücken unter Benutzung simulierter magnetischer Variationen. – Diplomarbeit, 61 S., Universität Wien.
- LABRECQUE, J., KENT, D. und CANDE, S., 1977: Revised magnetic polarity time scale for late Cretaceous and Cenozoic time – Geology, 5, 330-335.
- MILITZER, H. und WEBER, F., 1984: Angewandte Geophysik Band 1: Gravimetrie und Magnetik. – 353 S., Wien (Springer).
- MILLER, H., 1992: Abriß der Plattentektonik. – 149 S., Stuttgart (Enke).
- TARLING, D. und MITCHELL, J., 1976: Revised Cenozoic polarity scale. – Geology, 4, 133-136.
- SANDER, E. und MRAZEK, C., 1982: Regression technique to remove temporal variation from geomagnetic survey data – Geophysics, Vol. 47, 10, 1437-1443.
- WEIGEL, W., GREVEMEYER, I., WONG, H. K. und KAUL, N., 1996: Fahrtbericht über die SONNE-Expedition 105: EXCO – 163 S., Berichte, Reihe Z, Nr. 1, Zentrum für Meeres- und Klimaforschung der Universität Hamburg.



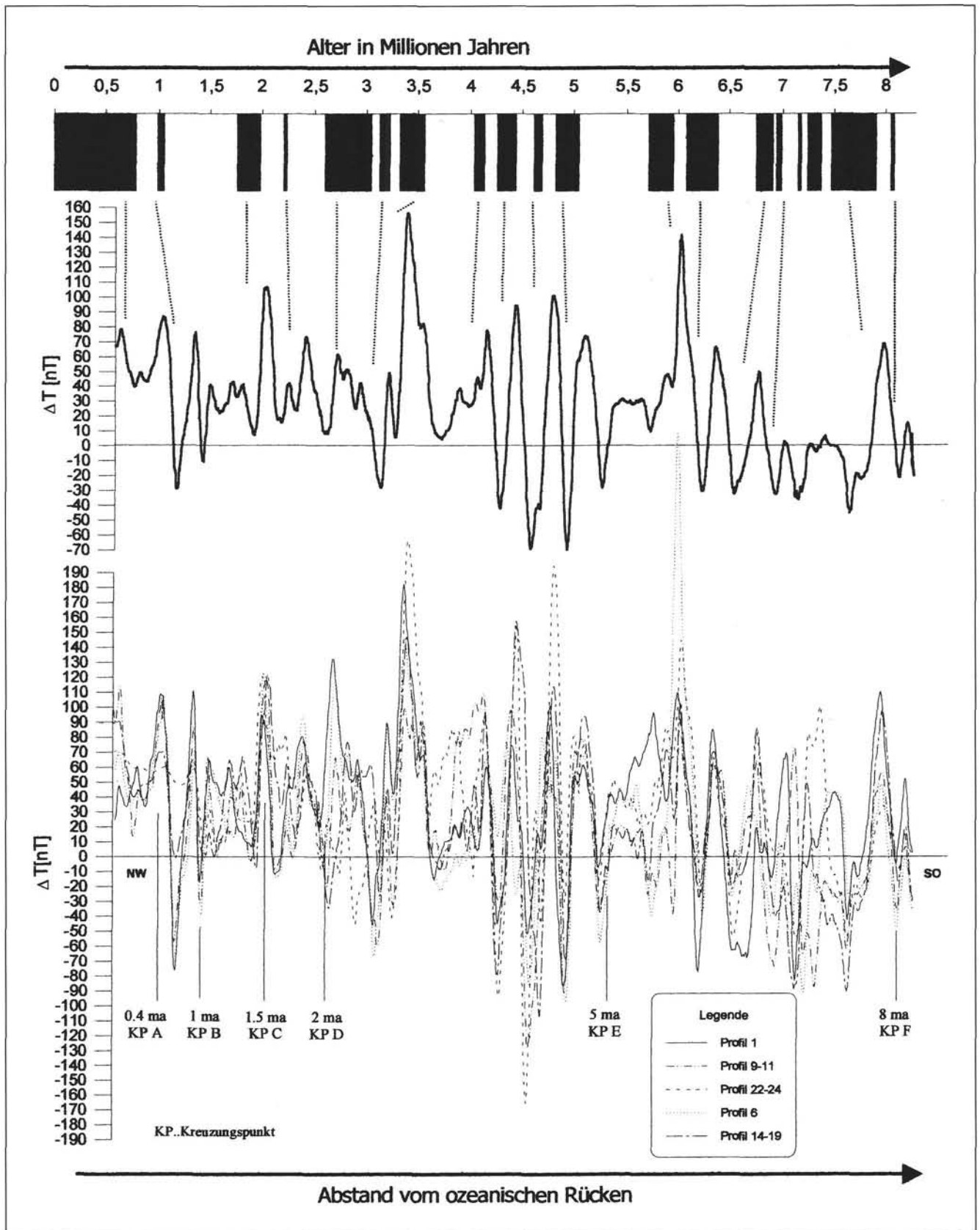


Abb. 9 oben  
 Mittelwertdarstellung der 5 NNW-ESE verlaufenden Profile nach Tagesgangreduktion und Abzug der Dst-Indizes im Vergleich mit der Chronologie der Feldumkehrungen (CANDE & KENT, 1992).

Abb. 9 unten  
 Stapelprofil der 5 NNW-ESE verlaufenden Profile nach Tagesgangreduktion und Dst-Variationenabzug [nT]. Angegeben sind die Kreuzungspunkte (KP A bis KP E) der Querprofile mit Altersangaben in Millionen Jahren aus EXCO Fahrtbericht (WEIGEL et al., 1996).

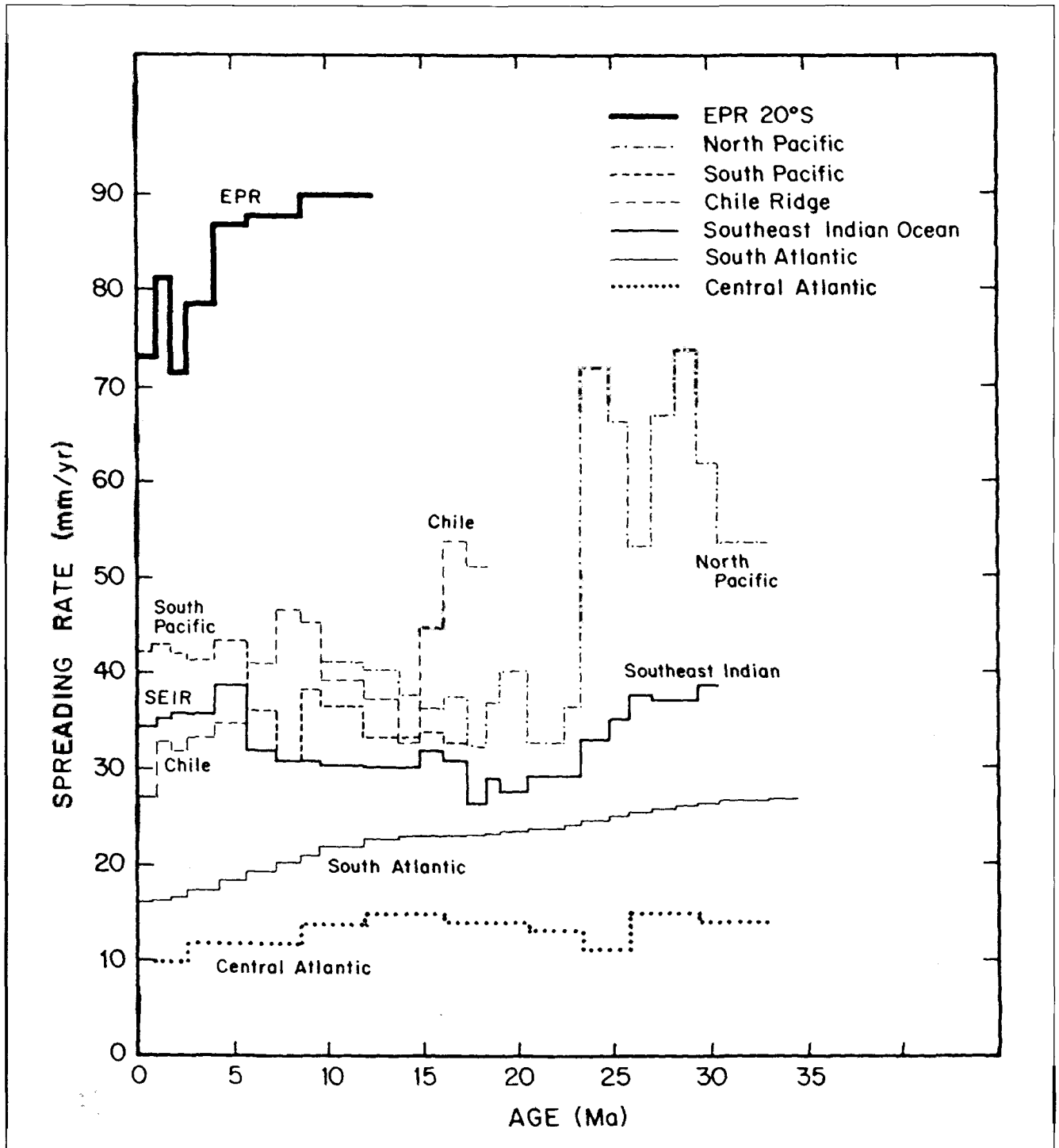


Abb. 10  
Spreizungsgeschwindigkeiten des ostpazifischen und anderer ozeanischer Rücken (EPR: Ostpazifischer Rücken) in mm/a (CANDE & KENT, 1992).