

**Untersuchung struktureller Elemente
des südöstlichen Weddellmeeres / Antarktis
auf der Basis mariner Potentialfelddaten**

**Analysis of structural elements
of the south-eastern Weddell Sea / Antarctica
based on marine potential field data**

Uwe F. Meyer

Ber. Polarforsch. 323 (1999)
ISSN 0176 - 5027

Uwe F. Meyer

Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung
Postfach 120161
Columbusstraße
D-27568 Bremerhaven

Die vorliegende Arbeit ist die inhaltlich unveränderte Fassung einer
Dissertation, die 1995 dem Fachbereich Geowissenschaften der
Universität Bremen vorgelegt wurde.

INHALT

INHALT	1
1 KURZFASSUNG	4
1.1 Zusammenfassung	4
1.2 Summary	5
2 EINLEITUNG.....	8
2.1 Untersuchungsgebiet: Das Weddellmeer	8
2.2 Untersuchungsmethodik I: Marine Magnetik	8
2.3 Untersuchungsmethodik II: Marine Gravimetrie	9
3 GRUNDLAGEN.....	11
3.1 Marine Gravimetrie.....	11
3.1.1 Vorbemerkungen.....	11
3.1.1.1 Physikalische Größen	11
3.1.1.2 Anwendung und Größenordnungen	12
3.1.1.3 Koordinatensysteme	12
3.1.2 Fundamentale Beziehungen.....	13
3.1.3 Ellipsoid, Spheroid, Geoid	15
3.1.3.1 Ellipsoid.....	15
3.1.3.2 Spheroid.....	16
3.1.3.3 Geoid.....	18
3.1.4 Korrekturen, Reduktionen, Anomalien.....	19
3.1.4.1 Eötvöskorrektur	19
3.1.4.2 Freiluftreduktion	21
3.1.4.3 Freiluftanomalie	22
3.1.4.4 Bouguerreduktion.....	23
3.1.4.5 Bougueranomalie.....	24
3.1.5 Erdgezeiten.....	24
3.1.6 Modellierung.....	26
3.2 Marine Magnetik.....	27
3.2.1 Vorbemerkungen.....	27
3.2.1.1 Physikalische Größen	27
3.2.1.2 Anwendung und Größenordnungen	27
3.2.1.3 Koordinatensysteme	28
3.2.2 Erdmagnetisches Hauptfeld.....	29
3.2.3 Krustenfeld	29
3.2.4 Zeitliche Magnetfeldvariationen	29
3.2.5 Korrekturen, Reduktionen, Anomalien.....	30
3.2.5.1 Korrektur des Schiffseinflusses.....	30
3.2.5.2 Reduktion der geomagnetischen Tagesschwankungen	30
3.2.5.3 Reduktion des Hauptfeldes	30

4	MESSTECHNIK UND DATENAUFNAHME	32
4.1	Marine Gravimetrie	32
4.1.1	Hafenanschlußmessungen und LaCoste&Romberg Landgravimeter.....	32
4.1.2	KSS 31 Seegravimeter.....	34
4.1.2.1	GSS 30 Schweresensor.....	34
4.1.2.2	KT 31 Plattform.....	37
4.1.2.3	Datenverarbeitungssystem.....	39
4.1.3	LaCoste&Romberg Gravimeter.....	40
4.2	Marine Magnetik	41
4.2.1	Geometrics G811 Seemagnetometer.....	41
4.3	Marine Navigation und Bathymetrie	43
4.3.1	Seabeam System.....	43
4.3.2	Hydrosweep System.....	43
4.3.3	Navigation.....	45
5	TEKTONISCH-GEOLOGISCHER RAHMEN	46
5.1	Antarktis und Gondwana Aufbruch	46
5.2	Tektonische Gliederung der Antarktis	50
5.3	Tektonik und Geologie des Weddellmeeres	53
6	BISHERIGE GEOPHYSIKALISCHE DATENSÄTZE	56
6.1	Bathymetrie	56
6.2	Marine Gravimetrie und Satellitenaltimetrie	61
6.3	Marine Magnetik	67
6.4	Aeromagnetik	70
6.5	Seismik	74
7	DATENSÄTZE UND DATENVERARBEITUNG	80
7.1	Profile der marinen Magnetik	80
7.2	Datenverarbeitung der marinen Magnetik	80
7.3	Datensätze der marine Gravimetrie	83
7.4	Datenverarbeitung der marinen Gravimetrie	85
7.5	Erstellung einer gemeinsamen Datenbasis	88
7.6	Gitterberechnung	88
8	KARTIERUNGEN UND PROFILE	89
8.1	Kartierung der Freiluftschwere	89
8.2	Vergleich der Freiluftschwere aus Schiffs- und Satellitenmesungen	95
8.3	Kartierung der Bougueranomalie	101
8.4	Modell der Krustendicke	102
8.4	Marine Magnetik	105
9	MODELLIERUNGEN	108
10	ÖFFNUNGSSZENARIEN	134
11	DISKUSSION	146

12	AUSBLICK UND RÜCKBLICK.....	148
13	LITERATURVERZEICHNIS.....	150
14	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	161
	ANHANG.....	165
	A PHYSIKALISCHE GRÖSSEN NACH DEM SI-SYSTEM.....	166
1	Grundlegende Größen.....	166
2	Abgeleitete Größen.....	167
3	Formelzeichen.....	168
	B NUMERISCHE GRÖSSEN.....	169
	C HAFENANSCHLÜSSE UND AWI ABSOLUTPUNKT.....	170
	D DATENFORMATE.....	172
1	Marine Gravimetrie.....	172
2	Marine Magnetik.....	173

1 KURZFASSUNG

1.1 Zusammenfassung

Für die vorliegende Arbeit wurden marin-gravimetrische Messungen des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven, der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover und der Universität Bergen im Bereich des Weddellmeeres bearbeitet und ausgewertet. Daneben wurden marin-magnetische Messungen, die während des FS Polarstern Fahrtabschnitts ANT X/2 aufgenommen wurden, aufgearbeitet und in die Betrachtungen einbezogen.

Die Methodik der Messungen und der Bearbeitungen werden vorgestellt. Die Grenzen der Genauigkeit und Auswertbarkeit der einzelnen Datensätze werden kurz beleuchtet.

Das Ergebnis der Arbeit resultiert in einer Schwerekarte des südöstlichen Weddellmeeres. Diese Kartierung wird mit aktuellen Kartierungen der Satellitenaltimetrie verglichen und diskutiert. Die Karte der Freiluftanomalie zeigt den genauen Verlauf von geologisch-tektonischen Strukturen, die zwar bereits in der Literatur eingehend diskutiert worden sind, jedoch in ihrer Lage, Form und Ausprägung nicht vollständig bekannt waren. So wurden als die wichtigsten strukturellen Elemente des südöstlichen Weddellmeeres bislang das Andenes-Escarpment und das Explora-Escarpment diskutiert: ihr Verlauf sollte nach KRISTOFFERSEN UND HINZ (1991) die Grenze zur ozeanischen Kruste durchgehend markieren.

Aus der gravimetrischen Kartierung wird der Zusammenhang zwischen dem Andenes-Escarpment, dem südlich davon gelegenen 'failed rift' (1991, KRISTOFFERSEN UND HINZ) und einer küstenparallelen Beckenstruktur erstmals deutlich.

Das Andenes-Escarpment wird vom Explora-Escarpment durch eine Seamountkette getrennt. Die Polarstern-Bank bildet den nördlichsten Teil der Seamounts. Die Seamounts treten als bathymetrische Struktur kaum in Erscheinung, weisen sich aber über die durch sie veränderte Krustenstruktur als eine etwa 100 km lange, senkrecht zur Küste verlaufende Anomalie aus.

Das Explora-Escarpment verliert seine schroffe bathymetrische Struktur in seiner südlichen Verlängerung und knickt in deren Auslauf nach Südosten hin ab. Somit ist nicht nur wegen der Polarstern-Bank, sondern auch durch den Verlauf beider Escarpments eine Konvergenz zwischen ihnen auszuschließen. Als Beleg dieser Interpretation wurde ein gravimetrisches Modell für das Gebiet zwischen dem Andenes- und Explora-Escarpment erstellt. Darin bestätigt sich, daß die Escarpments voneinander versetzt verlaufen. Die Seamountkette kann durch Krustenaufplast vulkanischen Ursprungs modelliert werden. Die gravimetrische Küstenanomalie zwischen 27°O und 15°O läßt sich als eine Anomalie modellieren, die für einen passiven Kontinentalrand

typisch ist. Als Modellierungshilfen wurden in der Hauptsache seismische Kartierungen von Sediment- und Basementhorizonten herangezogen.

Der Vergleich der Bathymetrie mit den Kartierungen der Freiluftschwere und der Bougueranomalien ermöglicht eine genauere Festlegung für den Verlauf des Kontinentalrandes im Bereich des südöstlichen Weddellmeeres, als es bislang möglich war. Nach der hier beschriebenen Vorstellung verläuft er vor Dronning Maud Land südlicher als bislang angenommen, etwa parallel der 1000 m Isobathe.

Der Kontinentalrand und die gravimetrischen Strukturen in einem Streifen von etwa 200 km Breite nordwärts davon werden schließlich im Vergleich mit den magnetischen Anomalien überprüft und diskutiert. Darin spielen die Gondwana-Rekonstruktionen für den Zeitbereich von 140 Ma bis 180 Ma vor heute eine prägende Rolle. Die Rekonstruktionsmodelle bestätigen großmaßstäbig den kartierten Verlauf des Kontinentalrandes.

Die Lage der Polarstern-Bank zwischen den Escarpments konnte bislang nur unzureichend erklärt werden. Aus dem Vergleich der gravimetrischen Anomalien und den Rekonstruktionsmodellen ergeben sich erste Hinweise, daß die Polarstern-Bank sich entwickelt habe könnte, als sich Afrika und Südamerika bereits von der Antarktis getrennt hatten und ein erstes Rifting zwischen dem Falkland-Plateau und Afrika einsetzte.

Die Arbeit macht deutlich, daß neben der Satellitenaltimetrie die marine Gravimetrie immer noch von großer Bedeutung ist. Eine Kompilation unregelmäßig verlaufender mariner Profile kann zu einer homogenen, aussagekräftigen Karte geführt werden. Die in der Kartierung verwendeten Einzelprofile sind dabei in ihrer Genauigkeit bislang nicht durch Satellitenmessungen ersetzbar. Zudem bieten marine Profile die Möglichkeit, senkrecht zum Streichen der geologisch-tektonischen Strukturen Daten aufzunehmen und so die volle Dynamik der Anomalien zu erfassen. Dies ermöglichte eine Überarbeitung der bestehenden Interpretationen der Strukturen des südöstlichen Weddellmeeres.

Im Rahmen dieser Arbeit konnten nicht alle Fragestellungen bearbeitet werden, die mit Hilfe des vorgelegten Datensatzes angegangen werden könnten. So bietet er zum Beispiel die Möglichkeit, den kontinentalen Schelf vor dem Filchner-Ronne-Schelfeis zu modellieren und herauszufinden, ob Berkner Island zwei unterschiedliche Schelfstrukturen voneinander trennt. Dies und die weitergehende Bearbeitung der Daten, wie zum Beispiel die Kombination von Altimetrie und marinen Gravimeterdaten bleibt für zukünftige Arbeiten.

1.2 Summary

The presented dissertation is based on the processing and interpretation of marine gravity measurements conducted by the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research

in Bremerhaven, the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources in Hannover and the University of Bergen. Moreover, marine geomagnetic measurements of the Polarstern cruise ANT X/2 have been processed and incorporated.

The methods of measurements and processing are explained. The limits of accuracies and interpretation of the individual data sets are discussed.

The final result of the work is a gravity map of the southeastern Weddell Sea. This map is compared and discussed referring to satellite altimetry mapping. The presented free air anomaly map shows in detail the boundaries of geological and tectonic structures, which already have been discussed in recent literature, but never have been known to their full extent concerning locations, boundaries and features. For instance, two of the most important structural elements of the southeastern Weddell Sea discussed so far, the Andenes Escarpment and the Explora Escarpment, according to KRISTOFFERSEN UND HINZ (1991) should mark a common boundary towards the oceanic crust.

The marine gravity mapping for the first time reveals the connection between the Andenes Escarpment, a 'failed rift' (1991, KRISTOFFERSEN UND HINZ) south of it and a gravimetric basin parallel to the coast.

The Andenes Escarpment is divided from the Explora Escarpment by a seamount chain. The Polarstern Bank is the northernmost feature of the seamounts. The seamounts are nearly invisible as a bathymetric structure but can be identified by a crustal anomaly about 100 km long, striking perpendicular to the coastline.

The steep bathymetric structure of the Explora Escarpment diminishes towards the south and then changes its direction towards the southeast. Consequently, not only because of the Polarstern Bank but also because of the strike direction of the two escarpments a convergency between them can be excluded. To prove this interpretation, a gravimetric model of the area, between the Andenes and Explora Escarpment has been computed. The model confirms the different strike directions. The seamounts can be modelled as a volcanic load on oceanic crust. The gravimetric coastal anomaly in between 27°E and 15°E can be modelled as a typical passive continental margin. Seismic mapping of sediment and acoustic basement horizons have been used as constraints in gravity modelling.

The now possible comparison between bathymetry, free air and bouguer mapping improves the chances to map the continental boundary in the southeastern Weddell Sea. In the presented interpretation the continental boundary is located further to the south as assumed until now, about parallel to the 1000 m bathymetry contour line.

The continental boundary and the gravimetric structures within 200 km of it are discussed within the scope of geomagnetic anomalies in the area. Within this task, the Gondwana reconstruction in the time frame of 140 My and 180 My before present play an important role. The reconstruction models fit the presented continental boundary in large scale.

The location of the Polarstern Bank between the Escarpments until now could not be satisfyingly explained. From the comparison of the gravimetric anomalies and the

reconstruction models first hints are derived that the Polarstern Bank was generated when Africa and South America were already separated from Antarctica and a first rifting between the Falkland Plateau and Africa was initiated.

The presented work enhances that marine gravimetry measurements are still of great importance parallel to satellite altimetry. A compilation of unregular marine profiles can lead to a homogenous, clearly structured gravity map. The single marine gravity profiles still can not be replaced by satellite altimetry regarding accuracy. Furthermore, marine profiles can be conducted perpendicular to the strike direction of tectonic features and so comprehend the full dynamic contents of the anomalies. This made the reinterpretation of important structural elements of the southeastern Weddell Sea possible.

Within the presented framework not all important questions of the area could be discussed, which might be at least partially answered in the light of the new data. So it might be possible to model the continental shelf north of the Fichner Ronne ice shelf to find out, whether Berkner Island may divide two different shelf structures. This and other work beyond what has been presented - as for example the combination of satellite altimetry and marine gravity data - is left for future research.

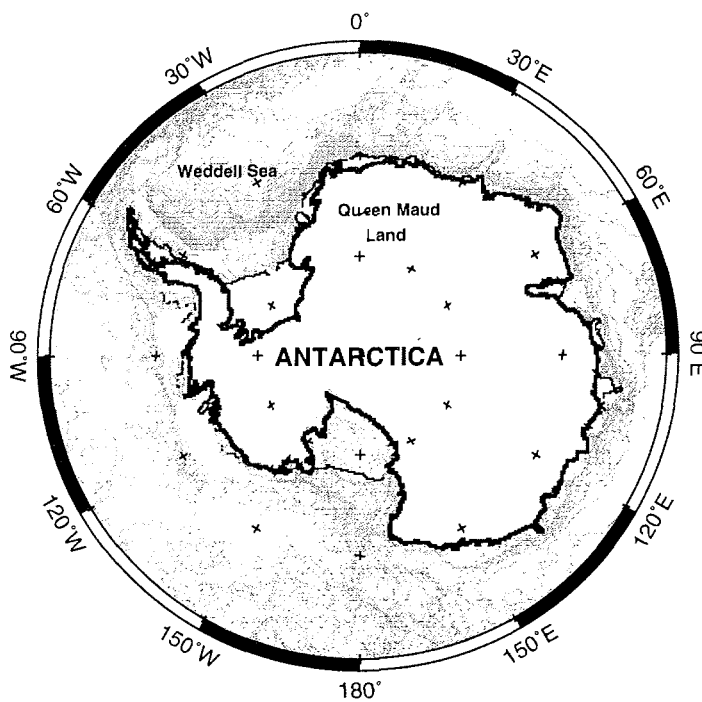


Abb. 1.1: Übersichtskarte Antarktis - General map of Antarctica

2 EINLEITUNG

2.1 Untersuchungsgebiet: Das Weddellmeer

Das Weddellmeer ist zu finden zwischen den Verlängerungen der Südspitzen Südamerikas und Afrikas als südlichster Teil des Atlantiks. Es bildet neben dem Rossmeer die zweite große Meeresbucht des antarktischen Kontinents. Der englische Walfänger James Weddell entdeckte 1823 diesen nach ihm benannten Teil des Atlantischen Ozeans. Das Weddellmeer erstreckt sich von 60°S bis etwa 75°S und von 60°W bis etwa 10°W (Abb. 2.1). Im südlichsten Teil geht es über in das Filchner-Ronne Schelfeis. Die Antarktische Halbinsel bildet die westliche Begrenzung, die Küsten von Coats Land und Dronning Maud Land die östliche Begrenzung des Weddellmeeres. Es grenzt im Norden an die Scotiasee und im Osten an die Lazarevsee. Im Schelfbereich beträgt die Meerestiefe nur wenige hundert Meter, im nördlichen Teil dagegen mehr als 5000 m. Besonders der südwestliche Teil des Weddellmeeres ist überwiegend von Packeis bedeckt und macht marin-geophysikalische Erkundungen außergewöhnlich schwierig. Bis in die siebziger Jahre war das Weddellmeer geophysikalisch weit weniger erforscht als das Rossmeer oder das Arktische Becken. Die ersten veröffentlichten geophysikalischen Daten aus dem Weddellmeer entstammen dem Projekt Magnet und beschränkten sich auf vier aeromagnetische Meßprofile (BREGMAN UND FRAKES, 1970). Mittlerweile durchziehen zahlreiche aero- und marin-geophysikalische Profile das Weddellmeer, von denen einige in der vorliegenden Arbeit vorgestellt und untersucht werden. In jüngster Zeit kam auch die Satellitenaltimetrie zu den klassisch gewonnenen geophysikalischen Daten im Bereich des Weddellmeeres hinzu. Auch diese Daten sollen im weiteren kurz angesprochen werden. Für die Geophysik stellt das Weddellmeer ein in vielerlei Hinsicht herausforderndes Untersuchungsgebiet dar. Dies nicht nur durch seine Abgeschlossenheit und rauen Bedingungen, sondern auch durch seine zentrale Rolle in der Rekonstruktion Gondwanas, in der Erforschung des Aufbruchs des ehemaligen Superkontinents und der Bildung des Weddellmeeres selbst. Im Rahmen dieser Arbeit sollen aus marinen Magnetik- und Gravimetriedaten Strukturen des Weddellmeeres kartiert und untersucht werden. Regionaler Schwerpunkt dabei ist der südöstliche Teil des Weddellmeeres.

2.2 Untersuchungsmethodik I: Marine Magnetik

Unter mariner Magnetik soll hier die Messung der Totalintensität des Erdmagnetfeldes auf See verstanden werden, erweitert durch Gradientenmessungen des Erdmagnetfeldes soweit möglich. Obwohl die Meßgröße die Totalintensität des Erdmagnetfeldes ist, ist nur ein Bruchteil der darin enthaltenen Information Gegenstand der Auswertung: das Krustenfeld. Die zeitlich variablen Anteile der Magnetfeldmessungen sind zwar wissenschaftlich zur Erforschung von Ionosphäre und Magnetosphäre von großem Interesse, bedeuten jedoch in der Beschränkung auf den geologisch-tektonischen Aspekt

eine unliebsame Störgröße. Das erdmagnetische Hauptfeld, durch komplizierte Dynamoprozesse im Erdkern generiert, ist eher für globale Untersuchungen von Bedeutung. Erst durch die Eliminierung von Hauptfeld und zeitlich variablen Feldbeiträgen erhält man das Krustenfeld. Mit einer einfachen Totalfeldmessung des Erdmagnetfeldes allein können diese drei Feldanteile nicht eindeutig voneinander getrennt werden. Die Gradientenmessung liefert idealerweise nur den Anteil des Krustenfeldes, ist aber technisch weitaus schwieriger zu realisieren.

Der Blick auf das Krustenfeld vermittelt das Bild einer lokal variierenden Superposition des erdmagnetischen Hauptfeldes, läßt man für den Augenblick alle zeitlich variablen Anteile außer Betracht. Das Krustenfeld hat seine Quelle in magnetischem Material, das in der Erdkruste enthalten ist. Verschiedene Gesteinsmaterialien besitzen unterschiedliche Anlagen zur Ausbildung und Erhaltung innerer permanenter und induzierter Magnetfelder. Die magnetischen Eigenschaften von Gesteinen zum Zeitpunkt der Messung enthalten Informationen, die teilweise in weit zurückliegenden Magnetfeldepochen angelegt wurden. Dies geschieht durch die Wirkung des Erdmagnetfeldes während der Gesteinsbildung. Mit dem Abkühlen des Gesteins unter die Curie-Temperatur werden die herrschenden Magnetfeldverhältnisse eingefroren, das Gestein wird thermoremanent magnetisiert. Die wichtigsten inneren Größen zur Beschreibung der Speicherkapazität eines Gesteins für Magnetfelder ist die magnetische Suszeptibilität und die Korngröße (THOMPSON UND OLDFIELD, 1986). Die zeitliche Speicherkapazität hängt in erster Linie von den Umweltbedingungen ab. Magnetfeldkartierungen machen magnetische Anomalien detailliert sichtbar und geben Aufschluß über die zugrunde liegende geologische Struktur. Der Begriff des Krustenfeldes ist nicht völlig korrekt, schließlich verläuft die Isotherme der Curie-Temperatur, oberhalb der keine Magnetfelder mehr gespeichert werden können, nicht parallel zur Kruste-Mantel-Grenze. Da aber die Curie-Temperatur meist in der mantelnahen Unterkruste auftritt (LANGEL, 1987), sei diese Vereinfachung erlaubt.

Geomagnetische Studien über das Krustenfeld waren der Schlüssel zu weitreichenden Antworten in grundlegenden Fragestellungen wie 'Existiert Kontinentaldrift?', 'Wie funktioniert Plattentektonik und sea-floor-spreading?', 'Wie verlaufen Polwanderung und Umkehr des Erdmagnetfeldes?', usw. Obwohl diese Methodik sich als äußerst erfolgreich erwiesen hat und nichts von ihrer Bedeutung verloren hat (ACTON, 1994), liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit der Datenmenge und -qualität wegen im weiteren auf seegravimetrischen Messungen.

2.3 Untersuchungsmethodik II: Marine Gravimetrie

Die Kombination von mariner Magnetik und mariner Gravimetrie ist eine kostengünstige Alternative zur marinen Seismik, kann die Seismik allerdings nicht ersetzen. Während der letzten Jahre stieg die Bedeutung der marinen Gravimetrie als unabhängige Interpretationshilfe zur Seismik wieder an. Zwar kann die marine Gravimetrie nicht solch spektakuläre Erfolge wie die Magnetik vorweisen, ist aber eine solide Größe der marinen

Geophysik. Wie in der Magnetik spiegeln sich in der Gravimetrie lokale und regionale Anomalien wider, zumeist jedoch wesentlich gedämpfter. Dagegen bilden sich in der Gravimetrie tektonische Übergänge und Störungen wesentlich strukturierter ab als in der Magnetik. Gerade diese Eigenschaft der Gravimetrie soll hier genutzt werden. Die Schweremessung kartiert Dichteveränderungen im Untergrund. Da Erdmantel und -kruste deutlich unterschiedliche Dichten aufweisen, ist die Gravimetrie geeignet, die Krustendicke zu modellieren und so zum Beispiel kontinentale Kruste von ozeanischer Kruste zu unterscheiden. Im weiteren Gegensatz zur Magnetik haben die zeitlichen Schwerevariationen nur geringere Auswirkungen. Sie liegen im Fehlerbereich der Schiffsmessungen (1 bis 2 mGal). Weiterhin gibt es wesentlich weniger Schwierigkeiten in der Bestimmung der Schwereanomalien, da das Analogon zum erdmagnetischen Hauptfeld, das Geoid, mathematisch zeitlich konstant bestimmt ist. Dagegen erfordern die prinzipiellen instrumentellen Schwierigkeiten bei der Schweremessung auf See bedeutend anspruchsvollere Lösungen, da alle Schiffsbewegungen korrigiert werden müssen. Dies ist ein besonders 'gravierendes' Problem bei Meßfahrten im eisbedeckten Weddellmeer. Zusammenfassend sollen die marine Magnetik und Gravimetrie dazu eingesetzt werden, geologisch-tektonische Strukturen des Weddellmeeres aufzuzeigen und diese im Zusammenhang mit dem Gondwana-Aufbruch und der damit einhergehenden Öffnung des Weddellmeeres zu diskutieren.

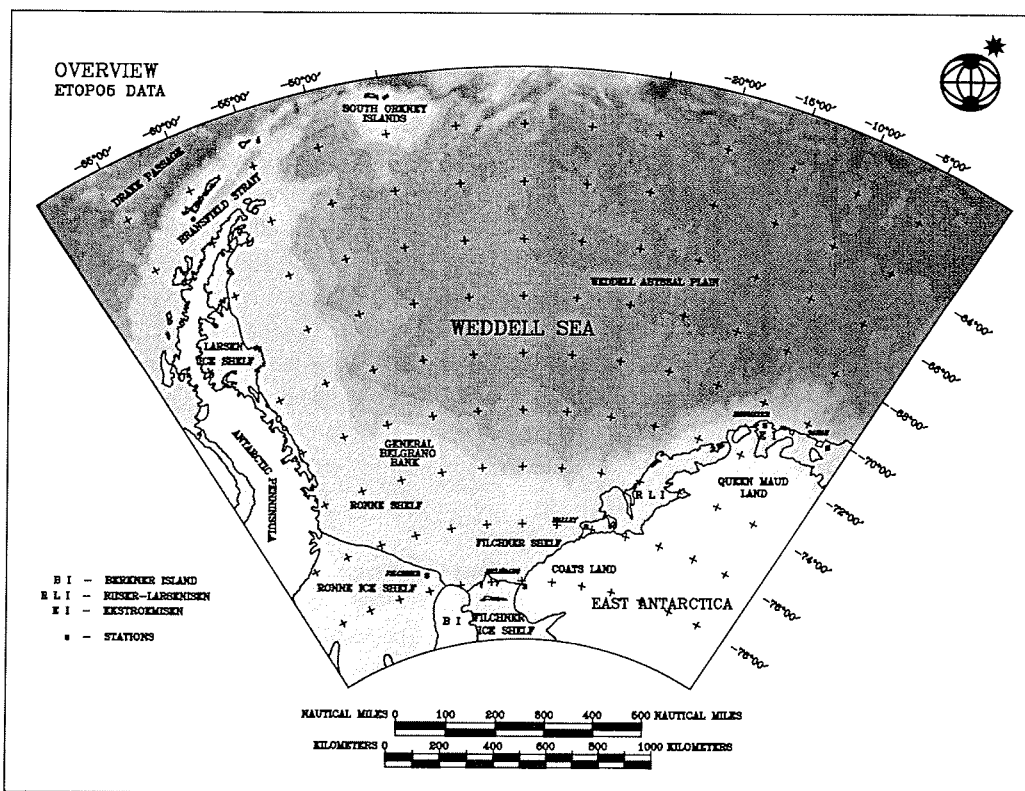


Abb. 2.1: Übersichtskarte Weddellmeer

3 GRUNDLAGEN

3.1 Marine Gravimetrie

3.1.1 Vorbemerkungen

Bis ins 16. Jahrhundert wurde das Phänomen der Gravitation durch die Theorie des Aristoteles (384 bis 322 v.Ch.) beschrieben, nach dem die Fallgeschwindigkeit eines Körpers proportional zu seinem Gewicht ist. Erst Galileo Galilei (1564 bis 1642) konnte diese Theorie durch Fallversuche widerlegen (SAMBURSKY, 1975). Galilei erkannte den freien Fall als eine Bewegung gleichmäßiger Beschleunigung und schließlich die Pendelbewegung als einzig abhängig von der Pendellänge, die erste Grundlage zur Bestimmung der Schwerebeschleunigung. Seit Galileo Galilei sind über dreihundert Jahre vergangen, in denen die Bestimmung und das Verständnis des Gravitationsfeldes stetig vorangeschritten sind. Dieser Fortschritt wurde erzielt durch ständige Weiterentwicklung der Meß- und der Auswertungsmethoden. Die zunehmende Menge an gravimetrischen Daten und die ebenfalls zunehmende Genauigkeit in ihrer Bestimmung hat dazu beigetragen, uns eine detaillierte Vorstellung über das räumlich-zeitliche Verhalten des Erdschwerefeldes zu vermitteln.

Der Begriff Gravimetrie ist ein Kunstwort, das sich zum einen aus dem lateinischen *gravis* (= schwer), zum anderen aus dem griechischen *μετροω* (= messen) zusammensetzt. Das Objekt der Schweremessung ist die Größe der Schwerebeschleunigung g und des Schweregradienten $\text{grad } g$. Die Zielsetzung der Gravimetrie ist die Bestimmung des Schwerefeldes der Erde oder anderer Himmelskörper als Funktion von Ort und Zeit durch die Messung der Schwere oder des Schweregradienten in Oberflächennähe.

3.1.1.1 Physikalische Größen

Nach dem Système International d'Unités (SI) ist die Einheit der Schwere ms^{-2} und die Einheit des Schweregradienten s^{-2} . In der Geodäsie und der Geophysik werden meist die Hilfseinheiten mGal und μGal verwendet. Es gelten die Umrechnungen

$$1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ ms}^{-2} \quad \text{und} \quad 1 \mu\text{Gal} = 10^{-8} \text{ ms}^{-2}.$$

Die Einheit Gal ist benannt nach Galilei ($1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2$). Hält man sich weniger streng an die SI-Norm und will mit der neueren anglo-amerikanischen Literatur konform gehen, so wird die Einheit der Schwere in mm/s^2 ($= 1/10 \text{ mGal} = 100 \mu\text{Gal} = 1 \text{ gravity unit}$) angegeben. Die wichtigsten Größen und Einheiten sind nach KRIST (1975) im Anhang dokumentiert. Im Rahmen dieser Arbeit wird als Einheit für die Schwere mGal verwendet.

3.1.1.2 Anwendungen und Größenordnungen

Im folgenden soll stets nur der Fall des Erdschwerefeldes behandelt werden. Jede Masse, die die Rotationsbewegung der Erde mitmacht, spürt die Gravitation oder spezieller ausgedrückt, die Massenanziehung der Erde, sowie die Zentrifugalbeschleunigung. Beide Effekte zusammen ergeben die Schwerebeschleunigung g . Die Schwerebeschleunigung g ist damit abhängig von der Massenverteilung und der Art und Geschwindigkeit der Rotation. Als globaler Wert für die Schwerebeschleunigung darf vereinfacht angenommen werden: 9.81 ms^{-2} .

Die Schwere messung an der Erdoberfläche enthält Information über den Ort der Messung (geodätische Anwendung), über die Massenverteilung (geophysikalische Anwendung) und, bei zeitlich kontinuierlichen Messungen, über die Variation der Schwere (geodynamische Anwendung). Das Erdschwerefeld findet weitere Beachtung in der Ozeanographie, Raumfahrt, Navigation, Physik und Meteorologie.

Positions- und Höhenänderungen verursachen maximale Unterschiede von $5 \cdot 10^{-3} \text{ g}$. Massenverteilungen, die von einem homogenen Erdmodell abweichen und tiefer im Bereich von Kruste und Mantel gelegen sind, verursachen bis zu $5 \cdot 10^{-4} \text{ g}$, solche die höher gelegen sind, bis zu $5 \cdot 10^{-5} \text{ g}$. Periodische Gezeiteneffekte lassen Schwankungen um etwa $3 \cdot 10^{-7} \text{ g}$ entstehen, Massenverschiebungen im geologischen Zeitrahmen etwa 10^{-9} bis 10^{-8} g (DEHLINGER, 1978). Hieraus lässt sich ableiten, welche Genauigkeiten für welche Untersuchungen erfüllt werden müssen. Für die hier angestrebten Untersuchungen reicht eine Genauigkeit von 1 bis 2 mGal aus.

3.1.1.3 Koordinatensysteme

Zur Vereinfachung wird das Erdschwerefeld als zeitlich invariantes System betrachtet. Für die globale Behandlung des Erdschwerefeldes wird ein geozentrisches Koordinatensystem verwendet. Sein Ursprung ist das Gravitationszentrum. Die z-Achse ist deckungsgleich mit der zeitinvarianten mittleren Rotationsachse der Erde. Die x-Achse durchsticht den Meridian, die y-Achse vervollständigt das rechtshändig kartesische Koordinatensystem. Dieses Koordinatensystem ermöglicht eine einfache Transformation in die sphärischen Koordinaten r, ν, λ . Darin entspricht r der geozentrischen Distanz, $\nu = 90^\circ - \phi_{gc}$ der polaren Distanz (ϕ_{gc} = geozentrische Breite) und λ der geographischen Länge. Der Positionsvektor kann also auf zwei Arten geschrieben werden:

$$\mathbf{r} = (x, y, z) = r (\sin \nu \cos \lambda, \sin \nu \sin \lambda, \cos \nu).$$

In der Beschreibung regionaler und lokaler Schwerefelder wird das Koordinatensystem auf einen bestimmten Punkt P_0 bezogen. Die z-Achse zeigt von diesem Punkt in Richtung der Schwerebeschleunigung, die x-Achse nach Norden und die y-Achse nach Westen. Bezieht sich die Nordrichtung auf den astronomischen Meridian, so kann es durch die astronomische Breite Φ , die astronomische Länge Λ und den astronomischen Azimuth AZ

findet Anwendung in der Korrelation zwischen Satellitenmessungen und oberflächennahen Schweremessungen.

Beide Koordinatensysteme sind in Abb. 3.1 im Vergleich dargestellt.

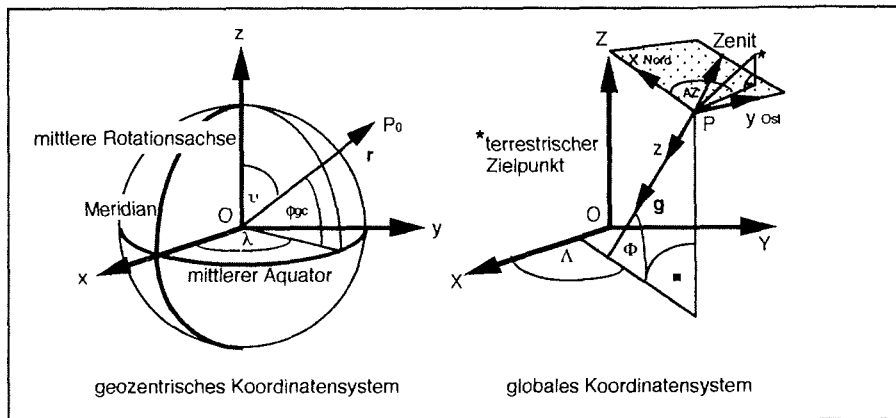


Abb. 3.1: Geozentrisches und globales Koordinatensystem nach TORGE (1989)

3.1.2 Fundamentale Beziehungen

Im System der rotierenden Erde setzt sich die Schwerebeschleunigung \mathbf{g} zusammen aus der Massenanziehung \mathbf{b} und der Zentrifugalbeschleunigung \mathbf{z} :

$$\mathbf{g} = \mathbf{b} + \mathbf{z}.$$

Die Schwerkraft \mathbf{F} ist definiert durch:

$$\mathbf{F} = m \mathbf{g}.$$

Die Massenanziehung der Erde wird durch das Newtonsche Gravitationsgesetz beschrieben:

$$\mathbf{b}(\mathbf{r}) = G \int_M \frac{(\mathbf{r}' - \mathbf{r})}{|\mathbf{r}' - \mathbf{r}|^3} dM \quad \text{mit} \quad dM = \rho dV.$$

Die Zentrifugalbeschleunigung \mathbf{z} ist durch den Vektor der Erdrotation $\boldsymbol{\omega}$ gegeben und den senkrechten Abstand zur Rotationsachse der Erde \mathbf{d} :

$$\mathbf{z}(\mathbf{r}) = (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}) \times \boldsymbol{\omega} = \omega^2 \mathbf{d}.$$

Die Werte für die Gravitationskonstante und die Winkelgeschwindigkeit nach TORGE (1989) finden sich im Anhang.

Da die Bedingungen

$$\text{rot } \mathbf{b} = 0 \quad \text{und} \quad \text{rot } \mathbf{z} = 0$$

erfüllt sind, ist es möglich über

$$\mathbf{b} = \text{grad } P_V \quad \text{und} \quad \mathbf{z} = \text{grad } P_Z$$

die entsprechenden Potentiale P_V und P_Z zu bestimmen:

$$P_V(\mathbf{r}) = G \int_V \frac{\rho(\mathbf{r}')}{|\mathbf{r}' - \mathbf{r}|} dV \quad \text{mit} \quad \lim_{r \rightarrow \infty} P_V = 0$$

und

$$P_Z(\mathbf{r}) = \frac{\omega^2}{2} d^2 \quad \text{mit} \quad \lim_{d \rightarrow 0} P_Z = 0.$$

Das Gravitationspotential ergibt sich damit zu:

$$P_W(\mathbf{r}) = P_V(\mathbf{r}) + P_Z(\mathbf{r})$$

und die Schwerebeschleunigung zu

$$\mathbf{g} = \text{grad } P_W.$$

Im Außenraum eines massegefüllten Körpers ist das Schwerfeld damit wirbelfrei. Das Schwerfeld muß für den Außenraum zudem quellenfrei sein. Damit genügt es der Laplacegleichung und wird in der Konsequenz auch Laplacesches Feld genannt. Im Inneren eines solchen Körpers wird ein wirbelfreies Schwerfeld mit nicht verschwindender Divergenz gefordert, es müssen also Quellen existieren, daß heißt die Poissongleichung muß erfüllt sein. Für detailliertere Betrachtungen siehe KERTZ (1983).

$$\text{div } P_W = - \text{div grad } (\mathbf{b} + \mathbf{z}) = 0 \quad (\text{Laplacegleichung})$$

$$\text{div grad } P_W = \text{const} \quad (\text{Poissongleichung}).$$

3.1.3 Ellipsoid, Spheroid und Geoid

Das Gravitationsfeld der Erde und seine Gravitationsanomalien werden durch Äquipotentialflächen beschrieben. Damit spielt auch die Beschreibung der Erdform eine grundlegende Rolle. Es sollen in diesem Abschnitt die Funktionen und Herleitungen des Ellipsoids, Spheroids und Geoids skizziert werden.

Die einfachste, aber höchstens zu Überschlagsrechnungen geeignete Beschreibung der Erdform ist eine Kugel, deren Radius das Erdvolumen einschließt.

In der Gravimetrie bezeichnet das Ellipsoid die mathematisch einfachste Beschreibung der Erdform durch die große Halbachse und die Abflachung eines Rotationsellipsoids.

Weiter steht in der Gravimetrie das Spheroid für die mathematische Beschreibung der Erdform durch Radius und geographische Breite, in der Erdmasse und -volumen in Schichten konstanter Dichte unterhalb der mittleren Meereshöhe verteilt sind. Das Gravitationspotential auf diesem Spheroid muß der Laplacegleichung genügen. Dies ist erfüllt, da die mittlere Meeresoberfläche selbst eine zeitlich konstante Äquipotentialfläche beschreibt. Ein bestimmtes Spheroid, per Konvention als Erdmodell für vergleichende Studien bestimmt, wird Referenzspheroid genannt. Die Schwere auf dem Referenzspheroid ist definiert zur Normalschwere.

Das Geoid ist die mathematisch exakteste Beschreibung der Erdform. Das Referenzspheroid approximiert das Geoid, berücksichtigt jedoch keine Landerhebungen oder Senken jenseits der mittleren Meereshöhe, wie im Geoid enthalten.

3.1.3.1 Ellipsoid

Die Form des Ellipsoids ist vollständig beschrieben durch die Abflachung f beziehungsweise die Elliptizität e :

$$f = \frac{(r_a - r_b)}{r_a} \quad \text{und} \quad e = \frac{(r_a^2 - r_b^2)}{r_a^2}$$

mit r_a = große Halbachse und r_b = kleine Halbachse.

Aus der Beobachtung von Satellitenbahnen läßt sich die Abflachung der Erde bestimmen zu (TORGE, 1989):

$$\begin{array}{ll} f = 1:298.247 & \text{im Modell ISGN71 und} \\ f = 1:298.257 & \text{im Modell GRS80.} \end{array}$$

Die genannten Modelle werden im weiteren noch erörtert.

3.1.3.2 Spheroid

Das Spheroid wird in erster Näherung beschrieben durch ein Rotationsellipsoid. Für das Potential der Erdanziehung P_V muß die Laplacegleichung erfüllt sein, hier nach DEHLINGER (1978) in sphärischen Koordinaten:

$$\text{grad}^2 P_V = \frac{\delta^2 P_V}{\delta^2 r} + \frac{2\delta P_V}{r dr} + \frac{1}{r^2 \sin\phi} \frac{\delta}{\delta\phi} \left(\sin\phi \frac{\delta}{P_V \delta\phi} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2\phi} \left(\frac{\delta^2 P_V}{\delta\lambda^2} \right) = 0 .$$

Da im Rotationsellipsoid keine Variationen mit λ laufen, fällt der letzte Term des Ausdrucks weg:

$$\text{grad}^2 P_V = \frac{\delta^2 P_V}{\delta^2 r} + \frac{2\delta P_V}{r dr} + \frac{1}{r^2 \sin\phi} \frac{\delta}{\delta\phi} \left(\sin\phi \frac{\delta P_V}{\delta\phi} \right) = 0 .$$

Die Lösungen dieser Gleichung reduzieren sich damit auf die zonalen Harmonischen der Kugelfunktionen, also Summen Legendrescher Polynome mit Koeffizienten in Abhängigkeit vom radialen Abstand:

$$P_V = \frac{1}{r} \sum_{l=0}^{\infty} C_l \left(\frac{a}{r} \right)^l P_l(\cos\phi) .$$

Darin sind C_l konstante Koeffizienten, die die Massenverteilung innerhalb des Spheroids beschreiben und $P_l(\cos\phi)$ die Legendreschen Polynome:

$$P_l(\cos\phi) = \frac{1}{2^l l!} \frac{d^l (\cos^2\phi - 1)^l}{d(\cos\phi)^l}$$

Die Koeffizienten C_l ergeben sich zu:

$$C_l = \frac{1}{M_e} \int_M \frac{r_l}{a} P_l(\cos\psi) dM .$$

Auf diesem Weg bestimmt sich das Normalschwerepotential zu:

$$P_{Vn} = G \frac{M_e}{r_e} \left(1 + \sum_{l=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r_e} \right)^l C_l P_l(\cos\psi) \right) + \frac{\omega^2}{2} r^2 \sin^2\psi$$

mit $g_n = \text{grad } P_{Vn}$

und man erhält für die Erdform durch einfache Umformung:

$$r_e = G \frac{M_e}{P_{Vn}} \left(1 + \sum_{l=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r_e} \right)^l C_l P_l(\cos v) \right) + \frac{\omega^2}{2} r^2 \sin^2 v .$$

Entwickelt man das Normalschwerepotential bis zum dritten Grad und drückt es in Abhängigkeit von geographischer Breite und Erdradius aus, erhält man als allgemeine Form der Normalschwereformel:

$$g_n = g_{equ} (1 + f_g \sin^2 \phi - f_g' \sin^2 2\phi) .$$

Das Clairautsche Theorem setzt die Zentrifugalkraft und die gravimetrische Abflachung f_g in ein festes Verhältnis zur geometrischen Abflachung des Ellipsoids. Dementsprechend lassen sich die Koeffizienten f_g, f_g' nach TORGE (1989) bestimmen zu:

$$f_g = \frac{g_{pol} - g_{equ}}{g_{equ}} \quad \text{und} \quad f_g' = -\frac{1}{8} f_g^2 + \frac{5}{8} f_g \left(\frac{\omega^2 r_a}{g_{equ}} \right) .$$

Daraus leiten sich die numerischen Modellformeln ab:

Geodetic Reference System 1967 (INT. ASS. GEOD. 1971):

$$e = 1:298.247$$

$$g_n = 978031.85 (1 + 0.0053024 \sin^2 \phi - 0.00000587 \sin^2 2\phi)$$

Geodetic Reference System 1980 (MORITZ, 1984):

$$e = 1:298.257$$

$$g_n = 978032.7 (1 + 0.0053024 \sin^2 \phi - 0.0000058 \sin^2 2\phi)$$

In modifizierter Herleitung läßt sich das derzeit aktuellste Spheroid, das WGS84, berechnen zu:

World Geodetic System 1984, (KUMAR, 1988):

$$g_n = 978032.67714 \frac{1 + 0.00193185138639 \sin^2 \phi}{\sqrt{1 - 0.00669437999013 \sin^2 \phi}}$$

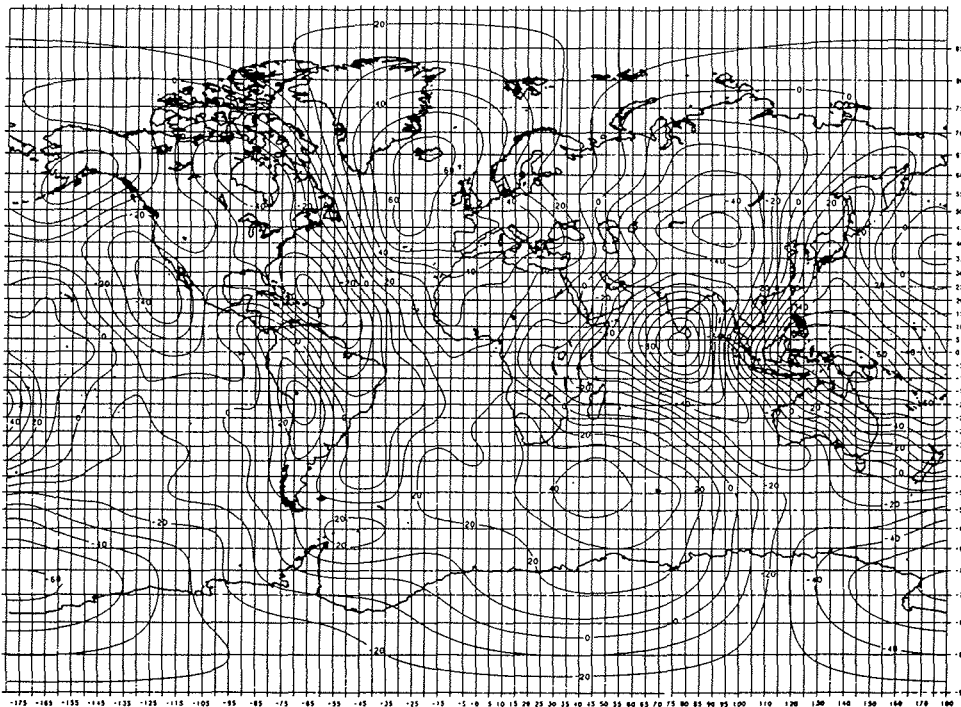
Im Rahmen dieser Arbeit wird das Geodetic Reference System 1967 (ISGN71) benutzt, das für die meisten schon vorliegenden Datensätze in der marinen Gravimetrie aus Polargebieten Verwendung fand und so schnelle, direkte Vergleiche ermöglichte.

3.1.3.3 Geoid

Wie alle Geopotentialflächen resultiert das Geoid aus der Massenverteilung innerhalb der Erde. Wäre diese Massenverteilung bekannt, so könnte durch Integration direkt das Geoid bestimmt werden. Das Gravitationspotential wurde nach DEHLINGER (1978) bestimmt zu:

$$W = G \int \frac{dM}{r} + \frac{1}{2} \omega^2 r_0^2 \cos^2 \phi.$$

Da eben diese Gleichung wegen der unbekanntenen Massenverteilung nicht global integriert werden kann, ist das Geoid definiert über ein Referenzspheroid, dem Undulationen überlagert sind. Oberhalb einer so definierten Oberfläche müssen die Potentiale V und W der Laplacegleichung genügen, unterhalb der Oberfläche der Poissongleichung. Die Geoid Undulationen werden aus über Satelliten gemessenen Geoidhöhen und Schwereanomalien bestimmt und stetig verbessert. Im Gegensatz zur Äquipotentialfläche des Spheroids ist die des Geoids unregelmäßig und rauh.



**Abb. 3.2: WGS 84 Geoid (entwickelt bis zum Grad 18) nach KUMAR (1988)
Einheit der Zahlenwerte in m**

3.1.4 Korrekturen, Reduktionen, Anomalien

Als Korrekturen werden im folgenden bezeichnet alle direkten Manipulationen der gemessenen Schwere durch einfache algebraische Funktionen wie Addition, Subtraktion und Multiplikation, die weder das Bezugsniveau noch die allgemeine Aussage des Schwerewertes verändern und nur der Verbesserung der Genauigkeit dienen.

Als Reduktionen werden alle Operationen bezeichnet, die Schweredaten auf ein neues Bezugsniveau projizieren. Die Reduktionen werden stets an den korrigierten Daten ausgeführt. Die verwendeten Bezugsniveaus sind per Konvention zu Vergleichszwecken bestimmt.

Als Anomalien werden die korrigierten Schweredaten nach Subtraktion eines definierten Bezugsniveaus bezeichnet. Im allgemeinen Fall wird als Schwereanomalie die Differenz zwischen der Schwere auf dem Geoid und auf dem Referenzspheroid definiert. Sie gibt allein die Abweichungen von diesem Bezugsniveau an.

3.1.4.1 Eötvöskorrektur

Es müssen bei bewegten Gravimeterplattformen im wesentlichen drei äußere Beschleunigungsformen korrigiert oder kompensiert werden (DEHLINGER, 1978): die Vertikal- und Horizontalbeschleunigungen durch die Bewegung der Plattform, das Übersprechverhalten der Gegensteuerung zur Schiffsbewegung in den Komponenten und den Eötvöseffekt, verursacht durch den Einfluß der Schiffsbewegung auf die wirkende Zentripetalbeschleunigung.

Im Fall des zumeist benutzten KSS 31 Gravimeters werden die Vertikal- und Horizontalbeschleunigungen über Kreisel gemessen und über eine Gegenkopplung kompensiert. Da das eigentliche Meßinstrument, eine Feder, stets senkrecht gehalten wird, findet ein Überkoppeln der Komponenten unterhalb der Meßgenauigkeit statt.

Die Eötvöskorrektur G_e wird algebraisch zum Meßwert des bewegten Gravimeters addiert und ergibt so den korrespondierenden stationären Gravimeterwert.

Die Zentripetalbeschleunigung a_E in östlicher Richtung wirkt entgegen dem Effekt der Erdrotation:

$$a_E = \frac{v_\phi^2}{r_e \cos \phi} \quad \text{mit der Vertikalkomponente} \quad (a_E)_v = \frac{v_\phi^2}{r_e}.$$

Die Zentripetalbeschleunigung eines Schiffes mit der Geschwindigkeit v_E in östlicher Richtung und deren Vertikalkomponente ist:

$$(a_E + \Delta a_E) = \frac{(v_\phi + v_E)^2}{r_e \cos \phi} \quad \text{mit} \quad (a_E + \Delta a_E)_v = \frac{(v_\phi + v_E)^2}{r_e}.$$

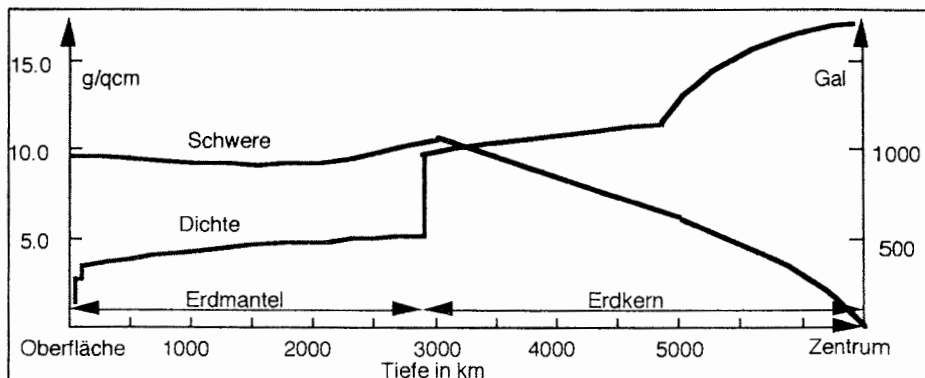


Abb. 3.3: Dichte und Schwere im Erdinneren nach TSUBOI (1981)

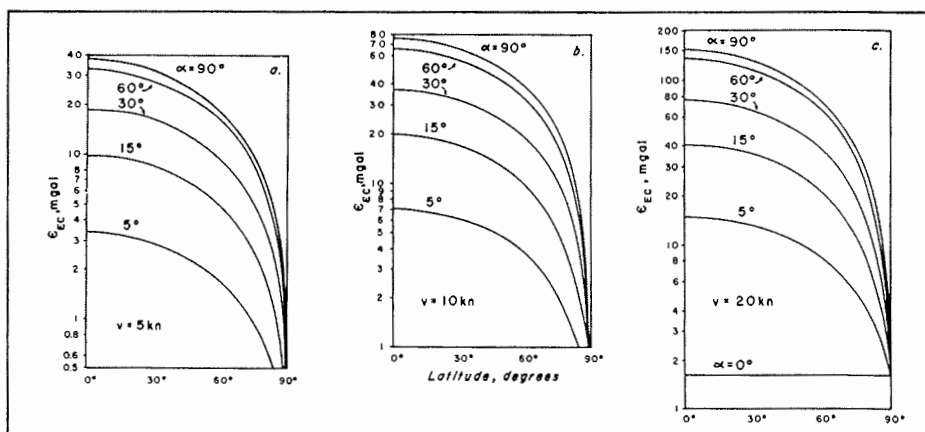


Abb. 3.4: Variation der Eötvöskorrektur als Funktion von Geschwindigkeit und geographischer Breite nach DEHLINGER (1978)

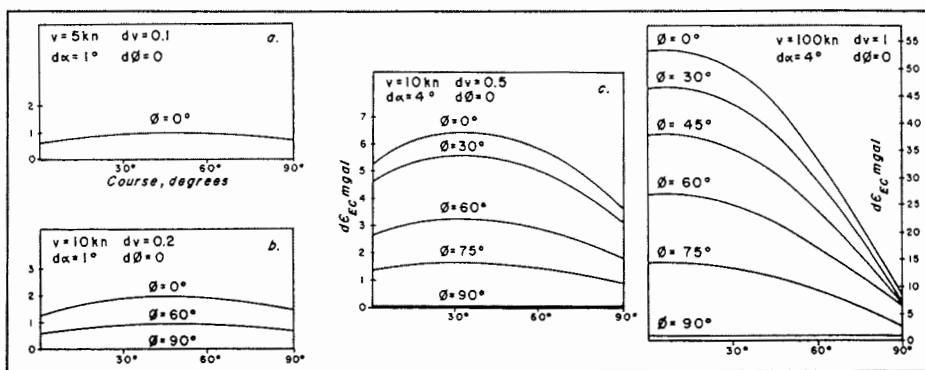


Abb. 3.5: Variation des Fehlers der Eötvöskorrektur für Fehler in Geschwindigkeit und Kurs nach DEHLINGER (1978)

Analoges gilt für die Nordrichtung, so daß sich zusammenfassend ergibt:

$$(a_E + \Delta a_E + \Delta a_N)_v = \frac{v_\phi^2 + 2v_\phi v_E + v_S^2}{r_e} \text{ mit } v_S^2 = v_E^2 + v_N^2.$$

Damit ist die Eötvöskorrektur G_e definiert als:

$$G_e = \frac{2v_\phi v_E + v_S^2}{r_e}.$$

Substituiert man $v_\phi = r\omega \cdot \cos\phi$, $v_E = v_S \cdot \sin A_{z_S}$ und gibt v_S in Knoten an, vereinfacht sich die obige Formel für die allgemeine Anwendung zu:

$$G_e = 7.503v_S \cos\phi \sin A_{z_S} + 0.004v_S^2.$$

Daraus folgt ein Maximum für den Betrag der Eötvöskorrektur am Äquator und ein Minimum im Bereich der Pole. Sie wird in östlicher Richtung addiert und in westlicher Richtung subtrahiert (Abb. 3.4).

Ein Fehler in der Bestimmung von A_S in Nord-Süd-Richtung um 1° in mittleren Breiten bei $v_S = 10$ kts verursacht einen Eötvös Fehler von 1 mGal. Die gleiche Fehlergrößenordnung wird erreicht in mittleren Breiten bei einer Fehlbestimmung von v_S um 0.2 kts in Ost-West-Richtung bei v_S um 10 kts. Hieraus läßt sich ersehen, welche Genauigkeiten in der Navigation gefordert sind, um vernünftige Eötvöskorrekturen anzubringen. Bei großen Ungenauigkeiten in der Navigation kann der Schaden bei Anwendung der Eötvöskorrektur größer sein als der Nutzen (Abb. 3.5).

3.1.4.2 Freiluftreduktion

Die Freiluftreduktion reduziert die in einer Höhe h beobachteten Schwerewerte auf die äquivalenten Schwerewerte auf mittlerer Meereshöhe, wobei topographische Massenerhebungen bis auf den Meeresspiegel abgesenkt aber nicht beseitigt werden. Diese Reduktion bedeutet also die Differenz der Schwere auf dem Geoid und in einer Höhe h über oder unter dem Geoid.

Es kann mit ausreichender Genauigkeit der mittlere Meeresspiegel auf einer sphärischen Erde formuliert werden als:

$$g_0 = G \frac{M_e}{r_e^2} \quad \text{und entsprechend} \quad g_h = G \frac{M_e}{(r_e + h)^2}$$

für die äquivalente Schwere in der Höhe h . Umgeschrieben zur Potenzreihenentwicklung:

$$g_h = G \frac{M_e}{r_e^2} \frac{r_e^2}{(r_e + h)^2} = g_0 \left(1 - 2\left(\frac{h}{r_e}\right) + 3\left(\frac{h}{r_e}\right)^2 + \dots \right)$$

leitet sich daraus die Freiluftreduktion ab zu:

$$G_f = (g_0 - g_h) = 2g_m \left(\frac{h}{r_e}\right) \left(1 + \frac{3}{2} \left(\frac{h}{r_e}\right) + \dots\right).$$

Daraus ergibt sich die im allgemeinen angewandte Freiluftreduktionsformel:

$$G_f = 0.3086h - 0.000000073h^2$$

Für noch genauere Reduktionen geben HEISKANEN UND MEINESZ (1958) eine Reduktionsformel an, die auch die Breitenabhängigkeit berücksichtigt:

$$G_f = (0.30877 - 0.00044 \sin^2\phi)h - 0.000000073h^2.$$

Da sich bei marinen Messungen das Schiff stets auf Meeresniveau befindet, wäre hier die Höhe des Gravimeters (über den Tiefgang des Schiffes) zu korrigieren, der Einfluß der Meeresgezeiten sowie der Seegang. Da jedoch normalerweise bis auf den Tiefgang alle anderen Größen nicht mit ausreichender Genauigkeit bekannt sind, wird im weiteren die Schiffsmessung als Freiluftgröße auf Meeresniveau betrachtet, der hierbei entstehende Fehler kann mit < 1 mGal abgeschätzt werden.

3.1.4.3 Freiluftanomalie

Jede gravimetrische Anomalie läßt sich wie folgt darstellen:

$$\Delta g_a = (c_1 g_{obs} + \sum_m r_m + \sum_n c_n) - g_n$$

mit r_m für alle Reduktionen und c_1 , c_n für alle angebrachten Korrekturen, sowie der Normalschwere g_n .

Nach dieser Form läßt sich die Freiluftanomalie definieren als:

$$\Delta g_{fa} = (c_1 g_{obs} + G_f + \sum_n c_n) - g_n.$$

Für das hier zumeist benutzte und in Höhe der mittleren Wasserlinie installierten KSS 31 Gravimeter heißt das:

$$\Delta g_{fa} = (0.8969 g_u + c_{offset}) - g_n$$

mit dem gerätespezifischen Skalierungsfaktor, einer Offsetkorrektur zur Anpassung an andere Expeditionen und der Formel für die Normalschwere nach dem Geodetic Reference System ISGN71:

$$e = 1:298.247$$

$$g_n = 978032.7 (1 + 0.0053024\sin^2\phi - 0.0000057\sin^22\phi).$$

3.1.4.4 Bouguerreduktion

Die gemessene Schwere nimmt zu mit dem Hinzufügen von Massen zwischen der Meßhöhe h und einem Referenzniveau, im allgemeinen dem mittleren Meeresspiegel. Die Vertikalkomponente der Schwere, verursacht durch die Massen oberhalb des Referenzniveaus ist gleich der Bouguerreduktion. Sie wird vom beobachteten Schwerewert subtrahiert. Die Größenordnung der Bouguerreduktion entspricht im allgemeinen etwa einem Drittel der Freiluftreduktion.

Die Massenverteilung und damit auch der Reduktionswert sind in der Hauptsache bestimmt durch Dichte und Topographie. Je nach Kenntnis dieser Parameter sind drei verschiedene Arten der Bouguerreduktion sinnvoll anzuwenden:

die einfache Bouguerreduktion (Plattenreduktion), in der die Masse oberhalb des Referenzniveaus als unendlich ausgedehnte Platte homogener Dichte angenommen wird, die terrainkorrelierte Bouguerreduktion, in der die Oberfläche der Platte das umgebende Terrain widerspiegelt durch Segmente homogener Dichte, die erweiterte Bouguerreduktion, in der die Oberfläche der Platte neben dem umgebenden Terrain auch die Erdkrümmung berücksichtigt, auch hier bei homogener Dichteverteilung innerhalb der Segmente.

Die einfache Bouguerreduktion für eine zylindrische Platte um den Meßpunkt zwischen h und dem Referenzniveau ergibt sich bei Verwendung von Zylinderkoordinaten zu:

$$G_b = G \rho \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{zr \, dr \, dz \, d\varphi}{(r^2 + z^2)^{2/3}} = 2\pi G \rho h$$

Für die terrainkorrelierte Bouguerreduktion ergibt sich für ein Segment des Zylinders:

$$\Delta G_t = G \rho \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \int_0^{\Delta h} \int_{r_1}^{r_2} \frac{zr \, dr \, dz \, d\varphi}{(r^2 + z^2)^{2/3}}$$

und damit insgesamt $G_{bt} = G_b - G_t$ mit $G_t = \sum \Delta G_t$.

Die erweiterte Bouguerreduktion enthält einen weiteren Term G_s , der die Erdkrümmung berücksichtigt, im einfachsten Fall eine Kugelform, bei genauerer Reduktion das Referenzspheroid: $G_{bts} = G_b - G_t - G_s$.

In der angewandten marinen Gravimetrie sind die Bedingungen für eine solche punktweise Korrektur nur für Gebiete erfüllt, die in engen Matratzen abgefahren wurden. Im Normalfall liegt nur ein Profil vor, die Zylindersymmetrie ist nicht mehr erfüllbar. Statt dessen wird eine Platte mit einer Oberflächenwelligkeit entsprechend der Bathymetrie des Profils angenommen. Ist das Referenzniveau die Meeresoberfläche, kehrt sich die Problemstellung der Landgravimetrie um: die Wassersäule oberhalb der bathymetrischen Tiefe wird mit einer konstanten Dichte aufgefüllt, um eine terrainkorrelierte Bouguerreduktion zu erreichen. Die verwendete Dichte ergibt sich im Normalfall als die mittlere Dichte der obersten Meeresbodenschicht. Für den Fall rauher Meeresbodentopographie kann hier die Größenordnung der Bouguerreduktion die der Freiluftreduktion im gleichen Gebiet sogar überschreiten.

3.1.4.5 Bougueranomalie

Die Bougueranomalie definiert sich ganz analog zur Freiluftanomalie wie folgt:

$$\Delta g_{ba} = (c_1 g_{obs} + G_f - G_b + \sum_n c_n) - g_n.$$

Nimmt man die gemessene Schwere als vollständig korrigiert an, so läßt sie sich weiter vereinfachen zu:

$$\Delta g_{ba} = (g_{obs} + \frac{2g_m h}{r_e} - 2\pi G \rho h) - g_n$$

oder wie im weiteren verwendet zu:

$$\Delta g_{ba} = g_{obs} + (0.3086 - 0.0419\rho)h - g_n.$$

3.1.5 Erdgezeiten

Erdgezeiten sind Deformationen der festen Erde durch die Anziehungskraft von Sonne und Mond. Da Erde und Mond sich in gleichmäßigen Bahnen um die Sonne bewegen, treten periodische Kräfte auf. Die Periodenlänge der Kräftevariation (> 12h) läßt bei den vorliegenden rheologischen Parametern der festen Erde eine dynamische aber phasenverschobene Gleichgewichtsreaktion in Form von Oszillationen zu, jedoch keine Resonanzen. Innerhalb der festen Erde darf man annehmen, daß die Partikel starr untereinander verbunden sind und erst bei Wirkung äußerer Kräfte kleine Verschiebungen zwischen ihnen auftreten, die mit einer gewissen Zeitverzögerung den Gleichgewichtszustand wiederherstellen. Anders ist es im Fall der Meeresgezeiten, hier sind die Partikel zwar gegeneinander frei verschiebbar aber insgesamt inkompressibel. Als Folge davon werden die Wassermassen über lange Strecken bewegt und unterliegen aufgrund ihrer Trägheit Oszillationen. Eine ausführliche Darstellung findet sich in TEISSEYRE (1989). In der statischen Theorie der Erdgezeiten dürfen alle auftretenden Massen, wegen ihres großen Abstands voneinander als Punktmassen angesehen werden.

Nach dem Gravitationsgesetz berechnet sich der Einfluß der Anziehung des Mondes auf einem Punkt P auf der Erdoberfläche in der Vertikal- und Horizontalkomponente nach LONGMAN (1959) zu:

$$(g_m)_{P,v} = - G M_m \frac{\cos u'}{d_{em}'^2} \quad \text{und} \quad (g_m)_{P,h} = - G M_m \frac{\sin u'}{d_{em}'^2}.$$

Entsprechend gilt für den Erdmittelpunkt O:

$$(g_m)_{O,v} = - G M_m \frac{\cos u}{d_{em}^2} \quad \text{und} \quad (g_m)_{O,h} = - G M_m \frac{\sin u}{d_{em}^2}.$$

Die Vertikalkomponente der Gezeitenbeschleunigung durch den Mond ist definiert als:

$$(\Delta g_m)_v = (g_m)_{P,v} - (g_m)_{O,v} = - G M_m \left(\frac{\cos u'}{d_{em}'^2} - \frac{\cos u}{d_{em}^2} \right).$$

Völlig analog dazu läßt sich die Gezeitenbeschleunigung durch die Sonne beschreiben.

Es ergeben sich als maximale Variationen der Gezeitenvariation der Erdschwere:

$$\begin{aligned} (\Delta g_m)_{v,max} &= -0.1097 \text{ mGal} \\ (\Delta g_m)_{v,min} &= +0.0548 \text{ mGal} \text{ als Einfluß des Mondes und} \\ (\Delta g_s)_{v,max} &= -0.0505 \text{ mGal} \\ (\Delta g_s)_{v,min} &= +0.0253 \text{ mGal} \text{ als Einfluß der Sonne.} \end{aligned}$$

Da die Genauigkeit der marinen Gravimetermessungen insgesamt keinesfalls besser als 1 mGal ist, kann damit im Rahmen dieser Arbeit auf eine Gezeitenkorrektur verzichtet werden.

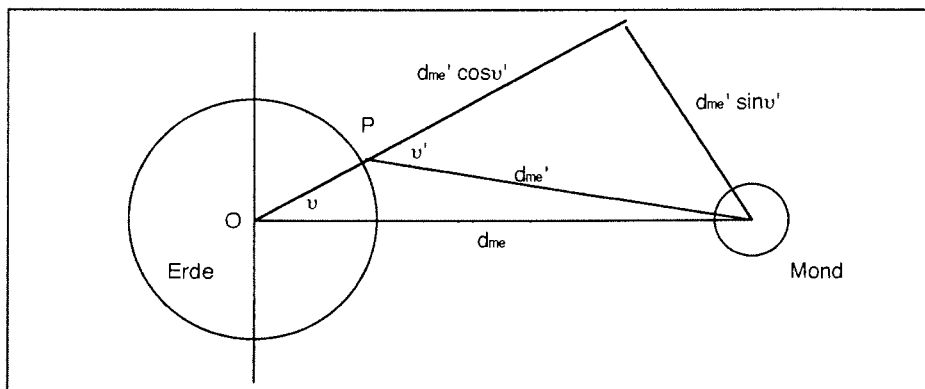


Abb. 3.6: Geometrie des Erde-Mond Systems

3.1.6 Modellierung

Für großflächige Modellierungen, wie sie für ausgedehnte Meßgebiete sinnvoll sind, wurde das Programmpaket IGMAS (SCHMIDT UND GÖTZE , 1993) benutzt. Es wurde entwickelt an der FU Berlin im Fachbereich Geophysik und steht seit etwa einem Jahr auch auf UNIX Workstations im Alfred-Wegener-Institut zur Verfügung.

Der Algorithmus zur Berechnung des Gravitationsfeldes eines dreidimensionalen, ungleichmäßig aufgebauten Polyeders von homogener Dichte wurde entwickelt von GÖTZE, 1978, und implementiert in ein Programmpaket in Fortran von GÖTZE UND LAHMEYER, 1988. Die grundlegende Idee ist die Transformation eines Volumenintegrals zur Beschreibung eines Potentialfeldes in ein Flächenintegral. Für den Fall eines aus ebenen Dreiecken zusammengesetzten Polyeders, kann ein komplexes Oberflächenintegral durch die Summe der einzelnen Flächenintegrale mit jeweils konstantem Normalvektor ausgedrückt werden. Als nächstes wird das Flächenintegral zurückgeführt auf ein lineares Integral entlang eines Polygons, das in dieser Anwendung ausschließlich eine einfache Dreiecksfläche begrenzt. Die Beschränkung auf einfache Polygone erlaubt die weitere Zerlegung des linearen Integrals in die Summe der Linienintegrale über alle Grenzflächen des Modells. Mit diesem Schritt wird eine interaktive Modellierung von Magnet- und Gravitationsfeldern programmtechnisch faßbar.

Das Grundmodell wird definiert auf parallelen Profilen (mindestens drei) und deren zweidimensionalen Modellschnitten. Der verbindende Triangulationsalgorithmus ist beschrieben in RENKA (1984). Zur Berechnung der Schwere über einem Profil werden die Beiträge aller Flächen berechnet, die das Profil schneiden. Für die Berechnung einer zweidimensionalen Darstellung des Schwerefeldes über die Profiloberflächen werden die Beiträge der Dreiecksflächen linear interpoliert. Da IGMAS nur Schwerewerte an den Orten der eingegebenen Beobachtungspunkte berechnet, hängt die Homogenität des Resultats der Modellrechnung ab von der Verteilung der tatsächlichen Meßpunkte. Wenn zwar ein dichtes Netz an Beobachtungspunkten existiert, diese aber nur auf irregulären Linien, besteht das Problem, daß weder parallele Profile noch eine homogene Punkteverteilung aus den Originaldaten gewonnen werden kann, ohne die räumliche Auflösung stark zu vermindern. Deshalb ist in solchen Fällen geboten, aus den Originaldaten ein regelmäßiges Gitter zu berechnen, das der räumlichen Auflösung entspricht, und dieses Gitter als Grundlage der Modellierung zu verwenden.

3.2 Marine Magnetik

3.2.1 Vorbemerkungen

Neben der Eingangs erwähnten Bedeutung der Magnetik in den Geowissenschaften ist bemerkenswert, daß die erste geschlossene wissenschaftliche Abhandlung überhaupt eben über den Erdmagnetismus geschrieben wurde. Im Jahre 1600 veröffentlichte WILLIAM GILBERT das Werk *De Magnete*. Hierin beschrieb er die augenfälligsten Eigenschaften des Erdmagnetismus und untersuchte deren Ursachen. Über Gauss, Chapman und Bartels bis heute sind wesentliche neue Aspekte des Erdmagnetismus entdeckt worden, die weit über die anfängliche Dipoltherie hinausgehen, und noch ist kein Ende dieser stürmischen Entwicklung abzusehen. Mittlerweile ist die Geomagnetik, wie im folgenden besprochen, eines der klassischen Teilgebiete des weitaus umfangreicheren Gesamtgebietes geworden.

3.2.1.1 Physikalische Größen

Nach dem Système International d'Unités (SI) ist die Einheit der magnetischen Flußdichte Tesla [T] und die Einheit des Gradienten [Tm^{-1}]. Die Einheit ist benannt nach dem amerikanischen Physiker Nikola Tesla (1856 - 1943). In der Geophysik wie auch in dieser Arbeit wird die Hilfeinheit $1 \text{ nT} = 10^{-9} \text{ T}$ verwendet. Alle weiteren vorkommenden Größen sind, falls nicht explizit im Text erläutert, im Anhang dokumentiert.

3.2.1.2 Anwendungen und Größenordnungen

Es soll hier nur der Fall des Erdmagnetfeldes in Oberflächennähe behandelt werden. Als globaler Wert für das Erdmagnetfeld darf vereinfacht angenommen werden: 48000 nT.

Die Magnetfeldmessung an der Erdoberfläche enthält Information über den Ort der Messung (Geodäsie, Navigation), über die Verteilung der Leitfähigkeit im Untergrund (Geophysik der festen Erde) und der oberen Atmosphäre und Magnetosphäre (Ionosphärenphysik, Plasmaphysik). Im Gegensatz zur Gravimetrie ist das Variationsspektrum der Magnetik wesentlich größer. Magnetische Stürme können starke Variationen bis zu 1000 nT hervorrufen, die üblichen Tagesvariationen bewegen sich in Variationen um 10 bis 100 nT in mittleren Breiten. Die Häufigkeit und Intensität der Störungen ist unter anderem abhängig von der Sonnenaktivität, jahreszeitlichen Schwankungen und der geographischen Breite. Magnetfeldanomalien fester Strukturen im Untergrund können ebenfalls die Größenordnung von 1000 nT erreichen, liegen im Normalfall aber ein bis zwei Größenordnungen darunter. Für fein aufgelöste geologische Strukturuntersuchungen ist eine Meßgenauigkeit von 1 nT anzustreben.

3.2.1.3 Koordinatensysteme

Zur Darstellung des an der Erdoberfläche gemessenen Magnetfeldes zerlegt man den Feldvektor in die Komponenten eines rechtwinkligen kartesischen Koordinatensystems:

x = Nordkomponente, y = Ostkomponente, z = Vertikalintensität.

Die Vertikalintensität weist dabei positiv nach unten.

In Zylinderkoordinaten gilt:

H = Horizontalintensität, D = Deklination, Z = Vertikalintensität,

wobei Z gleich der Zylinderachse ist. In Kugelkoordinaten gilt:

F = Totalintensität, I = Inklination, D = Deklination.

Dabei gelten folgende Beziehungen:

$$\begin{aligned}
 H &= F \sin I & x &= H \cos D & D &= \frac{1}{\tan \frac{y}{x}} \\
 I &= \frac{1}{\tan \frac{z}{H}} & y &= H \sin D & Z &= F \cos I \\
 F^2 &= H^2 + Z^2 & H^2 &= x^2 + y^2 & F &= x^2 + y^2 + z^2.
 \end{aligned}$$

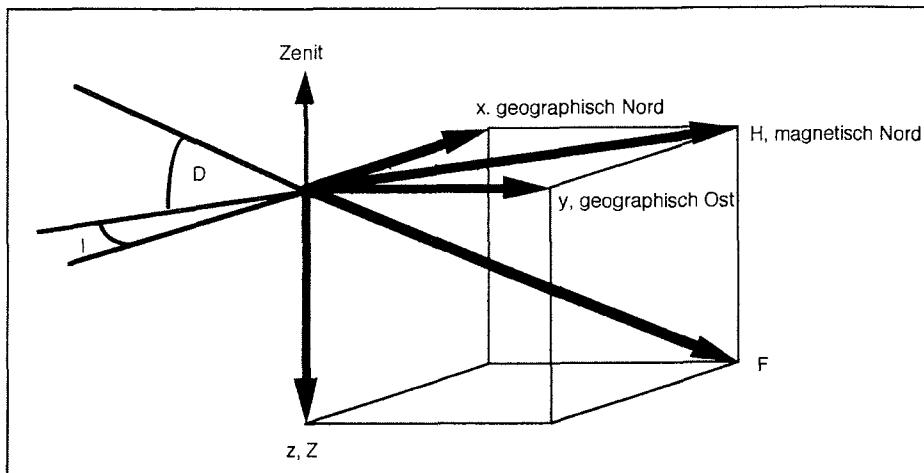


Abb. 3.7: Geomagnetisches Koordinatensystem

3.2.2 Erdmagnetisches Hauptfeld

Wie für die Gravimetrie kann auch für die Geomagnetik ein Referenzfeld über eine Potentialfeldentwicklung in sphärischen Harmonischen definiert werden. Der wesentliche Unterschied zum gravimetrischen Referenzfeld ist jedoch die zeitliche Feldvariation: Während die Rotationsachse der Erde sich in ihrer Lage über Zeiträume ändert, die im Rahmen des Referenzfeldes vernachlässigbar sind, ändert sich die Dipolachse des Erdmagnetfeldes, damit der Hauptdipol und dessen superponierte Multipole so schnell, daß nur ein Vorhersagemodell (IGRF) über fünf Jahre mit genügender Genauigkeit entwickelt werden kann. Erst im nachhinein lassen sich feste Jahres-Referenzmodelle (DGRF) größerer Genauigkeit erstellen. Die allgemeine Darstellung des geomagnetischen Hauptfeldes und seiner Säkularvariation innerhalb eines IGRF hat die Form (LANGEL, 1987):

$$V = a \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n \left(\frac{r_e}{r}\right)^{n+1} (g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi) P_n^m(\cos\theta) .$$

Aus praktischen Gründen wurde von der IAGA Kommission beschlossen $N = 10$ als obere Schranke zu definieren, unter anderem um die Konsistenz innerhalb der Serie der IGRF zu gewährleisten. Eine ausführliche Herleitung findet sich bei BARRACLOUGH (1987).

3.2.3 Krustenfeld

Wie bereits eingangs erwähnt, ist der Begriff des Krustenfeldes nicht völlig korrekt. Er wird im geophysikalischen Sinne aber gebraucht, um die Herkunft der geomagnetischen Anomalien zu beschreiben, obwohl einige der Quellen auch im oberen Mantel oder seltener, auch oberhalb der unteren Krustengrenze liegen können. Zumeist wird die geomagnetische Kartierung des Krustenfeldes über Anomalienkarten versucht. Bei detaillierter Betrachtung genügt es allerdings nicht, einfach die Magnetfeldanteile aus dem Kern über das Hauptfeld zu separieren. An dieser Stelle muß das zeitlich invariante Spektrum des Erdmagnetfeldes über die sphärischen Harmonischen analysiert werden. Hierzu sei verwiesen auf HARRISON (1987).

3.2.4 Zeitliche Magnetfeldvariationen

Die Quellen der zeitlichen Magnetfeldvariationen sind vielfältig und komplex. Sie hier zu beschreiben, würde den Rahmen der Arbeit sprengen. Es sei an dieser Stelle nur hingewiesen auf einige Übersichten. Die inneren Quellen werden beschrieben mit Hilfe der Dynamotheorie bei BUSSE (1988) und SZETO (1988), alternativ dazu mit Mitteln der Chaostheorie bei TRITTON (1989). Äußere Quellen werden allgemein beschrieben mit Ansätzen der Plasmaphysik bei BAUMJOHANN (1986) und ausführlich bei NISHIDA (1978).

3.2.5 Korrekturen, Reduktionen, Anomalien

Die Definitionen von Korrekturen, Reduktionen und Anomalien bleiben gegenüber denen der Gravimetrie unverändert. Eine allgemeine Fallstudie zu dieser Thematik gibt ROESER (1993).

3.2.5.1 Korrektur des Schiffseinflusses

Ausgehend davon, daß die Messung der Totalintensität keinem systematischen Fehler > 1 nT des Meßinstrumentes selbst unterliegt, ist nur die Korrektur des Magnetfeldes des Schiffes am Ort des Sensors notwendig.

Die Magnetisierung eines Schiffes kann in einen permanenten Anteil und einen induzierten Anteil gespalten werden. Es wird angenommen, daß der induzierte Anteil eine lineare Funktion der geomagnetischen Feldkomponenten ist, während der permanente Anteil davon unabhängig ist. Damit wird der Einfluß des Schiffes auf eine nahe gelegene Magnetfeldmessung beschrieben durch einen richtungsunabhängigen Term und mehreren richtungsabhängigen Kosinus- und Sinus-Termen. Zur vollständigen Entwicklung sei auf BULLARD, 1960, verwiesen.

Um quantitative Aussagen über den Einfluß des Schiffes machen zu können, müssen die Koeffizienten der beschreibenden Terme bestimmt werden. Praktisch bedeutet dies, daß das Schiff alle Richtungen während eines magnetisch ungestörten Zeitraumes über magnetisch homogenem Gebiet (Tiefsee oder mächtige Sedimentbecken) während einer Messung durchfahren muß oder eine Sammlung variationsarmer Meßsegmente ausgewertet werden muß. Aus einer solchen Meßreihe kann dann unter anderem über statistische Methoden der Koeffizientensatz bestimmt werden (LELIAK, 1961). Zwar bietet ein homogener Datensatz, etwa eine volle Kreisfahrt, eine wesentlich genauere Bestimmung der Koeffizienten, bislang aber wurde ein solches Experiment aus Zeitgründen mit FS Polarstern nicht durchgeführt.

3.2.5.2 Reduktion der geomagnetischen Tagesschwankungen

Diese Reduktion erfordert eine räumlich konstante Referenzmessung, die im allgemeinen nicht weiter als 100 km von der Kartierungsmessung entfernt sein sollte. In antarktischen Gewässern ist diese Bedingung nicht erfüllbar, da es kaum Referenzstationen gibt und die zurückgelegten Entfernungen während der Kartierung bis zu einigen hundert Kilometern pro Tag betragen können. Wenn also überhaupt Referenzdaten vorliegen, ist ihre Anwendung zur Reduktion nur beschränkt möglich. Hochfrequente Feldschwankungen im Bereich von Minuten können durchaus Amplituden von mehr als 10 nT erzeugen (JACOBS, 1970), sind aber nur lokal interpretierbar. Je größer die Wellenlänge der Schwankung desto weiträumiger ist ihre Einflusssphäre. Daraus ergibt sich als Konsequenz, daß eine direkte Reduktion um die Tagesvariationen nur in unmittelbarer Nähe der Referenzstation erlaubt ist, während weiter davon entfernte Messungen mit wachsender Distanz stärker tiefpassgefiltert werden müssen. Eine

eindeutige Beziehung zwischen Stationsentfernung und Filterlänge oder eine direkte Übertragungsfunktion kann nicht angegeben werden, da an dieser Stelle auch die Art der Stromsysteme, die geomagnetische Variationen verursachen, von Bedeutung ist (MASLANYI UND DAMASKE, 1986).

Eine Reduktion ist natürlich nur dann notwendig, wenn die Variationen deutliche Amplituden über längere Zeit im Meßbereich erzeugen. Ob dies der Fall ist, kann mit Hilfe der Bartelschen planetarischen Kennziffer K_p entschieden werden. Sie beschreibt die Größenordnung der geomagnetischen Störung im Bereich der Magnetosphäre (BARTELS, 1949 und RANGARAJAN, 1989). Welche Kriterien im einzelnen zur Auswahl eines magnetisch ruhigen Tages bestimmend sind, wird in JOSELYN (1989) diskutiert, die zu solchen Zeiten noch vorhandenen Variationen in CAMPBELL (1989).

3.2.5.3 Reduktion des Hauptfeldes

Das erdmagnetische Hauptfeld kann über einen Zeitraum von 5 Jahren modelliert werden. Für den aktuellen Kartierungszeitraum wird das jeweilige IGRF (International Geomagnetic Reference Field) Modell herangezogen. Zur Bearbeitung oder Re-Interpretation älterer Daten das DGRF (Definitiv Geomagnetic Reference Field) Modell. Während das IGRF Modell ein reines Vorhersagemodell ist, ist das DGRF ein im nachhinein verbessertes Modell. Das Kugelfunktionsmodell für das geomagnetische Hauptfeld läßt sich eindeutig berechnen für eine bestimmte Koordinate in der Nähe der Erdoberfläche und einen bestimmten Zeitpunkt. Die Reduktion um das geomagnetische Hauptfeld ergibt, die Abwesenheit zeitlicher Feldschwankungen vorausgesetzt, die geomagnetische Anomalie.

4 MESSTECHNIK UND DATENAUFNAHME

4.1 Marine Gravimetrie

Die für diese Arbeit herangezogenen gravimetrischen Datensätze wurden vom Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven (AWI), der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover (BGR) und der Universität Bergen, Norwegen, dort innerhalb der Norwegian Antarctic Research Expedition (NARE), unter jeweils unterschiedlichen Bedingungen aufgenommen. Die Qualität der Datensätze variiert in der Hauptsache mit der Zuverlässigkeit und Genauigkeit der eingesetzten Gravimeter und Navigationsinstrumente. Durch die rasche Weiterentwicklung insbesondere in der Navigationsbestimmung und der Plattformstabilisation der Seegravimeter gewinnen die Daten mit jeder neuen Instrumentengeneration sprunghaft an Qualität. Um die Bewertung der Datensätze in der Kartierung der Anomalien und ihrer Interpretation nachvollziehen zu können, folgt eine kurze Behandlung der eingesetzten Gerätetypen und ihrer Leistungsfähigkeit. Da das grundlegende Meßprinzip der Askania / Bodenseewerk Seegravimeter sich seit dem GSS 3 nicht verändert hat, werden diese parallel besprochen. Nur das bei NARE 1985 eingesetzte LaCoste & Romberg Seegravimeter muß getrennt davon diskutiert werden. Genaue Beschreibungen auch der älteren Seegravimeter gibt DEHLINGER (1978). Bei der Beschreibung der Datensätze wird auf diese Abschnitte bezug genommen. Spezielle Eigenarten der Geräte in bezug auf die Daten werden zusammen mit der Datenverarbeitung erörtert.

4.1.1 Hafenschlußmessungen und LaCoste & Romberg Landgravimeter

Alle marinen Gravimetermessungen sind Relativmessungen, die auf einen Absolutpunkt bezogen werden müssen. Die damit notwendigen Anschlußmessungen in den Häfen und die dafür verwendeten Landgravimeter werden im folgenden kurz umrissen.

In den letzten Jahrzehnten wurde das globale Netz von Absolutpunkten stetig erweitert. Besonders Häfen, von denen aus marin-geophysikalische Expeditionen auslaufen, wurden an das internationale Schwerenetz angeschlossen. Zum Landanschluß werden wiederum relativ messende Landgravimeter benutzt, um von einem definierten Punkt in Hafennähe aus, an dem der gravimetrische Absolutwert bestimmt ist, eine Übertragungsmessung möglichst nahe und auf gleicher Höhe zum Seegravimeter vorzunehmen. Die zeitgleichen Meßwerte des bereits aktivierten Seegravimeters und der

Übertragungsmessung an Land werden verglichen und die Differenz zur Korrektur der marinen Gravimeterdaten herangezogen.

Spezifikation L&R Model G	Daten, Beschreibung
Meßbereich:	weltweit 7000 mGal,
Auflösung:	bis zu 0,01 mGal,
Drift:	~ 1 mGal pro Monat bei neuwertigen Geräten, < 0,5 mGal pro Monat bei gealterten Geräten
Schutzmaßnahmen:	druck-kompensiertes Gehäuse, thermostatisierte, konstante Innentemperatur, vollständig abgefedertes Innengehäuse

Tab. 4.1: Spezifikation eines LaCoste & Romberg Gravimeters (Modell G)

Der Hafenananschluß ist aus einer Reihe von Gründen notwendig:

- * Die Gravimeterwerte, die während mariner Expeditionen gewonnen werden, müssen auf das internationale Schwerenetz (ISGN) bezogen werden, um mit ihnen globale, geodätische Berechnungen anstellen zu können.
- * Alle marinen Gravimetermessungen müssen auf gleicher Basis angepaßt werden, um Vergleiche zwischen verschiedenen Expeditionen mit unterschiedlichen Gravimetern zu ermöglichen.
- * Die Gravimetermessungen basieren auf empfindlichen Meßsystemen, die Driften und eventuell Sprünge im Nullniveau enthalten können. Zur Berechnung und Korrektur dieser Fehler sollte bei marinen Expeditionen wenn möglich ca. alle 30 Tage ein Hafenananschluß aufgenommen werden.
- * Die Umrechnungsgrößen für die Skalenwerte der Gravimeter zur Wandlung der Meßwerte in mGal können zwischen zwei Hafenananschlüssen hoher Schweredifferenz überprüft und gegebenenfalls optimiert werden.
- * Die zeitliche Drift des Seegravimeters kann sehr genau bestimmt werden, wenn der gleiche Hafen am Beginn und Ende einer Meßfahrt angelaufen wird.

Zur Übertragungsmessung wird vom Alfred-Wegener-Institut und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe zumeist ein LaCoste & Romberg Landgravimeter benutzt. Es ist weit verbreitet und genügt Meßgenauigkeiten bis zu 0,01 mGal (LACOSTE & ROMBERG, INC.). In einem LaCoste & Romberg Gravimeter wird eine Referenzmasse durch eine mechanische Feder während der Nullstellung in einer horizontalen Lage gehalten. Voraussetzung für Linearität und hohe Auflösung sind eine reibungsfreie Lagerung des Gewichts und eine minimal wirksame Federkonstante. Eine Speziallegierung für das Federmaterial und eine konstante Temperatur im Gravimetergehäuse sorgen dafür, daß die Längenänderung auch bei kleinsten Schwereänderungen noch gut meßbar sind. Es handelt sich damit um einen astasierten Gravimetertyp. Das Gerät verwendet die Nullmethode, in diesem Fall wird also die an die

Feder gekoppelte Masse bei Schwereänderungen in die Horizontale zurückgeführt. Mechanisch geschieht dies durch eine Verschiebung des oberen Federlagers über eine Meßspindel. Die erforderliche Verschiebung wird am Drehknopf der Meßspindel mit einer Skala angezeigt. Die abgelesenen Skalenwerte müssen über eine äquidistant linearisierte Korrekturkurve in eine lineare mGal-Skala umgerechnet werden. Die Korrekturkurve gleicht Nichtlinearitäten des Feder-Masse-Systems aus.

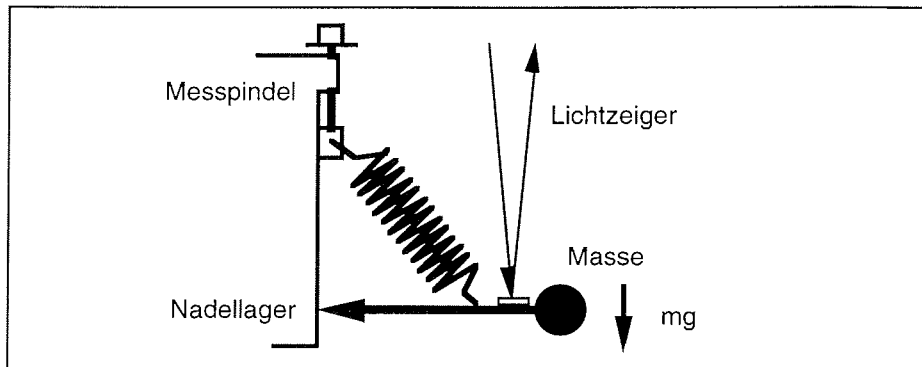


Abb. 4.1: Prinzipieller Aufbau eines LaCoste & Romberg Landgravimeters

4.1.2 KSS 31 Seegravimeter

4.1.2.1 Einführung

Das Gravimeter KSS 31 (Bodenseewerk Gerätetechnik GmbH, 1985) ist ein hochauflösendes Instrument für kontinuierliche Messungen, speziell konstruiert für den Einsatz auf Schiffen oder Flugzeugen. Es findet Anwendung in der Ölexploration und geowissenschaftlichen Untersuchungen. Das Vorgängersystem KSS 30 ist seit 1981 im Einsatz, das überarbeitete System KSS 31 mit einer wesentlich verkleinerten und besser stabilisierten Plattform seit 1984. Beide Systeme gehen auf das gravimetrische Meßprinzip des Seegravimeters GSS 3 der Bodenseewerke zurück. Das Alfred-Wegener-Institut installierte das KSS 31 Gravimetersystem im Juli 1988 auf dem FS Polarstern. Es wird seither bei allen geophysikalischen Expeditionen des Alfred-Wegener-Instituts in die Polargebiete in Betrieb genommen. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe betreibt ein Gravimeter gleichen Typs seit 1984 auf wechselnden Forschungsschiffen, erstmals auf der Antarktis-Expedition ANT-IV/3-4 auf FS Polarstern zusammen mit einem GSS 4 Gravimeter der Bodenseewerke, das seit 1970 bei der BGR im Einsatz war.

Das KSS 31 Gravimeter kann in drei Systemkomponenten untergliedert werden:

- * die kreiselstabilisierte Plattform (GSS 30)
- * der Schweresensor (KT 31) und
- * das Datenverarbeitungssystem (Data Handling Subsystem).

kontinuierlicher, linearer Meßbereich:	Vertikalbeschleunigungen bis zu 200 000 mGal mit Genauigkeiten bis zu 0,1 mGal
Bereich für Einzelmessungen:	bis zu 300 000 mGal
Gesamtmeßbereich:	bis zu 400 000 mGal
Korrekturmöglichkeiten:	Kurs- und Geschwindigkeitsänderungen sowie Plattformdämpfung bei Seegang nach sekundlichem Navigationsprotokoll
direkte Datenausgaben:	Display der Gravimeterkonsole, Drucker, Analogschreiber und Festplatte des Bordrechners

Tab. 4.2: Spezifikation des Seegravimeters KSS 31

4.1.2.2 GSS 30 Schweresensor

Das Gravimeter beinhaltet als Schweredetektor einen nicht astasierten Sensor mit einer gefederten Masse, sowie die elektronische Kontrolleinheit GSS E30 zur Signal-konvertierung und -übertragung an das Datenverarbeitungssystem.

Die Spannungsversorgung des Sensors enthält eine Batterie, die den Sensor 24 Stunden lang auf konstanter Temperatur halten kann, falls ein Spannungsausfall eintreten sollte. Die Bewegung des Sensors ist auf die Vertikalrichtung und damit auf einen Freiheitsgrad beschränkt. Eine konstante Gravitationsbeschleunigung wird durch eine mechanische Feder kompensiert, Schwereänderungen werden über ein elektromagnetisches System aufgenommen.

Das Meßsystem ist axialsymmetrisch aufgebaut und in einer magnetisch geschirmten Kammer konstanter Temperatur und konstanten Drucks installiert. Die Referenzmasse ist ein röhrenförmiges, vertikal gehaltenes Gewicht. Es wird von 5 Fäden geführt, die tangential von der Außenseite des Gewichts in einem Abstand von 120 Grad gespannt sind und eine reibungsfreie Bewegung der Masse in vertikaler Richtung ermöglichen. Diese Fäden werden über zwei mechanische Federn unter Spannung gehalten. Nur eine optimale Fadenpannung gewährleistet eine hohe Systemempfindlichkeit. Bei Horizontalbeschleunigungen werden die sonst symmetrisch belasteten Fäden zusätzlich entgegen der äußeren Beschleunigung gespannt. Die räumliche Geometrie der Fäden garantiert eine hohe Linearität der Messungen auch bei hohen Beschleunigungen. Im Innenraum des Hohlzylinders, der die Referenzmasse repräsentiert, ist die mechanische Feder zur Kompensation einer konstanten Gravitationsbeschleunigung montiert.

Feld eines starken Permanentmagneten eintauchen (Abb. 4.2). Ein Kapazitätswandler speist ein Stromsignal proportional zur vertikalen Lageverschiebung des Masse-Feder-Systems im Kondensator über einen Regelkreis in die bewegten Spulen am unteren Ende der Referenzmasse. Dieses Signal dient der Dämpfung von Vertikalbeschleunigungen, die den Horizontalbeschleunigungen überlagert sind.

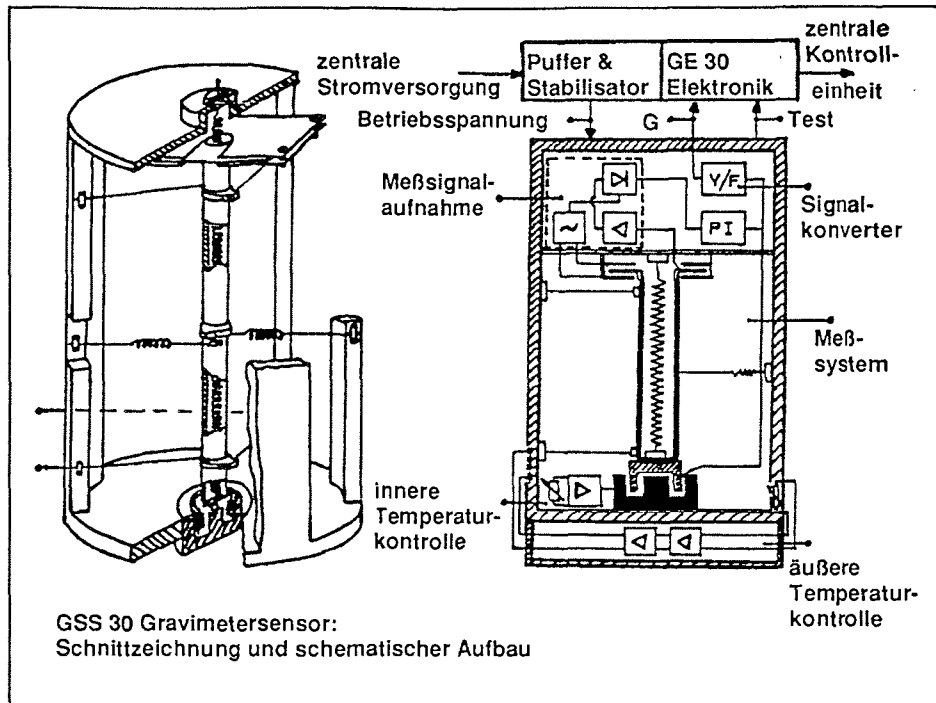


Abb. 4.2: Aufbau des GSS 30 Schweresensors

Der Sensor arbeitet als Nullinstrument, die Massenauslenkung wird also stets über eine Gegenkopplung in die Nullstellung zurückgeführt. Die Rückführung wird gesteuert von dem oben beschriebenen Kapazitätswandler, der die Massenauslenkung auf 0.02 mGal genau bestimmen kann. Dies ist die Basismessung, die in der Gegenkopplung die Stärke des Stromes durch die Spulen bestimmt. Das Stromsignal der einen Spule wird in den Regelkreis zurückgeführt, das integrierte Signal der anderen Spule beschreibt das Maß der Schwereänderung. Neben der Gegenkopplung wird über den Meßwert des Kapazitätswandlers auch die Temperaturkompensation im Sensorinneren geregelt.

Zur Skalenkalibrierung im Labor, Hafen oder am Flugplatz wird eine zusätzliche Masse in Form einer Kugel von etwa 2 mm Durchmesser auf die Referenzmasse gebracht. Das Aufsetzen des Kugelgewichts geschieht mit einer Hebelmechanik im Inneren des

Zur Skalenkalibrierung im Labor, Hafen oder am Flugplatz wird eine zusätzliche Masse in Form einer Kugel von etwa 2 mm Durchmesser auf die Referenzmasse gebracht. Das Aufsetzen des Kugelgewichts geschieht mit einer Hebelmechanik im Inneren des Sensorgehäuses. Dieses Zusatzgewicht ist einer Schwereänderung von 1000 mGal äquivalent.

Um den Einfluß von Luftdruckschwankungen auszuschalten, ca. 0.5 mGal/Torr, wurde die Sensorik mit einem druckfesten Gehäuse umgeben. Drei Schirmungen verhindern einen magnetischen Einfluß auf die Kompensationsfeder und Spulen des Sensors. Eine umgibt einen Rückkopplungsmagneten, eine die stromführenden Leitungen der Temperaturregelung, die letzte wirkt äußeren Störfeldern entgegen. Um den Sensor im Fall einer Erschütterungen beim Transport oder eines Systemfehlers zu schützen, wird eine Fangvorrichtung für den Sensor aktiviert, der die Bewegungsenergie des Sensors absorbiert.

4.1.2.3 KT 31 Plattform

Die Plattform dient der Stabilisierung des Sensors auf einem bewegten Meßträger, Grundvoraussetzung für alle marinen Schweremessungen. Das Signal eines zweiachsigen Vertikalkreisels liefert die Messungen für den Bewegungsausgleich zum Stampfen und Rollen eines Schiffes oder Nicken und Rollen eines Flugzeugs.

Die Plattform besteht aus zwei ineinander senkrecht gelagerten kardanischen Aufhängungen, in dessen Mitte die Referenzfläche liegt, einem zweiachsigen Vertikalkreisel und zwei Beschleunigungsmessern. Die kardanischen Aufhängungen können Nick- und Rollwinkel bis zu 40 Grad ausgleichen. Sie werden jeweils betrieben von einem Gleichstrom-Drehmoment-Motor. Der innere Teil der Plattform ist damit vertikal stabilisiert; auf dieser Referenzoberfläche ist der Schweresensor zusammen mit einem Kreisel vom Typ SAGEM GSL 80 und den Horizontalbeschleunigungsmessern des Typs Q-Flex QA-900 montiert.

Insgesamt vier Gegenkopplungs-Kontrollkreise stabilisieren die Meßplattform:

- * differentieller Kreisel,
- * Plattform Servo ,
- * Plattform Aufrichtung und
- * Plattform-Reibungs-Kompensation.

Die Gegenkopplung zur Aufrichtung und Reibungskompensation der Plattform sichert die Genauigkeit der vertikalen Ausrichtung der Meßplattform. Die Effekte der Erdrotation, Geschwindigkeits- und Kurswechsel sowie von Reibung und Vibration auf die vertikale Lage der Plattform können dadurch ausgeglichen werden. Dies erübrigt jedoch keinesfalls eine Eötvöskorrektur der Schweredaten, da die Plattform nur Auslenkungen aus der

Der Einfluß der Erdrotation kann nur mit der Navigationsinformation über Kurs und geographischer Breite unterdrückt werden. Nur wenn auch zusätzlich die Geschwindigkeit des Schiffes über Grund bekannt ist, kann eine Ausgleichsrechnung für Geschwindigkeits- und Kurswechsel durchgeführt werden. Zur Kompensation quasiperiodischer Vibrationen oder des Seegangs werden Tiefpassfilter in den Kontrollkreisen aktiv. Die Messung der Horizontalbeschleunigungen können zusätzlich digital aufgezeichnet werden.

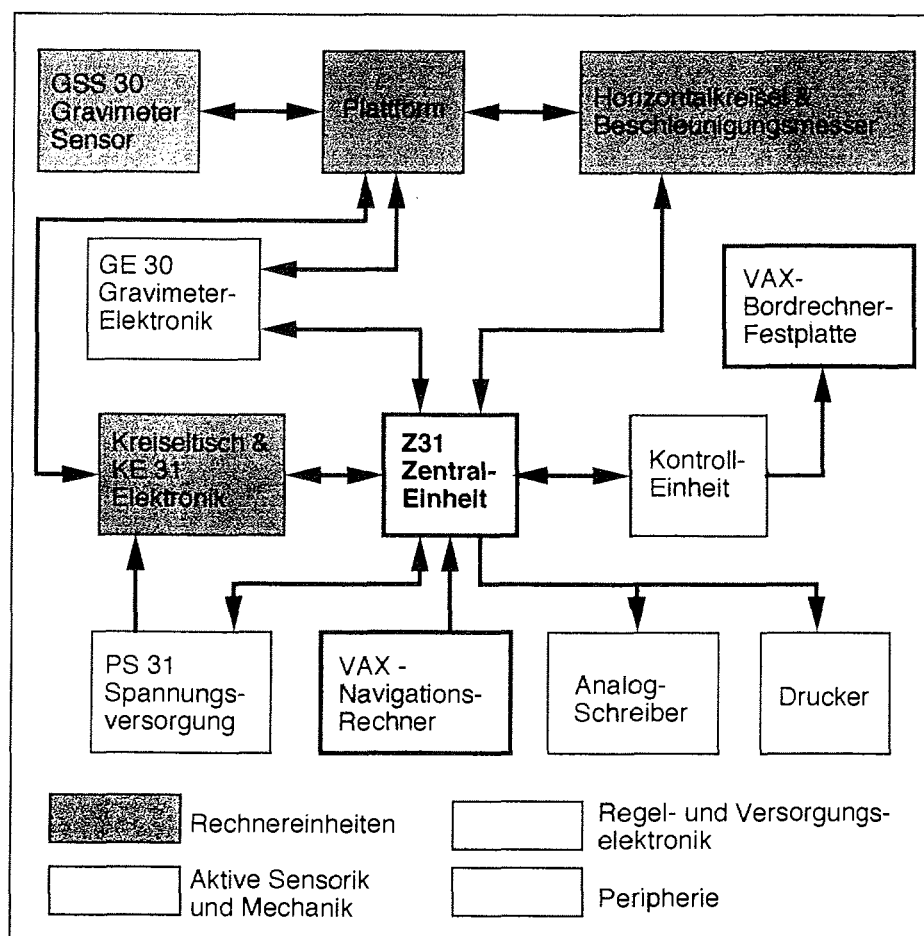


Abb. 4.3: Schema der Gravimetersteuerung auf FS Polarstern

4.1.2.4 Datenverarbeitungssystem

Das Datenverarbeitungssystem des KSS 31 bietet die Möglichkeit zum Filtern und Speichern, sowie zur Vorverarbeitung, Korrektur und Reduktion der Daten. Darüber hinaus bietet es Selbsttests und Funktionsüberwachungen der Spannungsversorgung, der Plattform und des Schweresensors. Es leitet einen auswählbaren und stetig aktualisierten Variablensatz auf eine Konsolenanzeige zur direkten Ablesung.

Zentraler Bestandteil des Datenverarbeitungssystems ist die Kontrolleinheit ZE 31. Die Kontrolleinheit steuert den Datenfluß zwischen Kreisel, Plattform, Schweresensor, externen Dateneingängen (Navigation) und der Rechereinheit zur Prozessierung der Daten, sowie alle Datenausgänge zu Monitoren, Druckern und externen Rechnersystemen.

Neben dem Betriebssystem des Gravimetersystems sind Programme zur Kompensation von Wendemanövern, zur Filterung der Gravimeterdaten und Datenspeicherung auf Magnetband oder anderen Speichermedien vorhanden. Zusätzlich nutzbar sind Programme zur Korrektur und Reduktion der Schweredaten. Das Meßsystem liefert die Schwerevariationen in Skalenteilen. Der Umrechnungsfaktor zur Wandlung der Schwerewerte in mGal wird im Hafen durch einen Skalierungstest bestimmt und an der Konsoleneinheit eingestellt. Dieser Faktor taucht folglich in allen gravimeterinternen Korrektur- und Reduktionsformeln auf und wird bei den ausgelesenen Schwerewerten berücksichtigt. Damit sind die Ausgangswerte bereits Relativwerte in mGal.

Bei der automatischen Korrektur der Schwerewerte durch das Meßsystem wird die aktuelle Navigationsinformation bezüglich geographischer Breite, Geschwindigkeit, Kurs und aus der Bathymetrie die Tiefeninformation verwertet, Navigations- und Tiefenfehler schlagen sich somit direkt in den Ergebnissen nieder. Bei Beschreibung der Datensätze werden die eingesetzten Navigations- und Tiefenmeßsysteme entsprechend bewertet. Die Datenaufnahme und vorläufige Auswertung der von der BGR gewonnenen Datensätze ist in ROESER (1989) dokumentiert.

Saison Expedition	Typ	Institution	Schwerpunkt	
1985/86	ANT IV/3	KSS 30	BGR	südöstliches Weddellmeer
1987/88	ANT VI/3	GSS 30	AWI	südöstliches Weddellmeer
1989/90	ANT VIII/5	KSS 31	AWI	südöstliches Weddellmeer
1990	ANT VIII/6	KSS 31	BGR	südliches Lazarev Meer
1990/91	ANT IX/3	KSS 31	AWI	nördliches Weddellmeer
1991/92	ANT X/2	KSS 31	AWI	südöstliches Weddellmeer
1992	ANT X/5	KSS 31	AWI	Scotia Bogen

Tab. 4.3: Bisheriger Einsatz eines Seegravimeters auf AWI / BGR Antarktis Expeditionen

Automatisch berechnet werden können die Eötvöskorrektur, die Freiluftanomalie und die einfache Bougueranomalie, basierend auf ISGN71:

Eötvöskorrektur (KSS 31)

$$g_e = k_g g_{obs} + C_e$$
$$C_e = (7.507 * v \sin(\lambda) \cos(Az_S) + (0.064498062 v)^2) ,$$

Freiluftanomalie (KSS 31)

$$G_f = k_g (g_{obs} - g_h) + g_{abs} - g_n + C_e$$
$$g_n = 978031.85(1+0.005278895\sin^2(\lambda)+0.000023462\sin^4(\lambda))$$

Bougueranomalie (KSS 31)

$$g_b = G_f + G_b$$
$$G_b = \rho g_n T 4.25976 10^{-8} .$$

4.1.3 LaCoste & Romberg Gravimeter

Das während der NARE-Expeditionen eingesetzte Gravimeter ist ein von LaCoste & Romberg (L&R) konstruiertes axialsymmetrisches Seegravimeter. Wie auch bei dem GSS 3 liegt die Stärke der Konstruktion in der Vermeidung des Überkoppelns horizontaler Komponenten. Dazu muß auch daß L&R Gravimeter auf einer stabilisierten Plattform aufgebaut werden. Das Sensorelement ist eine Masse, die nur einen Freiheitsgrad in der Vertikalen besitzt und in dieser Richtung stark bewegungsgedämpft wird (Abb. 4.4). Anders als im GSS 3-Aufbau ist über hohe Luftdruckpolster an zwei zylindrischen Hohlräumen der Masse die Dämpfung realisiert. Ausbalanciert wird die Masse über zwei Federn minimaler Federkonstante. Für weitere technische Details sei auf LACOSTE UND ROMBERG INC. (1967) verwiesen.

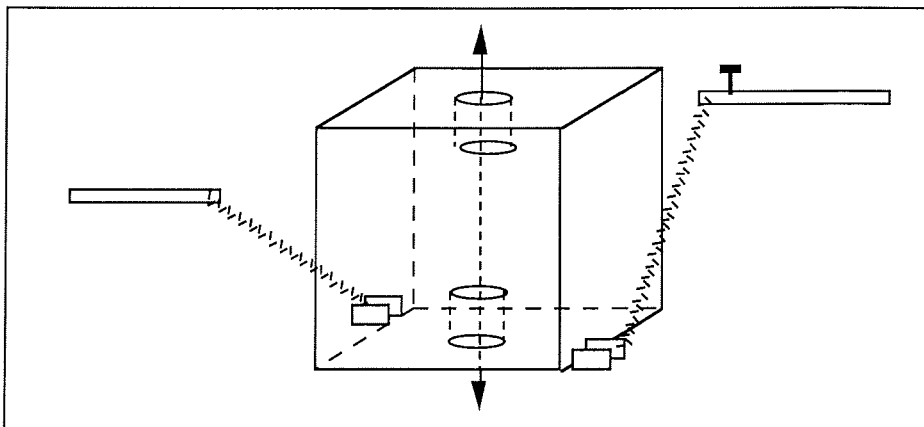


Abb: 4.4: LaCoste & Romberg axialsymmetrisches Gravimeter

4.2 Marine Magnetik

Im Gegensatz zur marinen Gravimetrie wurde in der marinen Magnetik während der geophysikalischen Fahrtabschnitte der entsprechenden Antarktisexpeditionen stets das gleiche Meßinstrument benutzt, ein marines Protonen-Präzessions-Magnetometer vom Typ Geometrics G 811. Die größte Variation im Gebrauch des Instruments lag bislang darin, ob es mit nur einem hinter dem Schiff geschleppten Sensor das erdmagnetische Totalfeld bestimmte oder im Gradiometermodus mit zwei hintereinander gekoppelten Sensoren eingesetzt wurde. Der Gradient ist frei von zeitlichen Variationen und ergibt durch Integration das Totalfeld der Krustenstruktur. Alle anderen Unterschiede betrafen in der Vergangenheit nur die verwendeten Stecker oder Schnittstellen, also Funktionen, die das grundsätzliche Meßprinzip nicht beeinflussten. Da das Schiff während seiner Fahrt meist nur kurz in die Nähe einer magnetischen Basisstation kommt, mit der eine Korrektur der zeitlichen Magnetfeldvariation möglich ist, wurde versucht, das Magnetometersystem möglichst im Gradientenmodus zu betreiben. Dem standen jedoch technische Schwierigkeiten entgegen wie Wassereinbrüche in Steckern oder Sensoren oder sogar Totalverluste von Sensoren, so daß überwiegend nur Messungen mit einem Sensor vorliegen. Diese Einschränkungen haben ihre Ursache in den rauen Meßbedingungen der antarktischen Gewässer, in denen die Eisbedeckung die Messungen zum Teil überhaupt nicht zulassen. Weitere Probleme ergaben sich bei Parallelmessungen der Seismik und Magnetik, in diesen Fällen verwickelten sich stellenweise der Seismikstreamer und das Magnetometerkabel. Das Resultat sind oftmals unterbrochene Magnetometerprofile im einfachen Sensormodus. Bei der Beschreibung der seemagnetischen Datensätze spielt also nur der Betriebsmodus und die Navigation eine Rolle.

4.2.1 Geometrics G 811 Seemagnetometer

Das G 811 Seemagnetometer (EG&G GEOMETRICS) besteht als Gesamtsystem aus einer Spannungsversorgung, einer Konsoleneinheit, einer Schnittstelle zum Bordrechner, einem Analogschreiber, einer Kabelwinde, einer Splitterbox und den Sensoren. Die Konsoleneinheit steuert den Meßbetrieb je eines Sensors. Im Gradientenmodus werden die Konsolen im Normalfall interaktiv als Master und Slave gekoppelt. Diese Konfiguration erwies sich als problematisch bei der Registrierung der Daten. In Zukunft werden in der AWI Konfiguration auch während des Gradiometermodus beide Konsolen voneinander unabhängig betrieben über einen gemeinsamen externen Trigger, wie es bei der BGR schon der Fall ist. Das relativ einfache Meßprinzip eines Protonen-Präzessions-Magnetometers (PPM) zeichnet sich im Schiffseinsatz durch seine Robustheit aus. Die durch das Meßprinzip begrenzte Datenrate und Genauigkeit reichen in der vorliegenden Konfiguration für Einzelmessungen aus, da die Lage und Tiefe der Sensoren ebenfalls nur mit begrenzter Genauigkeit vorliegen. Beschreibungen des Meßprinzips eines PPMs finden sich in den meisten geophysikalischen Lehrbüchern, wie KERTZ (1969). Die

Meßbereich:	17 000 bis 95 000 nT
maximaler Meßzyklus:	3 s mit 0.01 nT Auflösung
minimaler Meßzyklus:	0.16 s mit 5 nT Auflösung
Sensorgenauigkeit:	0.5 nT
maximale Sensortauchtiefe:	60 m

Tab. 4.4: Spezifikation des Seemagnetometers G 811

Saison	Expeditionsabschnitt	Institution	Schwerpunkt
1985/86	ANT IV/3	BGR	südöstliches Weddellmeer
1986/87	ANT V/4	AWI	südöstliches Weddellmeer
1987/88	ANT VI/3	AWI	südöstliches Weddellmeer
1988/89	ANT VII/2	AWI	Scotia Bogen
1989/90	ANT VIII/5	AWI	südöstliches Weddellmeer
1989/90	ANT VIII/6	BGR	südliche Scotiasee
1991/92	ANT X/2	AWI	südöstliches Weddellmeer

Tab. 4.5: Bisheriger Einsatz eines Seemagnetometers G 811 auf AWI / BGR Antarktis Expeditionen

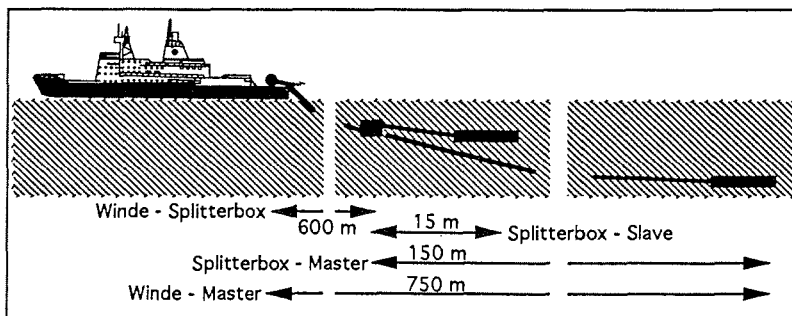


Abb. 4.5: Schema des Gradientenmagnetometers

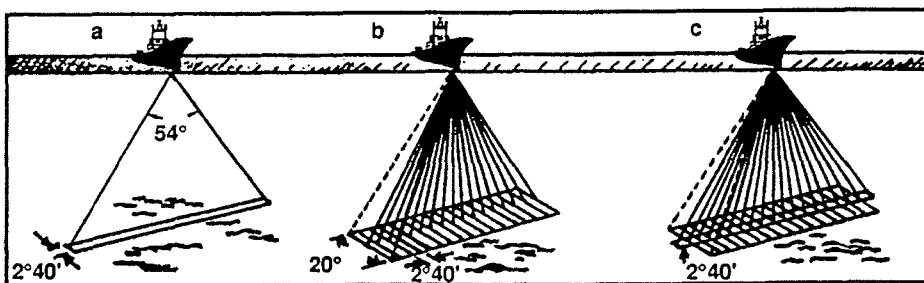


Abb. 4.6.: Schema des Seabeamsystems

4.3 Navigation und Bathymetrie

Die Schiffsnavigation ist ein grundlegender Faktor in der marinen Gravimetrie. Sie dient nicht nur der genauen Positionsbestimmung zur späteren Kartierung, sondern wird aktiv für die Plattformkorrekturen des Gravimeters eingesetzt. Die Bathymetrie nimmt die Meeresbodentopographie auf und liefert damit eine Information, die zur Bouguerkorrektur der Gravimeterdaten und nachfolgenden gravimetrischen Modellierungen notwendig ist. Das für die bathymetrischen Vermessungen bis 1986 auf FS Polarstern eingesetzte 'Seabeam' System und das danach installierte 'Hydrosweep' System sind in SCHENKE (1990) beschrieben, das Zusammenspiel zwischen Navigation und Bathymetrie in SCHENKE (1992) und die weiterführende Auswertung in HINZE (1991).

4.3.1 Seabeam System

Das Seabeam System wurde entwickelt von General Instruments Corporation (GIC) in den USA Mitte der sechziger Jahre und zunächst ausschließlich auf Schiffen der US Navy eingesetzt. Erst 1976 wurde das System zur zivilen Nutzung freigegeben. FS Sonne wurde 1976, FS Polarstern 1982 mit dem Seabeam System ausgestattet. Das Seabeam System ist ein Tiefseefächerlot mit einer Frequenz von 12,158 kHz und einem effektiven Fächerwinkel von $42,67^\circ$. Damit kann in einer Wassertiefe von 5000 m ein 4000 m breiter Streifen erfaßt werden. Die maximale Einsatztiefe des Systems liegt bei 12 000 m. Der Sendeteil besteht aus 20 magnetostriktiven Projektoren, die in einer Reihe parallel zur Längsachse des Schiffes angeordnet sind. Der Fächer bestrahlt mit einem Sendepuls von 7 ms einen schmalen Streifen von $2,67^\circ$ Breite und 54° Länge quer zur Schiffsrichtung. Durch Roll- und Stampfwinkelkompensation behält der Sendefächer stets eine senkrecht nach unten ausgerichtete Stellung. Orthogonal zum Sendefächer sind 40 keramische Hydrophone als Empfangsarray angeordnet. Die Hydrophone sind mit phasenverschobenen Vorverstärkern gekoppelt, die es erlauben, 16 Empfangsstrahlen von je $2,67^\circ$ mal 20° einzustellen (Abb. 3.6). Durch Korrelation der gesendeten und empfangenen Signale ('beamforming') wird eine Auflösung des Gesamtfächers von $42,67^\circ$ in 16 einzelne Fächerstrahlen ('pre-formed-beams') erzielt. Der kontinuierlich erfaßte Streifen der Seabeam Anlage unter dem Schiff beträgt etwa 75% der Wassertiefe.

4.2 Hydrosweep System

Krupp Atlas Elektronik entwickelte bis 1986 ein neues Fächersonarsystem mit einem wesentlich erweiterten Leistungsspektrum gegenüber dem Seabeam System. Nach zweijährigen Test- und Vergleichsmessungen auf FS Meteor wurde das Hydrosweep System 1988 auch auf FS Polarstern installiert. Als besonderer Vorzug hat sich dabei die Zuverlässigkeit des Systems bei selbst schwerem Eisbrechen erwiesen. Hydrosweep steht für Hydrographic Multi-Beam Sweeping Echosounder. Mit einem Fächerwinkel von 90° vergrößert sich der vermessene Streifen unter dem Schiff im Vergleich zum Seabeam

Aufteilung des Gesamtfächers in 59 einzelne Fächerstrahlen eine erhebliche Verbesserung der Meßauflösung. Im Hydrosweep System werden piezoelektrische Keramikwandler eingesetzt. Diese Wandler bieten den Vorteil, daß ein Funktionsaustausch zwischen Sender und Empfänger und somit ein Drehen des Meßprofils um 90° möglich ist ('crossed beam-technique'). Während der Messung spannt sich der Fächer quer zur Fahrtrichtung auf, dagegen werden während der Kalibrationsphase die Fächertiefen in Fahrtrichtung mit dem Vertikalstrahl (center beam) verglichen (HAGEN, 1994). Die abgewinkelten Sonarstrahlen des Fächers unterliegen aufgrund der unterschiedlichen Dichteverhältnisse in der Wassersäule starken Refraktionseinflüssen. In einer Kreuzfächereichung wird eine mittlere Wasserschallgeschwindigkeitsverteilung zur Krümmungskorrektur bestimmt (Abb. 3.7). Zeitraubende CTD-Stationmessungen sind nicht mehr notwendig.

Spezifikation	Hydrosweep	Seabeam
Einführung des Systems:	1986	1975
Einbau auf FS Polarstern:	1988	1982
Arbeitsfrequenz:	15,5 kHz	12,158 kHz
Anzahl der Beams:	59	16
Öffnungswinkel des Fächers:	90°	42,67°
Öffnungswinkel pro Strahl:	2,3°	2,67°
Pulslänge:	1 ms - 10 ms	7 ms
Array Dimension:	0,3 * 3 m	1 m * 3 m
Stabilisation:	alle Achsen	alle Achsen
meßbare Wassertiefe:	10 m - 11000 m	bis 11000 m
Genauigkeit:	0,5 % rms	10 m - 50 m
Refraktionskorrektur:	automatisch / Modell	über Modell
Streifenbreite:	200 % der Wassertiefe	75% der Wassertiefe
max. Einsatzgeschwindigkeit:	bis 15 kts	bis 15 kts

Tab. 4.6: Spezifikation der Seabeam- und Hydrosweep-Anlage nach Schenke (1990)

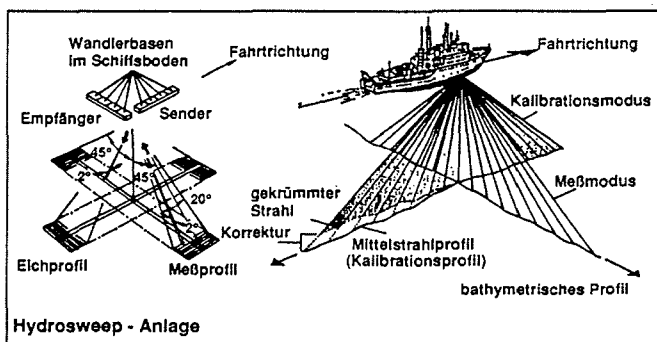


Abb. 4.7: Schema des Hydrosweepsystems

4.3.3 Navigation

Die Schiffsnavigation in polaren Gebieten stellt ein besonders Problem dar. Landgestützte Radionavigationssysteme wie Omega, Decca oder Loran können aufgrund ihrer Reichweitenbeschränkung nicht eingesetzt werden (Abb. 3.8). Nach SCHENKE (1992) wurde bis vor wenigen Jahren ausschließlich ein integriertes Navigationssystem mit dem Doppler Navy Navigation Satellite System (NNSS) TRANSIT als Hauptsensor mit Doppler-Sonar und Kreiselkompass zur Koppelmessung verwendet. Die Messungen mit dem Kreiselkompaß weisen kurzzeitig große Fehler auf durch die Trägheit des Kreisels bei Eisbrechen oder harten Kursänderungen. Die erreichbare Systemgenauigkeit zur Positionsbestimmung beträgt etwa 200 m bis 250 m in polaren Gebieten. Die Navigationsgenauigkeit läßt sich mit Hilfe benachbarter Fächerlotprofile überprüfen. Heute wird zur Positionsbestimmung ausschließlich das Navstar-Global-Positioning-System (GPS) eingesetzt. Entsprechend der künstlichen Verschlechterung des GPS Signals durch deren Betreiber, die US Airforce, ist die damit erreichbare Positionsgenauigkeit im Mehrkanal-Empfangssystem etwa 100 m. Eine komprimierte Übersicht über die Grundlagen der Satellitennavigation gibt STILLER (1989), eine Übersicht über deren Anwendung in den Geowissenschaften REIGBER (1993). Seit 1991 ist auf FS Polarstern das Programmsystem COMPASS installiert und zu Testzwecken eingesetzt, basierend auf dem Programm GEONAP der Firma GeoSpace. Es bestimmt die Lage- und Positionsdaten des Schiffes im Sekundentakt aus drei GPS-Empfängern. Die Positions-, Lage- und Tiefendaten werden dem Nutzer über das 'Integrated Navigation and Data Aquisition System' (INDAS) als Sekundenprotokoll zur Verfügung gestellt.

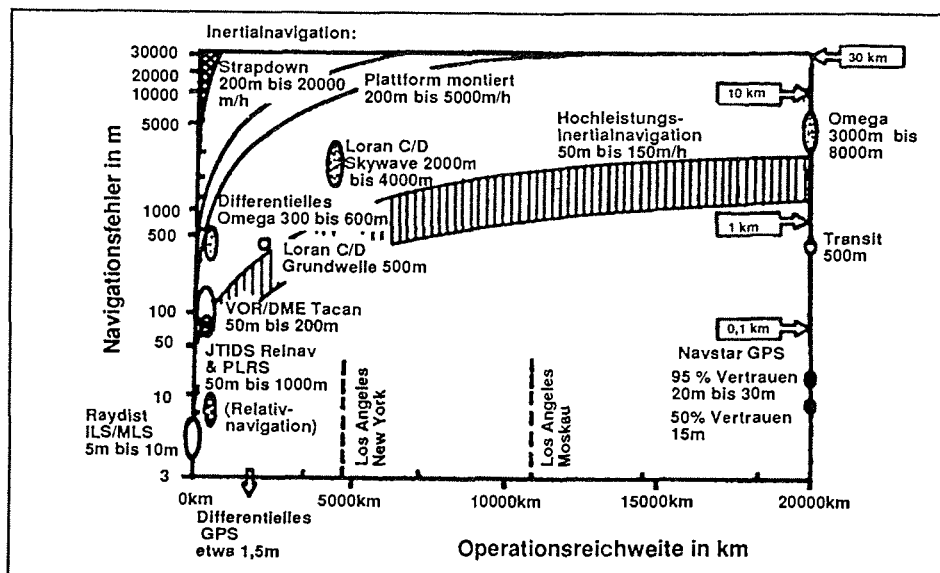


Abb. 4.8 : Navigationssysteme, ihre Operationsreichweite und Genauigkeit nach STILLER (1989)

5 TEKTONISCH-GEOLOGISCHER RAHMEN

5.1 Antarktis und Gondwana Aufbruch

Die Struktur des Weddellmeeres ist geprägt und damit erst verständlich durch die Lage der Antarktis in Gondwana und dessen Aufbruch. Diese Problemstellung ist wiederholt von verschiedensten Blickpunkten aus behandelt worden. Es soll hier nur ein kurzes Streiflicht auf die jüngeren Arbeiten auf diesem Gebiet geworfen werden, dabei wird der Schwerpunkt der Arbeit gemäß auf den Bereich des Weddellmeeres gelegt. In diesem Fall bedeutet dies die Diskussion der Küsten von Dronning Maud Land, Coats Land und, über das Filchner-Ronne-Schelf hinweg, die der Antarktischen Halbinsel.

Nach LAWVER ET AL. (1991) impliziert die Rekonstruktion Gondwanas im frühen Mesozoikum, daß der größte Teil des heutigen Randes der Antarktis an andere kontinentale Massen gebunden war; eine Sichtweise, die schon den ältesten Gondwana-Rekonstruktionen zu entnehmen ist (DU TOIT, 1937; WEGENER, 1936). Dabei ist der westliche Teil der Antarktis auszunehmen, LAWVER ET AL. (1991) sehen diesen Teil an als einen Subduktionsrand, der schon vor dem Gondwana Aufbruch aktiv war und bis heute aktiv ist (CUNNINGHAM, 1995). Er verläuft vom heutigen Thurston Island bis zur Spitze der Antarktischen Halbinsel. Der verbleibende Rest des Antarktisesrandes ist nach LAWVER ET AL. (1991) als passiver Kontinentalrand nach einer Riftphase oder als gescherte Transformstörung zu betrachten. Dabei ist die südöstliche Küste des heutigen Weddellmeeres der älteste Teil des passiven Kontinentalrandes der Antarktis, der sich im Uhrzeigersinn bis hin zum Rossmeer verjüngt. Mit dem Ostantarktischen Kraton als Angelpunkt lösten sich zuerst Südamerika und Afrika, dann Indien und schließlich Australien von der Ostantarktis ab. Der Ansatz des initialen Gondwana Aufbruchs ist also im Gebiet des südöstlichen Weddellmeeres zu suchen. Der Zeitpunkt des Gondwana Aufbruchs wird aus magnetischen Anomalien auf das mittlere Jura (etwa 170 Ma vor heute) abgeschätzt:

Im Mozambique-Becken finden sich magnetische Anomalien kontinuierlich von M34 bis M0 (COCHRAN, 1988). Ihr Zentrum liegt auf dem aktiven Southwest Indian Ridge, identifiziert durch BERGH UND NORTON (1976). Desweiteren wurden magnetische Anomalien im westlichen Somalia-Becken gefunden, die den initialen Aufbruch Gondwanas dokumentieren (SIMPSON ET AL., 1979 sowie SÉGOUFIN UND PATRIAT, 1980). Die älteste der Anomalien im westlichen Somalia Becken wurde als M22 identifiziert und damit auf 152 Ma datiert (COCHRAN, 1988). Nach LAWVER ET AL. (1991) erstreckt sich zwischen den genannten Anomalien und dem Kontinentalrand von Madagaskar im Süden und Afrika im Norden über M22 hinaus eine Spreizungszone von etwa 300 km. LAWVER (1991) schließt daraus auf eine Zeitspanne von ca. 20 Ma ozeanischer Spreizung bis zur ersten identifizierbaren magnetischen Anomalie im westlichen Somalia-Becken bei konstanter Spreizungsrate von 15 mm/a. Insgesamt läßt sich daraus ein Alter von etwa 170 Ma für die Beckenöffnung ableiten. Weiter im Norden

ist das nördliche Somalia-Becken nach COCHRAN (1988) in der späten Kreide aufgebrochen. Es scheint damit das dritte ozeanische Becken in Folge zu sein, das durch eine langgestreckte Transformstörung während der Bewegung zwischen dem Ost- und Westteil Gondwanas entstanden ist.

Die konjugierten magnetischen Anomalien zu denen des Mozambique-Beckens fand BERGH (1987) in der Nähe des Astrid-Rückens vor Dronning Maud Land. Er konnte an dieser Stelle Anomalien zwischen M0 (118 Ma) und M11 (134 Ma) identifizieren, weitere Anomalien liegen zwischen M11 und dem Kontinentalrand von Dronning Maud Land. Ausgehend von diesen Beobachtungen folgert LAWVER (1991) ein maximales Alter des Spreizungsgebietes von älter als 152 Ma. BERGH (1987) bietet zwei Alternativen für die Öffnung des Mozambique-Beckens im Mesozoikum:

Zum einen plaziert er den Astrid-Rücken direkt gegenüber dem Mozambique-Escarpment, zum anderen etwa 100 km weiter östlich davon; dort schmiegt sich der Astrid-Rücken einer Bruchzone an, wie von SIMPSON ET AL. (1979) postuliert.

LAWVER ET AL. (1991) diskutieren ausführlich Berghs erste Alternative. Das Mozambique-Escarpment ist ungewöhnlich steil, teilweise steiler als 27° und damit weit entfernt vom weltweit durchschnittlichen Winkel von Kontinentalhängen von ca. 4° , wie bei geriffelten Kontinentalrändern üblich. Subduktionsränder können teilweise ebenfalls sehr steil sein, tragen aber deutliche Zeichen der Subduktion selbst. Gescherte Kontinentalränder weisen Steilheiten von bis zu 45° auf. Auf der Suche nach einem Gegenstück zum Mozambique-Escarpment nahe des ostantarktischen Kontinentalrandes stößt er dabei auf das Explora-Escarpment, das im Bereich zwischen $13^\circ 30'W$ und $15^\circ W$ nach Norden hin mit bis zu 45° abfällt (MILLER UND KAUL, 1990). Schließt man daraus auf das Explora-Escarpment als konjugierten Teil des Mozambique-Escarpments, so ist eines der bislang am weitesten verbreiteten Rekonstruktionsmodelle von LAWVER UND SCOTESE (1987) besonders zwischen Madagaskar und Afrika zu eng gegliedert. Für ein solches Szenario postulieren LAWVER ET AL. (1991) für das Explora-Escarpment eine Extension zwischen grob 300 und 250 Ma, weit vor dem Gondwana Aufbruch und ein späteres Rift zwischen 170 und 130 Ma. Eine weitere, viel diskutierte Struktur des Weddellmeeres, das Andenes-Escarpment soll laut LAWVER ET AL. (1991) mit einem wesentlich jüngeren Rift (130 Ma und jünger) verbunden sein, das große Teile der ozeanischen Kruste des Weddellmeeres geschaffen hat. Demnach sind das Explora-Escarpment und das Andenes-Escarpment nur zufällig in einer Linie formiert - eine Hypothese, die durch neuere bathymetrische und seismische Daten aus der Region zwischen den beiden Escarpments, wie während der Expedition ANT X/2 mit FS Polarstern gewonnen, gestützt wird.

Während für die Lage des Ostantarktischen Schildes in den Rekonstruktionsmodellen für Gondwana Detailspekte erörtert werden, war bis vor kurzem dagegen die Vorstellung über die Entwicklung der heutigen antarktischen Halbinsel aufgrund ihrer komplizierten Struktur noch relativ diffus. Ein besonderes Problem war dabei die räumliche Überlappung der antarktischen Halbinsel mit dem Falkland-Plateau in den Gondwana-

Rekonstruktionen. Eine der nach LAWVER ET AL. (1991) sinnvollsten Lösungen ist eine Drehung der Halbinsel im Uhrzeigersinn relativ zur Ostantarktis im frühen Stadium des Gondwana Aufbruchs. Ab der magnetischen Anomalie M0 (118 Ma) ist genügend Raum vorhanden, ein Überlappungsproblem besteht ab dieser Zeit nicht mehr.

Paleomagnetische Daten aus dem Ellsworth-Gebirge, der Antarktischen Halbinsel und Thurston Island unterstützen diese Hypothese (GRUNOW ET AL., 1987). Ein solcher Ablauf fügt sich nahtlos ein in eine Öffnung des Mozambique-Beckens im späten Jura bis frühen Kreide entlang des Explora-Escarpments in Richtung des südwestlichen Weddellmeeres. Dagegen spricht eine Öffnung des Weddellmeeres in Nordsüd-Richtung vor M25N (156 Ma) gegen eine solche Drehung der Antarktischen Halbinsel zwischen dem Gondwana Aufbruch und M0. Statt dessen müßte die Antarktische Halbinsel dann an der westlichen Seite der Südspitze Südamerikas entlang geglitten sein. Für eine solche Scherung gibt es nach LAWVER ET AL. (1991) keine geologischen Hinweise.

STOREY (1991) schließt sich an die Gondwana-Rekonstruktion für die großen Kontinente von LAWVER UND SCOTESE (1987) an, entwickelt aber eine komplexere Struktur für die heutige Westantarktis innerhalb Gondwanas. Um eine Überlappung der Antarktischen Halbinsel mit dem Falkland-Plateau zu vermeiden, die sich ergibt, wenn die Westantarktis in ihrem heutigen Umriß an die Ostantarktis in der Gondwana-Rekonstruktion angelegt wird, unterteilt er sie in fünf einzelne Krustenblöcke. Diese Krustenblöcke sind nach STOREY (1991) individuelle Gebilde während des Gondwana Aufbruchs, die sich erst später in der heutigen Westantarktis vereinen. Er unterteilt die Krustenblöcke in die Antarktische Halbinsel, Thurston Island, Marie Byrd Land, den Ellsworth - Whitmore Gebirgsblock und die Umgebung der Haag Nunataks. Dabei formten die Antarktische Halbinsel, Thurston Island und Marie Byrd Land von Norden nach Süden den pazifischen Rand des Superkontinents im Mesozoikum; in einer Linie mit der heutigen Westküste Südamerikas. Dieser Ansatz wurde bis in die jüngsten Forschungen erfolgreich weiterfolgt (DIVENERE ET AL., 1995).

Eine detaillierte Diskussion über das Weddellmeer Orogen im Zeitrahmen von späten Perm bis zum frühen Mesozoikum im Bereich des Dufek Massivs gibt FORD (1972). Den zeitlich anschließenden Verlauf der Evolution des antarktischen Kontinents vom Trias bis zur frühen Kreide wird von ELLIOT (1991) beschrieben.

Die Rekonstruktionsmodelle werden in direktem Zusammenhang mit den Ergebnissen der marin-gravimetrischen Kartierung in Kapitel 10 diskutiert.

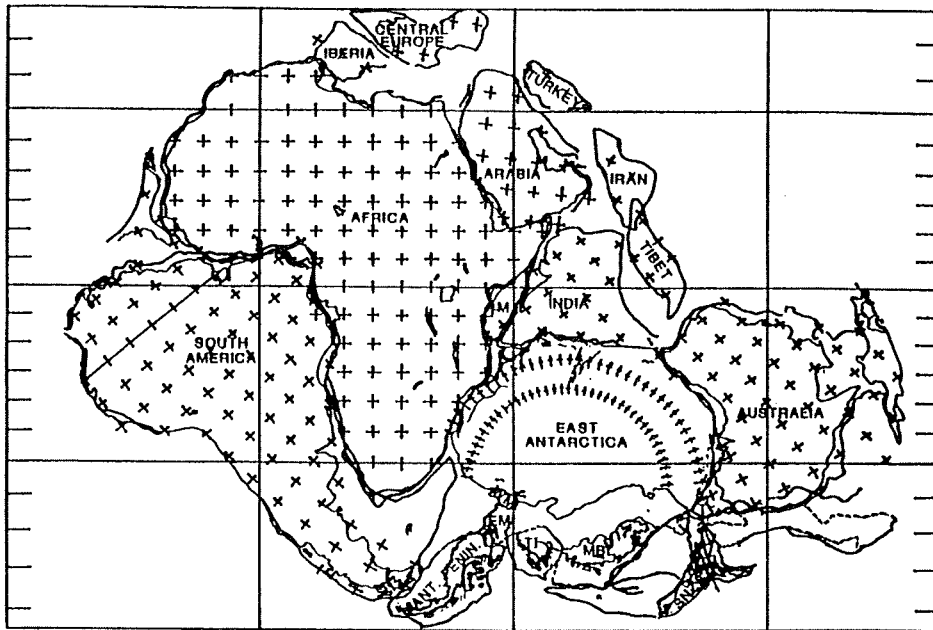


Abb. 5.1: Gondwana-Rekonstruktion nach LAWVER UND SCOTESE (1987)

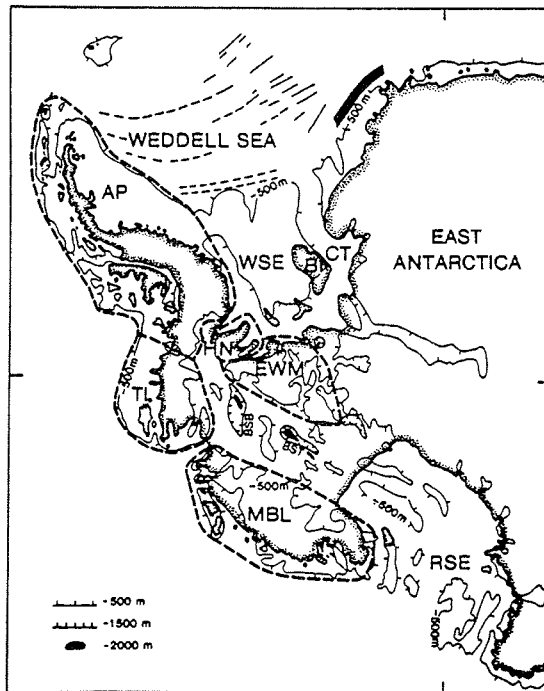


Abb. 5.2: Die westantarktischen Krustenblöcke in der Gondwana-Rekonstruktion nach STOREY (1991)

5.2 Tektonische Gliederung der Antarktis

Der antarktische Kontinent ist eines der Kernstücke in der Rekonstruktion von Gondwana und dessen Aufbruch, sowie im Verständnis der Kontinentaldrift und der ozeanischen Spreizungszonen. Deshalb ist es hilfreich, die Tektonik der Antarktis so klar als möglich zu beschreiben. Um dem gerecht zu werden, wird im folgenden die in CRADDOCK (1972) beschriebene Klassifikation des tektonischen Aufbaus der Antarktis verwendet. Craddock gliedert die Antarktis in fünf tektonische Provinzen: das Borchgrevink Orogen, das Ross Orogen, das Anden Orogen, das Ellsworth Orogen und den Ostantarktischen Schild. Bis auf das Borchgrevink Orogen bilden die restlichen vier Provinzen die südliche Begrenzung des Weddellmeeres und haben damit einen bedeutenden Einfluß auf die Struktur des Weddellmeeres selbst.

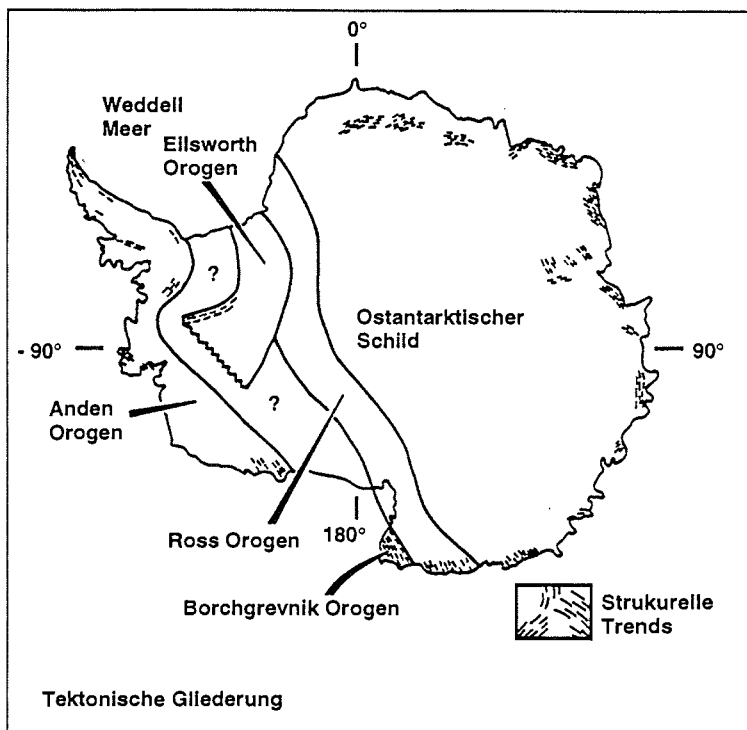


Abb. 5.3: Die tektonischen Provinzen der Antarktis nach CRADDOCK (1972)

Der Ostantarktische Schild nimmt bei weitem den größten Teil des antarktischen Kontinents ein. Er wird zur Antarktischen Halbinsel hin vom Ross Orogen begrenzt. Der Schild besteht hauptsächlich aus präkambrischem Grundgestein, auf dem sich nahezu ungestörte Gesteinslagen aus dem späten Präkambrium (900 - 570 Ma) und Paleozoikum finden. Obschon es sehr wahrscheinlich ist, daß der Ostantarktische Schild eine durchaus komplizierte Bildungsgeschichte im Präkambrium durchlaufen hat, so scheint es jedoch ebenso sicher, daß während des Phanerozoikums (570 - 590 Ma) keine Orogenese des

ebenso sicher, daß während des Phanerozoikums (570 - 590 Ma) keine Orogenese des Schildes im eigentlichen Sinne mehr stattgefunden hat. Nach KLIMOV (1964) lassen sich in der Ostantarktis drei Gesteinsgruppen prinzipiell voneinander trennen: Grundgestein älter als das späte Präkambrium, spätes Präkambrium bis frühes Paleozoikum und mittleres Paleozoikum bis zum Mesozoikum. Das Grundgestein des Schildes setzt sich größtenteils zusammen aus hochgradig metamorphen Granuliten und Ampheboliten, als auch aus diversen plutonischen Intrusiven. Craddock vermutet weiter zurückliegende Orogenesen in diesem Gebiet, die jedoch durch weitreichende Aufschmelzung und Rekrystallisation während multipler Ereignisse im frühen Paleozoikum (570 - 540 Ma) überprägt worden sind. Aus diesem Grund unterteilt Craddock den Ostantarktischen Schild nicht in weitere Orogene. In Dronning Maud Land, entlang der Knox Küste und der Georg V Küste wird das Grundgestein überdeckt durch präkambrische bis kambrische sedimentäre Schuttlagen und einigem Eruptivgestein. Diese Lagen sind größtenteils ungestört und waren nur leichten Metamorphosen während der Ross Orogenese ausgesetzt. In Dronning Maud Land sind diese Schichten wiederum überlagert durch weitgehend ungestörte Sedimentlagen der Beacon Supergruppe, also der Gondwana Sequenz in der Antarktis. Während des Jura intrudierten großräumig mafische Eruptivgänge die hier vorherrschenden Sandsteinpakete.

Das Ross Orogen formierte sich im frühen Paleozoikum und erstreckt sich nach Craddock von Nord Viktorialand quer durch die Antarktis bis zum Weddellmeer. Vom Rossmeer bis zum Pensacola Gebirge ist das Ross Orogen deutlich ausgeprägt, verliert dann aber zum Weddellmeer hin an Struktur. Ob die Ausdehnung des Ross Orogens, wie bei Craddock gezeichnet, im Bereich des Weddellmeeres und der Shackleton Range haltbar ist, ist noch offen. KLEINSCHMIDT ET AL. (1992) beziehen zum Beispiel das Pensacola Gebirge voll mit in das Ross Orogen ein. Das wahre Alter der ältesten Gesteine im Ross Orogen und im transantarktischen Gebirge ist nicht bekannt. Es ist aber wahrscheinlich, daß dort auch vereinzelt Kristallin aus dem frühen Präkambrium zu finden ist. Solche Gesteinsalter wären nach Craddock am ehesten im Nord Victoria Land in der Umgebung des Nimrod Gletschers und in Dronning Maud Land anzutreffen. GRINDLEY UND MCDUGALL (1969) veröffentlichten geophysikalisches und geochronologisches Material, aus dem sich Hinweise für eine Orogenese des zentralen Teils des transantarktischen Gebirges im Präkambrium (1025 - 650 Ma) ableiten lassen. Die zumeist vorkommenden Gesteinslagen des Ross Orogens sind Schichtungen diverser sedimentärer und vulkanischer Lithologie. Die meisten dieser Schichtungen werden datiert als spätkambrisch, darüber hinaus wurden jedoch auch an vielen Orten gefunden kambrische Trilobite (hornschalige, ausschließlich marin vorkommende Brachiopoden), sowie Archeocyata (Fossile, die im Lauf des Kambrium ausstarben). All diese Gesteinslagen weisen Deformationen auf, waren leichten bis mittleren Metamorphosen ausgesetzt und wurden durch granitische Plutone während der Ross Orogenese intrudiert. Radiometrische Untersuchungen sprechen diesen Ereignissen ein Alter von 450 - 520 Ma zu. Damit kann der Höhepunkt der Ross Orogenese auf die Zeit des Ordovizium eingeschränkt werden. Der Ross Orogenese folgte eine Erosionsperiode, in der die

bestehenden Gesteinsformationen durch die Bildung der Kukri Ebene aufgetrennt wurde. Die Gesteine des Ross Orogen sind überprägt von nahezu undeformierten sedimentären Lagen der Beacon Supergruppe und der vulkanischen Ferrar Gruppe. Die Hebung und Formation des transantarktischen Gebirges kann nach Craddock sowohl durch den isostatischen Ausgleich des Ross Orogens als auch durch die Bildung des ostantarktischen Eismantels im Känozoikum bedingt sein.

Das Ellsworth Orogen wird im Norden durch die Küste zum Weddellmeer hin begrenzt und schmiegt sich an das Ross Orogen im Bereich des Weddellmeers an. Bei STOREY (1991) und anderen Autoren wird dieses Gebiet als Ellsworth - Whitmore Gebirgsblock bezeichnet. Es reicht vom Ellsworth Gebirge nach Südwesten über das Whitmore Gebirge weiter nach Süden bis hin zum Pagano Nunatak und dem Pensacola Gebirge. Craddock vermutet einen Zusammenhang zwischen dem Ellsworth Orogen und Berkner Island. Darüber hinaus soll das Ellsworth Orogen über den südafrikanischen Cape fold belt bis nach Nordost Argentinien zu verfolgen sein. Das Pensacola Gebirge trennt das Ellsworth Orogen vom Ross Orogen, an dieser Stelle scheint auch eine Überlappung beider Orogene möglich. Er konstatiert weiterhin die eisbedeckten Gebiete nördlich des Ellsworth Gebirges als bislang ungelöstes Problem, daran hat sich bis heute nichts geändert. Gestreute radiometrische Altersuntersuchungen in diesem Gebiet zeigen hochgradig deformierte ältere Gesteinslagen, die überdeckt sind von leicht geneigten jurassischem Gestein (200 - 140 Ma). Nach Craddock kann dies als ein Hinweis auf eine zeitgleiche Orogenese interpretiert werden, die dann bedeutenden Einfluß auf die Entwicklung des Scotia Bogens und der antarktischen Halbinsel gehabt haben müßte. Craddock führt zwei strukturelle Fakten an, aus denen er die Ellsworth Orogenese im frühen Mesozoikum ansiedelt. Zum einen wurden im Ellsworth Gebirge wie auch im nördlich Teil des Pensacola Gebirges verfaltete Sedimentgesteine aus dem Perm (280 - 245 Ma) gefunden. Zum anderen weisen radiometrische Untersuchungen an granitischen Intrusiven auf ein Alter im späten Trias (230 - 200 Ma) hin.

Das Anden Orogen bildete sich während der Kreide bis hin zum frühen Tertiär. Nach STOREY (1991) unterteilt es sich in die antarktische Halbinsel, Thurston Island und Marie Byrd Land. Es erstreckt sich über die antarktische Halbinsel nach Westen bis zum Rockefeller Gebirge nahe dem Rossmeer. In vielen weiteren Veröffentlichungen wird eine tektonische Verbindung zwischen den südamerikanischen Anden und der antarktischen Halbinsel über den Scotia Bogen postuliert. Das Grundgestein des Anden Orogens hat kontinentalen Charakter. Es besteht hauptsächlich aus Gneisen und Graniten. Altersbestimmungen geben für diese Gesteine ein Alter im mittleren Paleozoikum an, weiter zurückreichende Datierungen für andere Gesteine sind durchaus möglich, nur wurden keine Hinweise auf präkambrisches Gestein und damit auf ein noch höheres Alter gefunden. Das Grundgestein der antarktischen Halbinsel ist bedeckt von einer Folge verformten sedimentären Gesteinschutts. Aus dessen Lagen und einigen wenigen Fossilien werden diese Schichtungen dem späten Paleozoikum zugerechnet. Die strukturellen Gegebenheiten sowohl des atlantischen als auch des südlichen Teils der

antarktischen Halbinsel zeigen Verfaltungen und leichte Metamorphosen im Prä-Jura an, möglicherweise zeitgleich zur Ellsworth Orogenese. Plutonite aus der Kreide und dem frühen Tertiär sind gewöhnlich auf der ganzen antarktischen Halbinsel zu finden. Diese Plutonite, sowie das Gestein in das sie intrudiert sind, unterliegen ungestörtem vulkanischen und sedimentären Gestein aus dem späten Känozoikum verstreut über die gesamte antarktische Halbinsel. Über diese kurze Betrachtung hinaus geben GRIKUROV ET AL. (1972), sowie ZNACHKO-YAVORSKIY (1972) in ihren Darstellungen der tektonischen Gliederung der Antarktis detaillierte Beschreibungen auch dieses Gebiets. Insbesondere beschreibt Grikurov in komprimierter Form die tektonische Evolution der Antarktis. KRYLOV (1972) entwickelte eine geochronologische Beschreibung der Antarktis mit Hilfe der radiometrischen Altersbestimmung von über den Randbereich der Antarktis verteilten Gesteinsproben. Eine aktuelle Zusammenfassung der tektonischen Entwicklungsgeschichte der Antarktis gibt PAECH (1991).

5.3 Regionale Tektonik des Weddellmeeres

Ausgehend von der tektonischen Gliederung des antarktischen Kontinents soll im weiteren die regionale Tektonik im Bereich des Weddellmeeres kurz beschrieben werden. MARSH (1991) beschreibt die augenfälligsten Trends von tektonischen Brüchen im Randgebiet des südöstlichen Weddellmeeres. Marsh leitet diese Trends ab aus topographischen Diskontinuitäten auf Satellitenbildern von Coats Land und Dronning Maud Land. Von diesen Trends und offenliegendem Gestein ausgehend sind Rückschlüsse auf morphologische Änderungen des Untergrunds möglich. Die von Marsh ausgearbeiteten Trends fügen sich ohne Widerspruch in die tektonische Gliederung von CRADDOCK (1972) ein. Es lassen sich dabei vier grundlegende Trendlinien ableiten:

Trend A verläuft subparallel zur Küste des Weddellmeeres. Dazu passen nach Marsh die topographischen Strukturen der Penksökket - Jutulstraumen Rinne, das Escarpment des Theron Gebirges und der südöstliche Rand des Filchner Schelfeises. Verwerfungen wahrscheinlich späten paleozoischen oder frühen mesozoischen Ursprungs im Pensacola Gebirge, Maxima in der Verteilung von jurassischen Intrusionsgängen in Vestfjella und Ahlmannryggen und dominante Spaltenstrukturen im präkambrischen Ahlmannryggen und Borgmassivet folgen jeweils der gleichen Trendausrichtung. Die Orientierung des Kontinentalrandes resultiert nach Marsh aus Paralleltrends im Zentralteil des Kontinentalhanges, dem Hauptteil der Explora Wedge kartiert nach HINZ (1981) und vorgelagerten magnetischen Anomalien, kartiert nach BARKER (1980).

Trend B verläuft subparallel zum Auftreffen der Gletscherströme auf das Pensacola Gebirge. Er wird gestützt durch frühe paleozoische und mesozoische Verfaltungen im Pensacola Gebirge und magnetische Lineamente, die nach BEHRENDT ET AL. (1991) als Ergebnis einer Verfaltung der Dufek Intrusion im frühen Jura interpretiert wird.

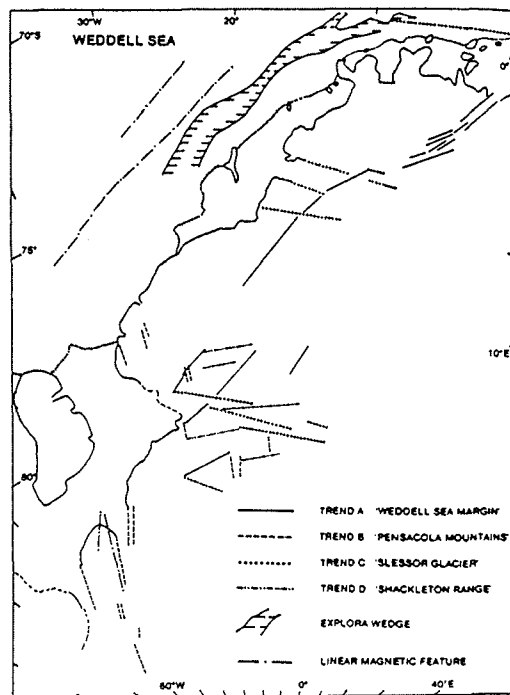


Abb. 5.4: Trends von Lineamenten und Strukturen der Kontinentgrenze nach MARSH (1991)

Trend C teilt den stumpfen Winkel zwischen den Trends A und B. Er ist besonders ausgeprägt im östlichen Rand der Shackelton Range und im östlichen Dronning Maud Land, wo er subparallel zum Kontinentalrand verläuft. Maxima in der Verteilung von Spalten in Vestfjella, Ahlmannryggen und Borgmassivet und die Streichrichtung von Faltungen in Kirvanveggan und unabhängig davon Verwerfungen gleichen Trends am Rand des Academy Gletschers im Pensacola Gebirge bildeten die Grundlage für diese Kategorie.

Trend D verläuft subparallel zur südlichen Begrenzung der Shackelton Range. Er selbst ist auf das Gebiet der Shackelton Range und des Theron Gebirges begrenzt. Er gründet sich auf eine dominierende Verwerfungslinie und eine spätkambrische bis frühpaleozoische Foliation in der Shackelton Range.

Die Geradlinigkeit und Dominanz des Trends A 'Weddellmeer Rand' führt bei Marsh zur Vermutung, ihn mit einem Extensionsrift während des Gondwana-Aufbruchs in Verbindung zu setzen. Ein solches Modell impliziert, daß die Südküste Afrikas und die Küste von Dronning Maud Land vollständig voneinander entkoppelt waren, als sich Afrika relativ zum Südrand des heutigen Weddellmeeres fortbewegte. Marsh entwickelt aus diesen Trends ein mögliches Riftsystem für den Randbereich der Ostantarktis (Abb. 5.5). Dabei ist für die weitere Arbeit das Rift-Dreieck südlich des Falkland-Plateaus von außerordentlich hohem Interesse.

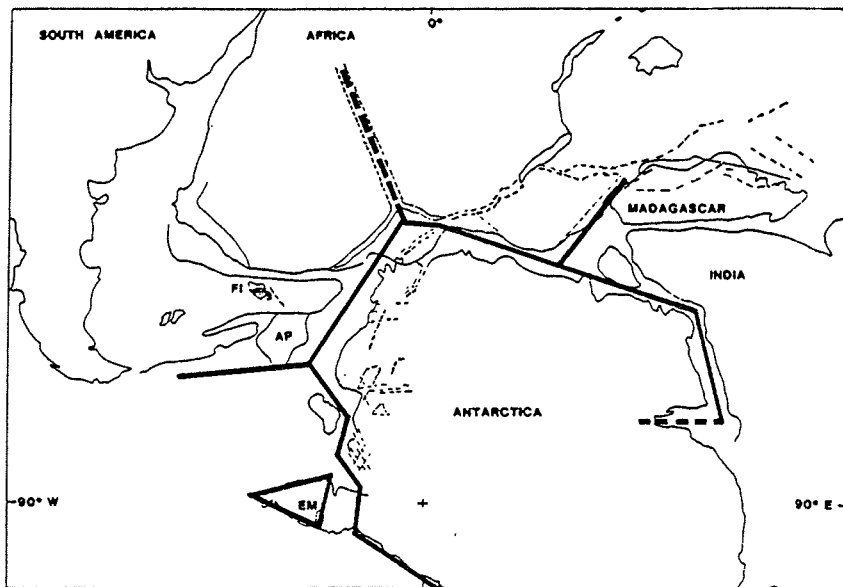


Abb. 5.5: Riftsystem um die Ostantarktis nach MARSH (1991)

Das von Marsh vorgestellte Riftsystem beruht auf einer Gondwana-Rekonstruktion nach LAWVER UND SCOTESE (1987) für die kontinentalen Einheiten, die Position des Alghulas-Plateaus (AP) entstammt ALLEN UND TUCHOLKE (1981), die Position der Falkland Islands (FI) entstammt MITCHELL ET AL. (1986). Die Ellsworth Mountains (EM) sind in ihrer heutigen Position in Abb. 4.5 verzeichnet.

Ein weiterer Entwurf für die regionale Struktur des Weddellmeeres wurde von KRISTOFFERSEN UND HINZ (1991) entwickelt. Er wird in den weiteren Kapiteln noch ausführlich vorgestellt und diskutiert werden.

6 BISHERIGE GEOPHYSIKALISCHE DATENSÄTZE

6.1 Bathymetrie

Bathymetrische Strukturen im Bereich des südlichen Weddellmeeres wurden in den letzten 10 Jahren zumeist während Expeditionen des AWI, der BGR und des BAS in detaillierter Weise im Verlauf von Schiffsexpeditionen kartiert. Zusätzliche bathymetrische Information erschließt sich aus den Daten der NARE Expeditionen. Die neu gewonnenen Bathymetriedaten werden standardmäßig mit den existierenden GEBCO Karten (Abb. 6.1) verglichen und nach sorgfältiger Prüfung integriert.

Bislang konzentrierten sich die bathymetrischen Vermessungsarbeiten vorrangig auf die Erstellung großmaßstäbiger Karten in den Hauptuntersuchungsgebieten am Antarktischen Kontinentalhang, dessen Verlauf und Struktur nur unvollständig bekannt war (SCHENKE, 1992). Der Kontinentalhang ist durch eine starke Zerklüftung geprägt, die überwiegend in Nord-Süd-Richtung verläuft. Erst der Einsatz von Fächerecholoten ermöglicht in diesem Gebiet zuverlässige geowissenschaftliche Untersuchungen und damit verknüpfte terrainkorrelierte Interpretationen. So wurde 1986 nördlich des Kapps Norwegia der Wegener Canyon entdeckt, ein etwa 25 km langer und bis zu 1300 m tiefer Einschnitt in den unteren Kontinentalhang. Der obere Kontinentalhang beginnt bei etwa 400 m Wassertiefe unterhalb der heutigen Schelfeiskante und geht bei etwa 1700 m in den mittleren Hang über.

Diese Arbeiten werden wegen ihrer grundlegenden Bedeutung fortgeführt. Ein neuer Aspekt der bathymetrischen Vermessungsarbeiten ist dessen Funktion als ground-truth Messung zur Satellitenaltimetrie. Damit erlangen Satelliten-Subtracks, die in ihrer Lage zwar teilweise isoliert erscheinen, in Zukunft jedoch große Bedeutung für die flächenhafte Auswertung der Satellitendaten.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sind besonders die neu bearbeiteten Gebiete um das Explora-Escarpment, die Polarstern-Bank und das Andenes-Escarpment von Bedeutung. Die neuen Kompilationen aus diesen Gebieten standen für diese Arbeit noch nicht in vollem Umfang zur Verfügung. Die Datengewinnung und -verarbeitung in diesen Bereichen basiert fast ausschließlich auf der Arbeit des AWI (HINZE, 1991).

So ist die in Abb. 6.2 dargestellte bathymetrische Karte des Weddellmeeres eine Kompilation aus Isobathen im Abstand von 400 m und den im seismischen Interpretationssystem Landmark in eigener Arbeit detailliert kartierten Meeresbodenhorizonten aus den marin-seismischen Messungen. Die Kartierung der Meeresbodenhorizonte fügt sich problemlos in die bathymetrischen Tiefenlinien ein. So konnte eine bathymetrische Karte mit einem Konturlinienabstand von 100 m erzeugt werden, in denen auch kleinräumige Strukturen wie die der Polarstern-Bank sichtbar werden. Sie bietet wesentlich mehr Information als die aufgearbeiteten GEBCO Karte in Abb. 6.1. Die Tiefenlinien aus Abb. 6.2 wurden im folgenden auch zur Berechnung der Bougueranomalie verwendet.

Die Karte zeigt einen etwa 500 km breiten Schelf vor dem Filchner-Ronne-Schelfeis. Der Schelf zeigt im Inneren eine sehr homogene Struktur aus der nur zwei bathymetrische Auffälligkeiten hervorstechen: die General Belgrano Bank bei 47°W und 73°S, sowie den Crary Trough, der sich östlich von Berkner Island etwa parallel zur Küste von Coats Land bis zum Schelfrand erstreckt. Der Schelfrand fällt in nördlicher Richtung über eine Strecke von bis zu 300 km in das Tiefseebecken des Weddellmeeres ab. Die Karte löst leider noch nicht die zum Teil schroffe und zerklüftete Struktur des Schelfrandes auf, wie sie während der letzten FS Polarstern Expedition ANT XII in Abschnitten beobachtet werden konnte (JOKAT, 1995, mündliche Mitteilung).

In östlicher Richtung, entlang der Küste von Dronning Maud Land, verringert sich die Schelfbreite auf ca. 200 km. Der Schelfrand ist hier wesentlich steiler ausgeprägt und Klüftungen etwa senkrecht zur Küstenlinie sind deutlich zu erkennen. Die stärksten Einschnitte werden durch Canyons geformt, die kleinsten durch lokale Rinnen. Die steilste Hangneigung ist im Bereich des Explora-Escarpments, zwischen 18°W und 10°W, zu verzeichnen. Das Explora-Escarpment endet relativ abrupt bei 10°W, dort schließt sich ein auf bis 200 km verbreiteter Schelf im Norden an.

Nördlich des Crary Troughs schließt sich der Crary Fan an (KUYAAS UND KRISTOFFERSEN, 1991). Dieser 'trough-mouth fan' läuft über den Schelfrand hinaus und verliert in Abb.6.2 an bathymetrischer Signatur bei etwa 72°30'S. Das maximal kartierte Wirkungsfeld der Fanstruktur reicht jedoch im Norden bis knapp 71°S (DEBATIST ET AL, 1994). Verfolgt man demnach die Strömungsstruktur weiter nach Norden, so deutet sich an, daß sie sich zwischen der Polarstern-Bank und einem südlicher gelegenen Seamount fortsetzt und die Polarstern-Bank in einem weiteren Strömungskanal von Norden umspült. FÜTTERER UND MELLES (1990) sprechen den Crary Trough als Filchner Depression an und geben eine ausführliche Darstellung über die Sedimentverteilung vor und auf dem Filchner Schelf.

Die Polarstern-Bank liegt bei 71°20'S und 24°45'W (Abb. 6.3). Ein weiterer Seamount ist zu erkennen bei 72°S und 24°20'W. Die Polarstern-Bank erhebt sich bathymetrisch nur etwa 400 m aus einer umgebenden Wassertiefe von 4100 m, der südlichere nur etwa 300 m aus einer Wassertiefe von 3900 m. Ein dritter Seamount bei 72°25'S und 22°45'W kann in Abb.5.3 nicht aufgelöst werden, ist aber in Detailkartierungen sowie durch seismische Linien belegt (JOKAT, 1995).

Das Andenes-Escarpment ist nicht durch eine erkennbar isolierte bathymetrische Struktur belegt. Es sollte zwischen 38°W und 28°W auf der Höhe von 73°S zu suchen sein (KRISTOFFERSEN UND HINZ, 1991). Die Bathymetrie in diesem Gebiet wird durch einen flaches Auslaufen des Schelfrandes in die Tiefsee-Ebene charakterisiert, im Osten bei 30°W begrenzt durch eine von SSW nach NNO verlaufende Rinne.

Die bathymetrischen Hauptrichtungen verlaufen demnach parallel zum Schelfrand. Von dieser Richtung weichen nur zwei Strukturen ab, der Ausläufer des Crary Troughs und die Seamountkette, die etwa senkrecht auf die Küste von Dronning Maud Land zuläuft.

Diese Richtung lässt sich nur in der Klüftung des Schelfrandes durch glazial geprägte Erosion auf tektonischen Schwäche zonen (KAUL, 1991) wiederfinden. Eine detailliertere bathymetrische Karte des beschriebenen Gebietes ist in Kürze verfügbar. Sie wird mit einer Auflösung von 50 m für die Isobathen auch wesentlich verbesserte Möglichkeiten für gravimetrische Korrekturen und Modellierungen bieten.

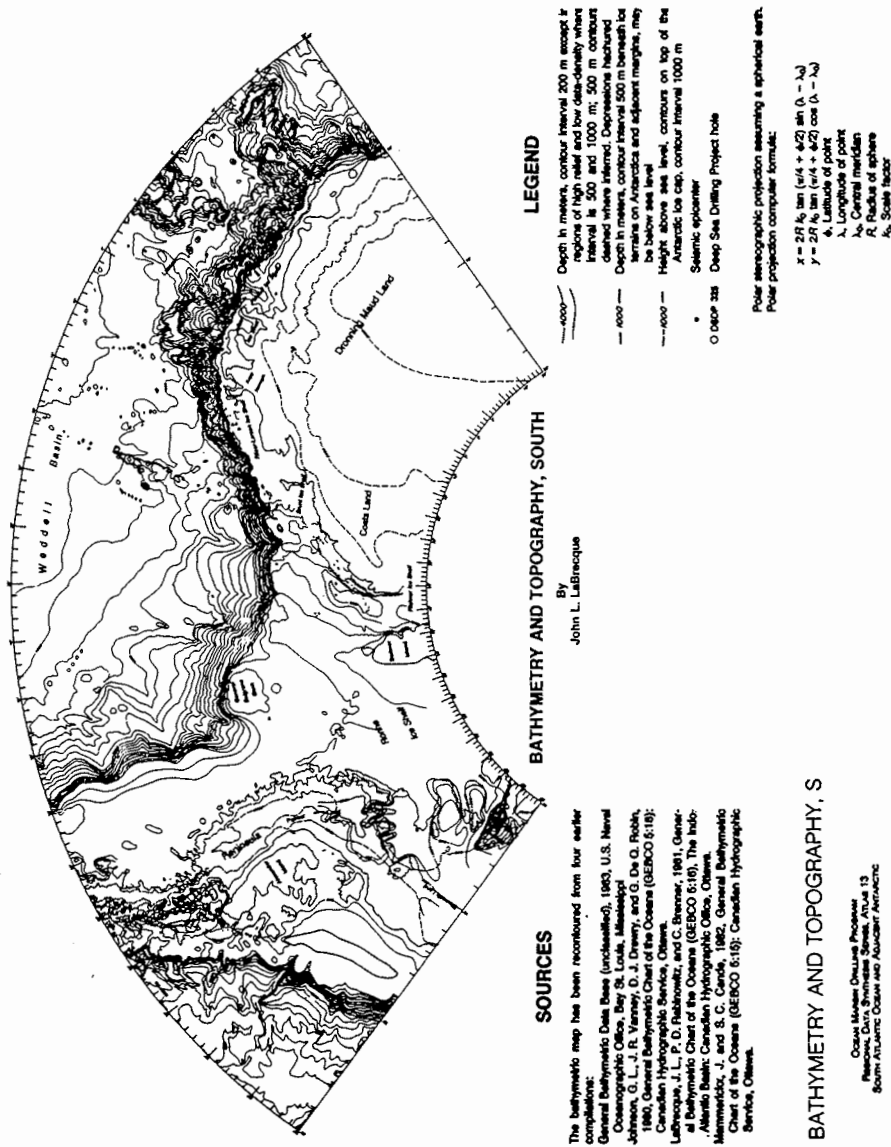


Abb. 6.1: Bathymetrie und Topographie für das Gebiet des Weddellmeeres nach LABRECQUE (1984)

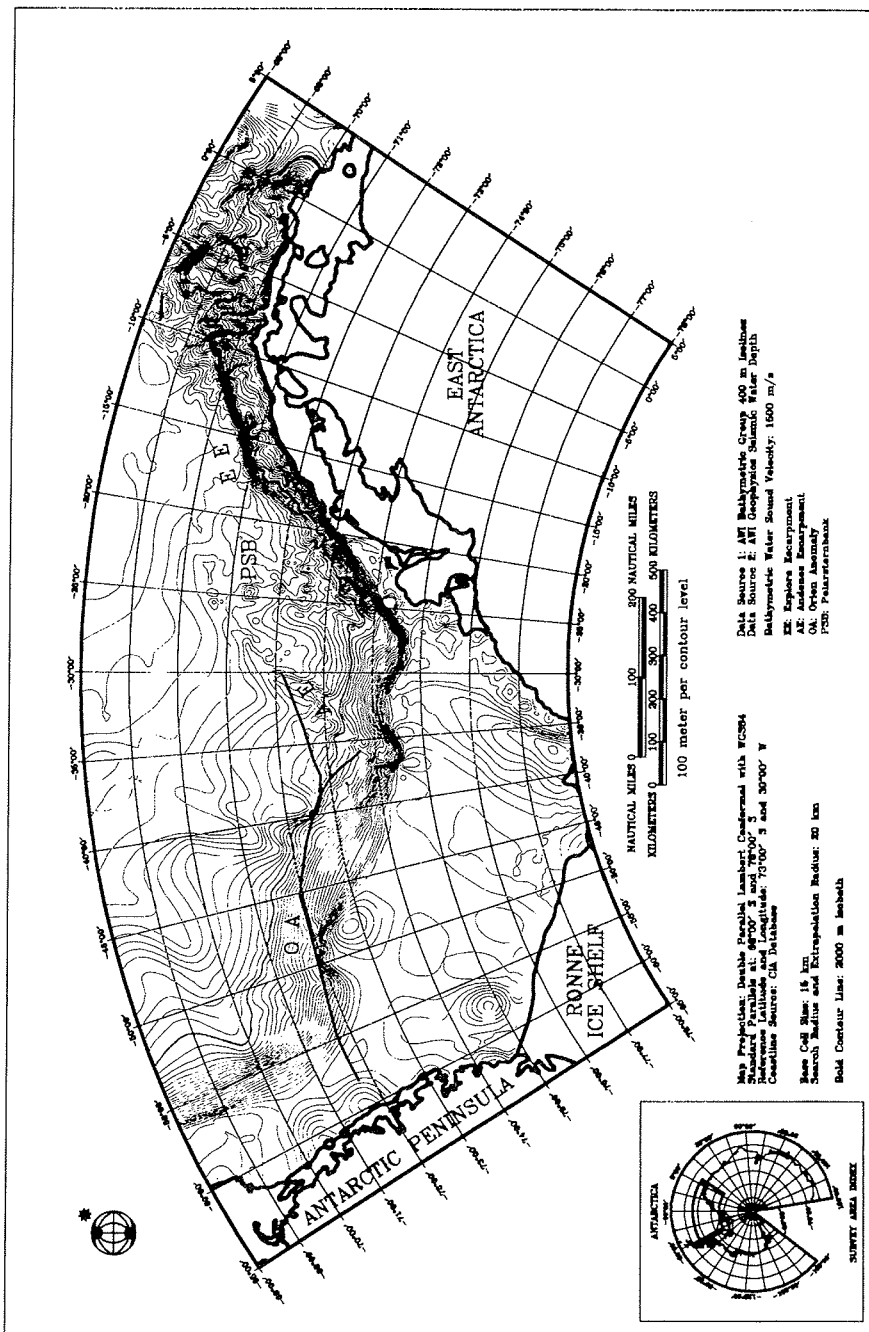


Abb. 6.2: Bathymetrie des Weddellmeeres, kompiliert aus bathymetrischen und seismischen Profilen, Konturlinienabstand 100 m

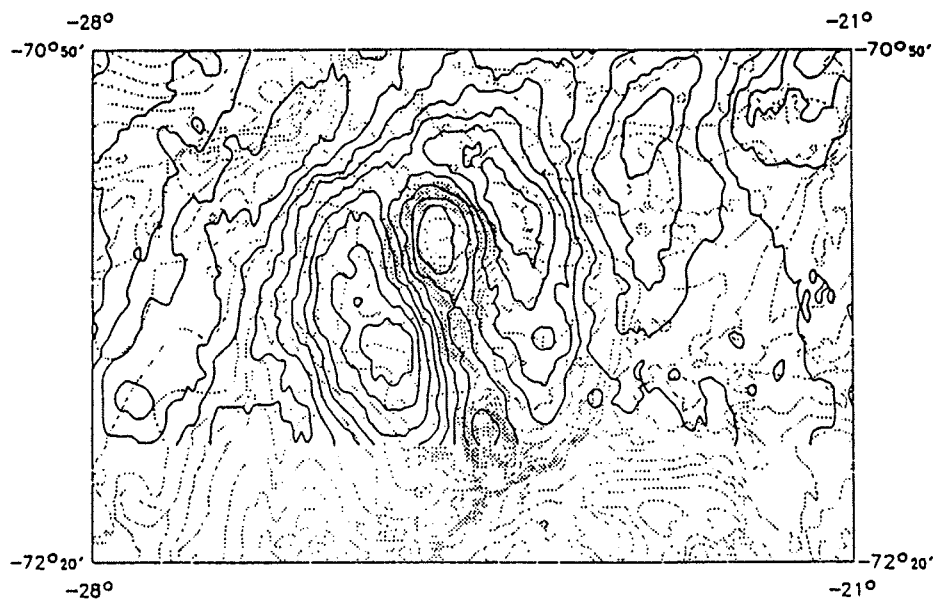


Abb. 6.3: Bathymetrie (gepunktete Linien) und Gravimetrie (durchgezogene Linien) über der Polarstern-Bank; aus HINZE (1991)

6.2 Marine Gravimetrie und Satellitenaltimetrie

Seit Mitte 1990 sind die Daten der Geodätischen Mission des GEOSAT Satelliten (US Navy Geodetic Satellite) südlich von 60°S freigegeben. Seitdem werden in den meisten Veröffentlichungen über den Südatlantik die marine Gravimetrie und die Satellitenaltimetrie miteinander verknüpft, beide Themen sollen auch im folgenden im Zusammenhang betrachtet werden.

Die vorliegenden Arbeiten über Satellitenaltimetrie im Südatlantik werden dominiert von amerikanischen Beiträgen, die mit durchaus unterschiedlichen Ansätzen zur Auswertung der Satellitendaten arbeiten (HAXBY ET AL., 1983; RAPP, 1986; SANDWELL, 1992). Die bislang hochauflösendste Bearbeitung von GEOSAT-Daten, die auch in Zukunft auf die ERS-1-Daten angewandt werden wird, ist beschrieben in MCADOO UND MARKS (1992). Sie können Wellenlängen bis hinab zu etwa 20 km auflösen und erreichen dafür eine maximale Feldauflösung von etwa 2 mGal. Die südliche Begrenzung der GEOSAT-Daten liegt bei 72°S. Weiter südlich davon liegen augenblicklich nur Gravimetriedaten aus Schiffsmessungen vor. Erst die weitere Auswertung von ERS-1-Daten wird auch über 72°S hinaus zusätzliche Information über das Schwerefeld aus Satellitendaten liefern.

Die oben genannten Veröffentlichungen befassen sich im Schwerpunkt mit der Aufbereitung und Darstellung der Satellitendaten, weniger mit der geophysikalischen Beschreibung und Interpretation. Eine Ausnahme ist der Schwereatlas für die südlichen Ozeane, erarbeitet von MCADOO UND MARKS (1992). Im Hinblick auf die Öffnungsgeschichte des Weddellmeeres ist jedoch zunächst die von SMALL UND SANDWELL (1992a) durchgeführte Untersuchung über den Zusammenhang der gravimetrischen Rauheit und der Spreizungsrate von Interesse. Auf Basis der GEOSAT-Daten zwischen 72°N und 72°S wurde eine globale Karte der gravimetrischen Rauheit der Meeresgebiete erstellt. Darin erscheinen Gebiete mit einer hohen Spreizungsrate glatter als solche langsamer Öffnung (Abb. 6.4). Gebiete, die kontinentalen Ursprungs sind und heute unter den Meeresspiegel abgesunken sind, sollten hier ebenfalls glatte gravimetrische Konturen aufweisen. Für die Diskussion des Weddellmeeres sind die Südostküste Afrikas, das Agulhas-Plateau, das Mozambique-Plateau, das Madagaskar-Plateau, die Südspitze Südamerikas sowie das Falkland-Plateau von Interesse, wie schließlich das nördliche Weddellmeer selbst. Bis auf die direkte Begrenzung des Falkland-Plateaus und der Südspitzen Afrikas und Südamerikas sind alle vorhergenannten Gebiete durch eine minimale gravimetrische Rauheit ausgezeichnet. Diese Beobachtung wird in der weiteren Diskussion der Gondwana-Rekonstruktion (Kapitel 10) noch eingehend besprochen. Das Gebiet geringer gravimetrischer Rauheit des nördlichen Weddellmeeres zwischen 50°W und 0°W formt sich schweifartig aus und deutet somit eine Kopplung von einer relativ schnell verlaufenden Extensions- und Rotationsbewegung an. Dies wird im Detail aus dem Schwereatlas von MCADOO UND MARKS (1992) bestätigt. In exakt diesem Gebiet findet sich das 'herringbone structure',

in dem sich gravimetrische Anomalien widerspiegeln, die parallel zueinander verschoben und um einen gemeinsamen Punkt rotiert erscheinen (Abb.6.5). Tatsächlich läßt sich der Rotationspol im Bereich der Nordspitze der Antarktischen Halbinsel aufgrund magnetischer Anomalien festlegen (LABRECQUE, 1994, mündliche Mitteilung). Südlich des Musters zeigen die Satellitendaten keinerlei großräumige, einheitliche Kontur. Jedoch ist die Polarstern-Bank bei 71°30'S und 335° als singuläres gravimetrisches Hoch erkennbar. Im Norden ist sie von einem weiteren gravimetrischen Hoch umschlossen. Östlich davon deutet sich das Explora-Escarpment zwischen 354° und 350° an (Abb.6.5). In dieser Abbildung ist zu beachten, daß die geophysikalisch interessante Feinstruktur im Bereich von -30 mGal bis +30 mGal kontrastreich herausgearbeitet wurde, die dargestellten Anomalien entsprechen nicht dem tatsächlichen Schwerefeld.

Für die südliche Ergänzung ab 72°S lag bislang eine Kompilation mariner Schweredaten im Rahmen des ODP Programms vor (Abb.6.6). Sie zeigt eine großmaßstäbige gravimetrische Kartierung der Küstenanomalien in Form von Isolinien der Freiluftschwere. Strukturen wie die Anomalie des Explora-Escarpments sind darin nur grob erkennbar. Dieser zentrale Teil des Untersuchungsgebietes, der Bereich des Explora-Escarpments und des Wegener Canyons, ist in mehreren Veröffentlichungen von U. C. Herzfeld und A. L. Brodscholl detailliert behandelt worden (BRODSCHOLL, 1992, HERZFELD, 1992A, HERZFELD, 1992B, HERZFELD UND BRODSCHOLL, 1994). Diese Veröffentlichungen basieren sämtlichst auf den Datensätzen der FS Polarsternfahrten ANT VI/3 und ANT VIII/5, ihr Inhalt kann somit im folgenden zusammenfassend diskutiert werden. Die Abb. 6.7a und 6.7b zeigen in ihrem Kartenausschnitt das Explora-Escarpment. Das Gebiet des Explora-Escarpments ist durch zwei Stufen begrenzt. Die südliche Stufe, der obere Kontinentalhang, fällt von etwa 600 m auf 1800 m ab, die nördliche von 3000 m auf bis zu 4600 m (Abb. 6.7a). Die zum Teil bis 40° steile Nordflanke bildet das eigentliche Escarpment. Es wird vom Wegener Canyon und weiteren kleineren Canyons senkrecht zur Küstenlinie durchbrochen. Die Neigung zwischen den Stufen und darin enthaltenen Klüftungen sprechen einer Beschreibung als ein Plateaus (wie des Mozambique-Plateaus) südlich der Nordflanke zuwider. Nach Süden hin nimmt das Escarpment wesentlich an Struktur ab. Nördlich des Explora-Escarpments erstreckt sich eine negative Freiluftanomalie von etwa 35 mGal (Abb. 6.7b). HERZFELD UND BRODSCHOLL (1994) lassen es offen, ob es sich hier um einen topographischen Kanteneffekt oder eine Krustenausdünnung nördlich des Escarpments handelt. Sie vermuten aber die in diesem Gebiet verlaufende Ozean-Kontinent-Grenze nördlich des Escarpments. Ob der Wegener Canyon durch bloße glaziale Erosion oder durch tektonische Prozesse entstanden ist, ist nach HERZFELD UND BRODSCHOLL (1994) aus den lokal vorliegenden gravimetrischen Daten allein nicht zu entscheiden. Der unmittelbare Vergleich von Bathymetrie und Magnetik mit der Gravimetrie legt nahe, eine reine Erosion zur Anlage des Wegener Canyons auszuschließen. HERZFELD UND BRODSCHOLL (1994) schließen aus Verlauf und Lage des Explora-Escarpments einen Zusammenhang mit dem Andenes-Escarpment aus.

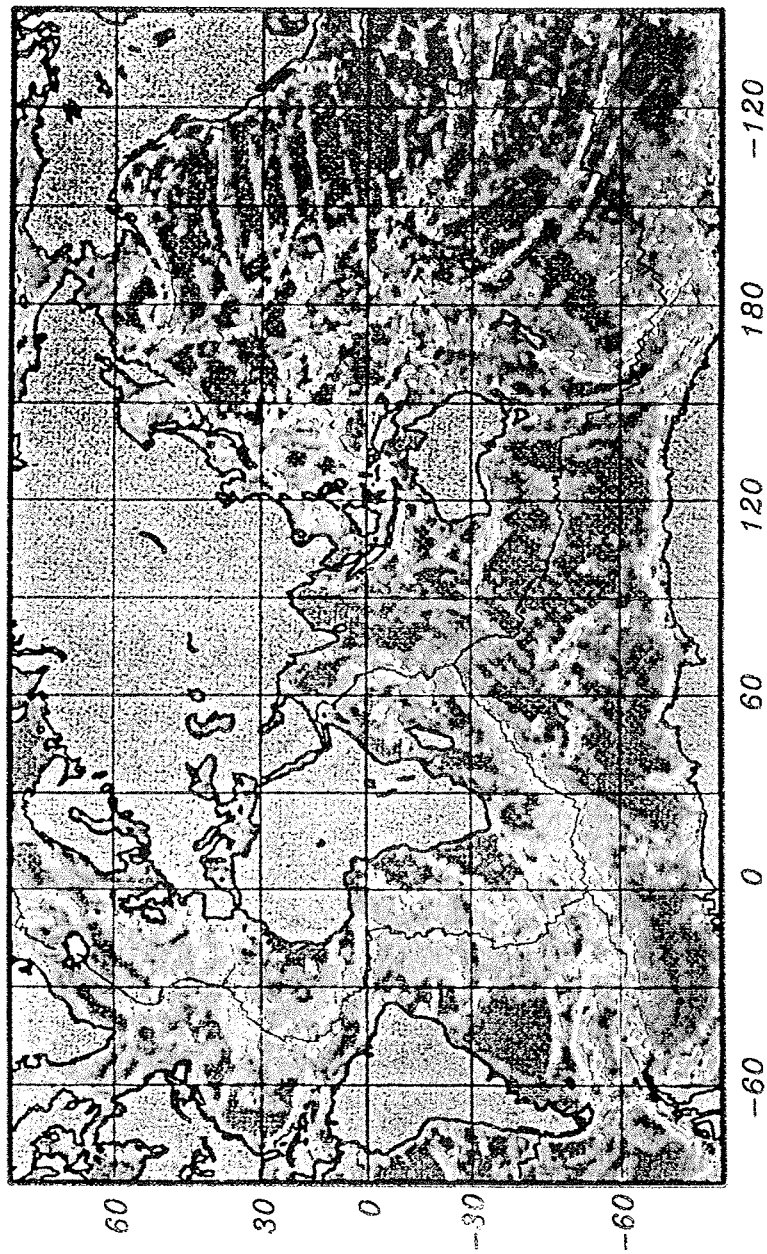


Abb. 6.4: Globale Karte der gravimetrischen Rauheit nach SMALL UND SANDWELL (1992)

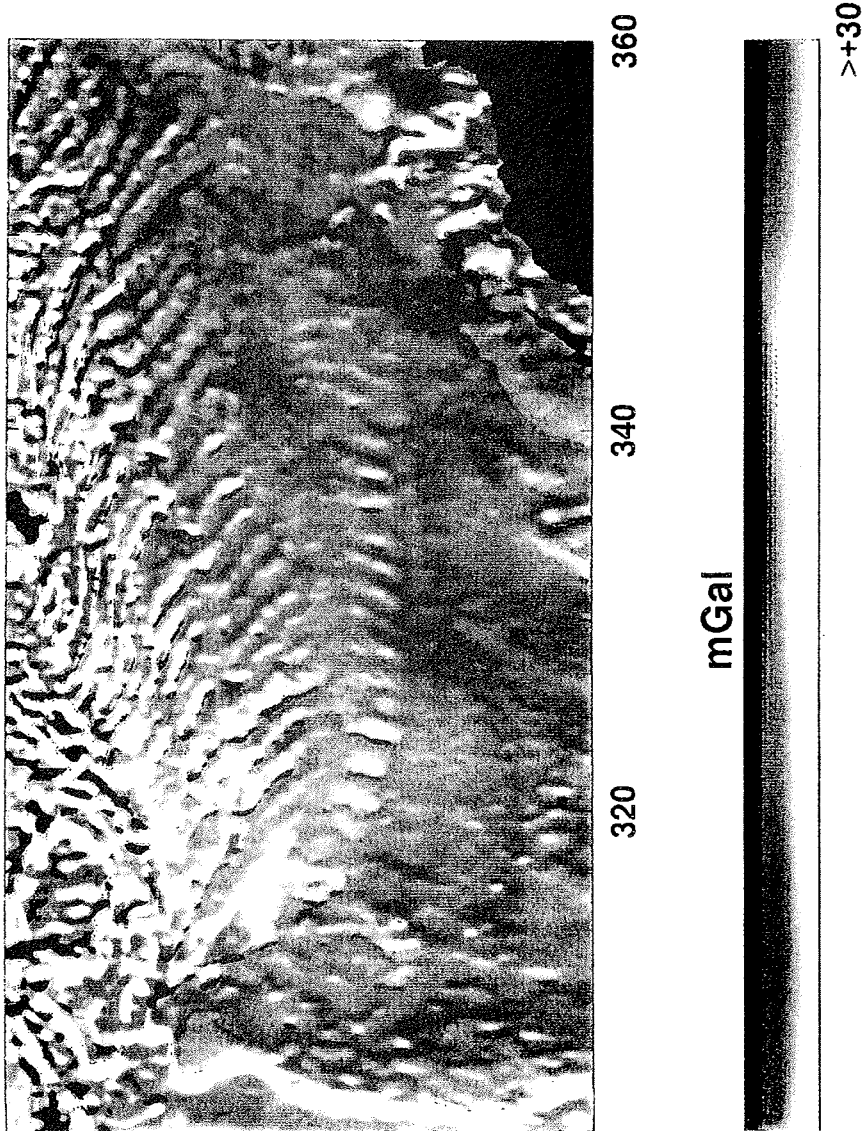
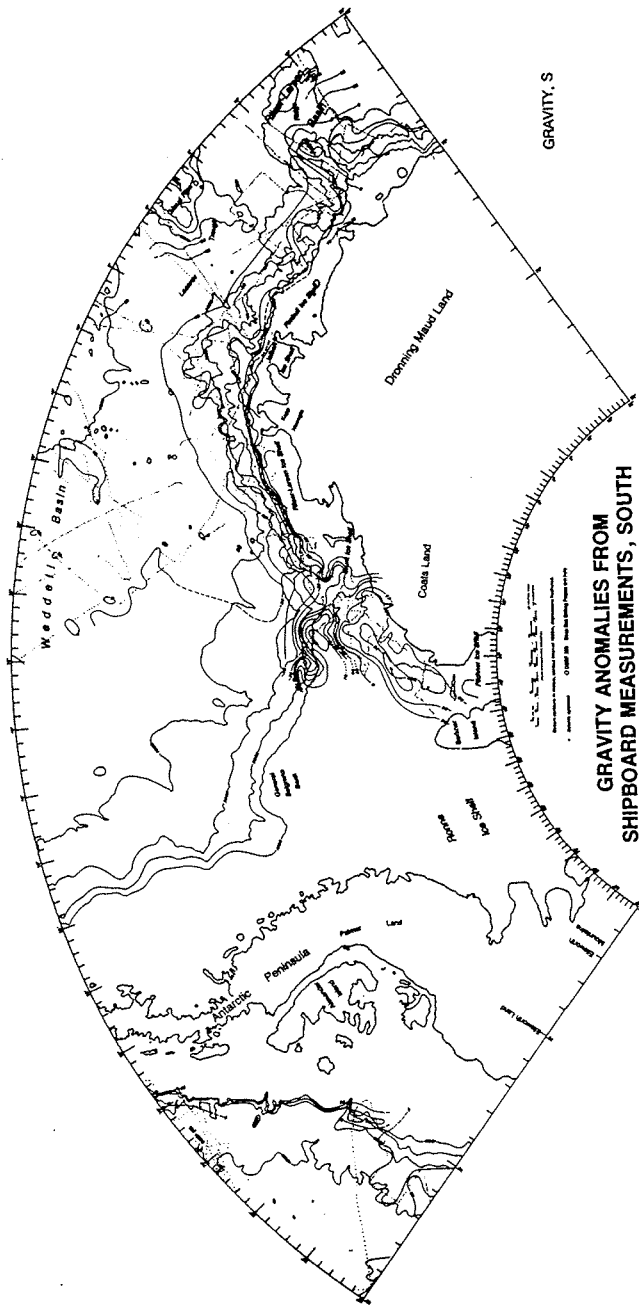


Abb. 6.5: Schwerekarte des Weddellmeeres nach MCADOO UND MARKS (1992)



GRAVITY ANOMALIES FROM SHIPBOARD MEASUREMENTS, SOUTH

By
Eduardo A. Rodriguez, John L. LaBrecque,
and Yngve Kristoffersen

Compiled by Marcel Kessler

Technical assistance by Virginia A. Hippon and Andrea Rodigan

SOURCES

Geological Survey of Greenland and Research
Institute, West Greenland
Lunar Orbiter Geological Observatory
Columbia University
National Oceanographic Data Center
National Oceanographic and Atmospheric Administration
Marine Antarctic Research Expedition
1967-71

LEGEND

— Gravity anomaly in milligals, contour interval 20 mgals
- - - - - Data points along track line

Abb. 6.6: Schwerekarte des Weddellmeeres nach RODRIGUEZ

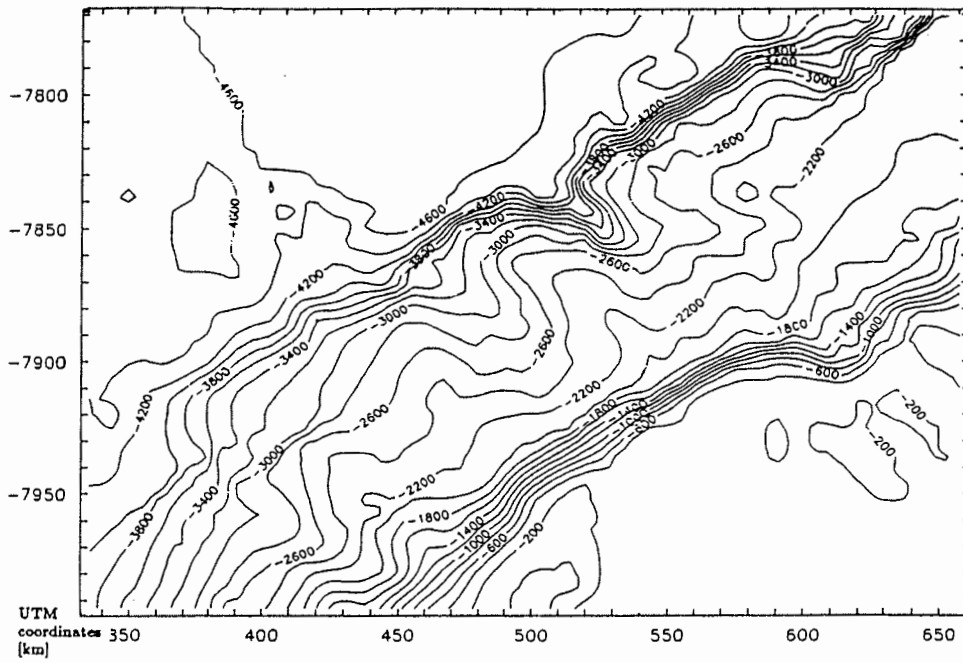


Abb. 6.7a.: Bathymetrie des Explora-Escarpments in m nach HERZFELD (1992)

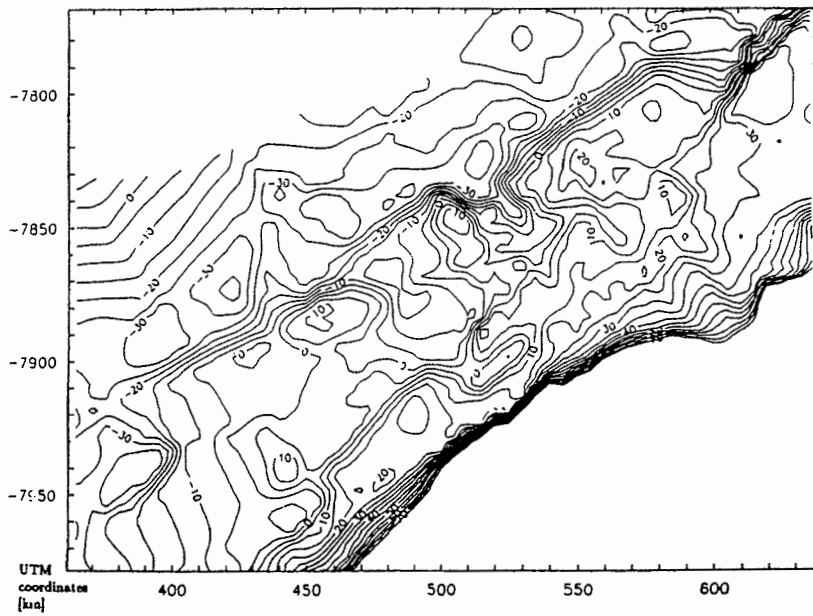


Abb. 6.7b.: Schwerekarte des Explora-Escarpments in mGal nach HERZFELD (1992)

6.3 Marine Magnetik

Für das südwestliche Weddellmeer existieren nur wenige Datensätze der marinen Magnetik; erst in angrenzenden Gebieten wie in der Lazarevsee vor der Küste von Dronning Maud Land und in der südlichen Scotiasee sind neben Einzelprofilen auch flächenhafte Untersuchungen schwerpunktmäßig über den Verlauf magnetischer Spreizungsanomalien durchgeführt worden. Dies liegt zum einen daran, daß der südliche Bereich des Weddellmeeres oft und dicht mit Eis bedeckt ist und zum anderen daran, daß hier nur wenige und schwer identifizierbare Spreizungsanomalien vorkommen. Als Konsequenz wird in freiem Fahrtwasser des südlichen Weddellmeeres die Seismik der marinen Magnetik vorgezogen. Parallelmessungen gibt es kaum, unter anderem wegen der damit verbundenen technischen Probleme. Bis heute sind südlich von 70°S zwischen der Antarktischen Halbinsel und 30°W keine Spreizungsanomalien kartiert. Erst nordöstlich der Polarstern-Bank werden wieder identifizierbare Spreizungszonen diskutiert, allerdings sind sie nur schwach belegt. Eine flächenhafte Überdeckung des Weddellmeeres ist nur über aeromagnetische Datensätze zu erreichen. Auch die Aeromagnetik zeigt im südlichen Weddellmeer keine offensichtlichen Spreizungsanomalien, dafür aber langgestreckte, ausgedehnte magnetische Lineationen, die im weiteren noch angesprochen werden.

In der zentralen Scotiasee, zwischen 55°S und 62°S, diskutieren HILL UND BARKER (1980) anhand vielfacher aber nicht immer sicher identifizierter Spreizungsanomalien ein langsames Back-Arc-Spreading im Miozän, das die Entwicklung der Plattengrenzen zwischen Südamerika und der Antarktis beschreibt. BARKER UND LAWVER (1988) bearbeiteten und interpretierten die Datensätze dieses Gebietes weiter im Hinblick auf die Plattenbewegungen zwischen Südamerika und der Antarktis in den vergangenen 50 Ma. Neues und qualitativ hochwertiges Datenmaterial läßt eine gesicherte Interpretation zu, dabei werden die Ergebnisse von 1980 weitgehend bestätigt. Die für das Weddellmeer wichtigste Schlußfolgerung daraus ist, daß die Bewegung zwischen der afrikanischen und antarktischen Platte und somit die Entwicklung des Weddellmeeres in den letzten 50 Ma durch die Änderungen der Driftrichtung zwischen der Antarktischen Halbinsel und Südamerika und dem Entstehen neuer Bruchzonen in der Scotiasee vor etwa 20 Ma nur unwesentlich beeinflusst wurden. So hat zum Beispiel die Entstehung der South-Sandwich-Bruchzone die Rotationspole zwischen Afrika und der Antarktis kaum verschoben, die Spreizungsraten nahmen danach nur wenig ab.

Am östlichen Rand des Weddellmeeres, nördlich von Dronning Maud Land im Gebiet zwischen 16°O und 24°O konnte BERGH (1977) die Spreizungsanomalien M1 bis M9 (113 bis 121 Ma) sicher bestimmen. Das Alter nimmt dabei nach Süden zur Küste hin zu. Südlich von M9 vermutet Bergh weitere Anomalien bis zu M16. BERGH (1987) erweitert die Identifikation der magnetischen Anomalien um M0 am Nordrand des Astridrückens und diskutiert auf dieser Basis eine Rekonstruktion für das Mesozoikum, die einen klaren Zusammenhang mit den Spreizungsanomalien im Somaliabecken erkennen lassen.

RAO ET AL. (1992) kartieren in gleichen Gebiet erstmals M11 und M12, sowie die Gebietsgrenzen für den Einfluß der magnetisch ruhigen Periode in der Kreide, leider von Osten aus nur bis hin zu 10°O, aber es deutet sich in westlicher Richtung eine keilförmige Erweiterung an. FULLERTON ET AL. (1994) diskutiert den Einfluß der magnetisch ruhigen Periode der Kreide in Magsat Anomalien im südwestlichen Indischen Ozean bis 0°W und 70°S, also bis an den östlichen Rand des Weddellmeeres. Die Übereinstimmung mit Rao in der Kartierung des Gebietes, das sich während dieses Kreideabschnitts entwickelte, ist überraschend gut. Nach Fullerton überdeckt das Gebiet die Maud Kuppe und mündet ab 10°O in südwestlicher Richtung in das Weddellmeer.

Zwischen 1974 und 1978 wurden vom British Antarctic Survey mit der RRS Bransfield und der RRS Shackleton zumeist während der fünf Versorgungsfahrten zur britischen Überwinterungssation Halley marine Magnetikprofile aufgenommen. Die Profile sind im groben parallel angelegt und lassen erstmals eine regelmäßige Anomalienstruktur erkennen. Dies ist einer der ersten flächendeckenden geophysikalischen Datensätze im Bereich des zentralen und südlichen Weddellmeeres. Der nördliche Teil der Profile wurde bereits in BARKER UND HILL (1980) diskutiert, dessen Ergänzung um den südlichen Teil folgt in BARKER UND JAHN (1980). Sie kartierten die Grenze korrelierbarer Anomalien zwischen ihren Profilen bei etwa 70°S. Weiter südlich nimmt die Amplitude der Anomalien stark ab. Erst südlich von 73°S werden wieder hohe Amplituden in den Anomalien registriert, jedoch wesentlich langwelliger als für ozeanische Kruste üblich. Der langwellige Trend in diesem von Barker und Jahn als 'ruhige Zone' bezeichnetem Gebiet streicht parallel zur Küstenlinie. Eine tiefere Interpretation des südlichen Weddellmeeres ließen diese Daten noch nicht zu, sie zeigten aber schon die strukturellen Grenzen an. Die in den kommenden Jahren zusätzlich gesammelten Daten flossen schließlich in die Kompilation einer umfassenden Aeromagnetikkarte ein, die später eingehend diskutiert wird.

Im Gebiet des zentralen Weddellmeeres sammelte zudem die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, marine Magnetikprofile während der Expeditionen mit dem Schiff 'Explora' in 1978 und FS Polarstern in 1985/86. ROESER UND SPIEB (1987) kommentierten in ihrem Fahrtbericht die vermessenen Profile als geomagnetisch schwer interpretierbar. Die entsprechend geringe Anzahl von ausgewerteten Profilen findet sich in der Hauptsache im Großraum des Andenes-Escarments. Weitere BGR Magnetikprofile wurden während der FS Polarstern Expedition ANT VIII 6 in 1990 aufgenommen, jedoch sämtlich östlich des Meridian.

Das Alfred-Wegener-Institut setzte marine Magnetometersensorik zwischen 1986 und 1992 auf insgesamt fünf Fahrtabschnitten des FS Polarstern ein. Die Magnetikdatensätze von 1986/87 und 1988/89 sind in den Fahrtberichten nicht erwähnt, andere Quellen zur Beschreibung dieser Daten ließen sich nicht auffinden. Die Datensätze aus 1987/88 und 1989/90 sind nur spärlich dokumentiert und ausgewertet. Im Bereich des Explora-

Darüber hinaus sind allein die Daten aus 1992 in vollem zur Verfügung stehenden Umfang bearbeitet und werden im weiteren noch besprochen.

MARTIN UND HARTNADY (1986) benutzten die bis dahin bekannten Spreizungsanomalien im Südatlantik zur Bestimmung der Kontinentalverschiebungen nach dem Gondwana-Aufbruch von ihrer heutigen Lage bis zurück zu M21 (etwa 147 Ma vor heute). Aus der Rekonstruktion wird deutlich, warum sich im südöstlichen Weddellmeer keine erkennbaren Spreizungsanomalien finden lassen. So bleibt für die Öffnungsphase des südöstlichen Weddellmeeres der Zeitraum von 150 bis etwa 180 Ma. In dieser Phase des mittleren Jura finden jedoch kurz aufeinanderfolgende Änderungen der Polarisation des Erdmagnetfeldes statt, die heute selbst in alter ozeanischer Kruste aus weniger problematischen Gebieten nicht mehr aufzulösen sind. Nach JOHNSON UND PARISO (1993) ist für ozeanische Kruste älter als 40 Ma ein leichter Anstieg der Anomalienamplituden mit dem Alter zu verzeichnen, eine Abschwächung des magnetischen Anomalienmusters in ozeanischer Kruste mit der Zeit findet nur in den ersten 30 Ma statt. Ein 'Alterungsproblem' ist damit ausgeschlossen.

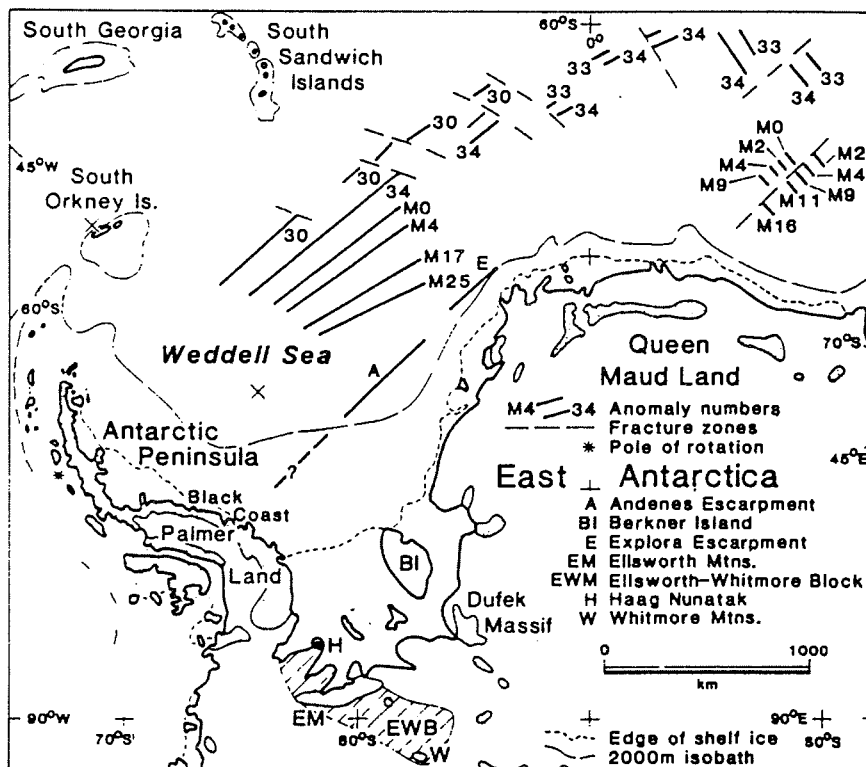


Abb. 6.8: Mesozoische Spreizungsanomalien im Weddellmeer und der Lazarevsee (ELLIOTT, 1991)

ELLIOTT (1991) hat die mesozoischen Spreizungsanomalien des Südatlantiks und des Weddellmeeres in einer Kartenkompilation zusammengefaßt (Abb.6.8). Die älteste identifizierbare Anomalie ist M25 (etwa 155 Ma vor heute) und liegt etwa 200 km nordöstlich des Explora-Escarpments. Somit ist sie nach den gängigen Gondwana-Rekonstruktionen nach dem Extensions-Rifting zwischen Afrika und der Ostantarktis angelegt worden und im Anfang einer Rotationsbewegung in der Drift zwischen diesen Kontinenten. Demnach läßt sich ein reines "Extensions-Rifting" auf eine Dauer von etwa 20 Ma beschränken. Schreibt man den langwelligen Anomalien vor dem Filchner-Ronne-Schelfeis kontinentalen Ursprung zu, so läßt sich damit der Bereich für die Kontinent-Ozean-Grenze nach Süden abschätzen und mit dem Zeitraum des Extensionsrifting nach Norden. Diese Diskussion wird jedoch im folgenden noch detailliert ausgetragen.

6.4 Aeromagnetik

Im Bereich des Weddellmeeres und der angrenzenden Gebiete des Filchner Schelfeises und der Antarktischen Halbinsel sind drei Programme zu nennen, die über mehrere Jahre hinweg großflächige aeromagnetische Kartierungen vorgenommen haben. Dazu zählen die insgesamt neun russischen Befliegungen zwischen 1977 und 1989 von SEVMORGEOLOGIA (SMG) in St. Petersburg, die acht Befliegungen zwischen 1973 und 1987 des British Antarctic Survey (BAS) in Cambridge und das amerikanisch-argentinisch-chilenische Flugprogramm USAC. Die russischen und britischen Daten wurden vom BAS aufbereitet und veröffentlicht. Sie bilden die Grundlage für eine Aeromagnetikkarte, die durch die Hinzunahme der Daten aus dem USAC das Weddellmeer völlig überdeckt.

Die Kombination von russischen und britischen Daten allein überdeckt ein Fläche von 2,8 Millionen km² und erstreckt sich von 2° W bis 15° W sowie von 62° S bis 86° S. Darin enthalten ist die gesamte Antarktische Halbinsel, Ellsworth Land, große Teile der Küstenregion über Coats Land bis hin zum westlichen Dronning Maud Land. Diese Kompilation wurde 1992 von JOHNSON ET AL. veröffentlicht, auf die früheren Einzelkompilationen wird hier nicht weiter eingegangen.

Die BAS Daten wurden mit einem zweimotorigen Turboprop Flugzeug vom Typ Twin Otter mit einem einzelnen Protonen-Präzessions-Magnetometer am äußeren Tragflächenende digital registriert. Die Registrierrate betrug 1 Hz, entsprechend einer Distanz von etwa 62 m zwischen den Meßwerten. Zur Navigation wurden im allgemeinen Doppler-Antennensysteme und eine Flugwegkamera benutzt. Die damit erzielten Positionsgenauigkeiten liegen bei etwa 1-2 km. Die Flughöhe betrug über Gebirgen im allgemeinen 2500 m über NN, 760 m über NN über dem Filchner Schelfeis und 150 m über Grund im Gebiet des Ellsworth Gebirges. Die russische Aeromagnetik wurde mit einer Iljushin IL-14, ebenfalls mit einem einfachen Protonen-Präzessions-Magnetometer aufgenommen. Die Größe des Flugzeuges erfordert dabei die Unterbringung des

Magnetfeldsensoren in einer 5 m langen Heckverlängerung. Die Daten wurden im zeitlichen Abstand von 15 s aufgezeichnet, entsprechend einer räumlichen Distanz von etwa 1 km. Der Fluglinienabstand betrug bei weiträumiger Vermessung 20 km, bei kleinräumigen 5 km, hier wurden die Datendichte auf 1 Hz erhöht. Alle Erkundungen wurden mit Dopplernavigation geflogen bis auf die letzte in 1989, hier wurde erstmals ein GPS Empfänger eingesetzt. Die Positionsgenauigkeit ist also der des BAS vergleichbar. Die Flughöhe betrug 2000 m über NN, soweit es die Topographie zuließ. Sämtliche Aeromagnetikdaten wurden mit den IGRF Werten der jeweiligen Epoche reduziert und auf ein Niveau angepaßt. Die resultierende Karte zeigt Isolinien im Abstand von 100 nT und gibt räumliche Strukturen der Magnetfeldanomalien größer als 35 km wieder.

Es konnten drei weitläufige, positive Magnetfeldanomalien kartiert werden. Die südpazifische Randanomalie (Pacific-Margin-Anomaly, PMA) am Westrand der Antarktischen Halbinsel, die Explora-Anomalie (EA) entlang der Küste von Dronning Maud Land und Coats Land sowie letztlich die Orion-Anomalie (OA), die dem Filchner-Ronne Schelfeis vorgelagert ist.

Die südpazifische Randanomalie ist im Gegensatz zur Explora- und Orion-Anomalie keine homogene und in sich geschlossene Struktur. Sie erstreckt sich über 2000 km entlang der Westseite der Antarktischen Halbinsel mit einer maximalen Breite von etwa 120 km. Damit reicht sie von der Nordspitze der Antarktischen Halbinsel über den nordwestlichen Ausläufer von Ellsworth Land nach Süden bis Thurston Island. Lokale Maxima erreichen Anomaliewerte zwischen 200 und 600 nT mit Wellenlängen um 20 km. Es ist bemerkenswert, daß die Anomalie allein die westliche Hälfte des mesozoischen Randbogens der Halbinsel überdeckt und nicht dessen Gesamtstruktur. GARRETT (1991) interpretiert diese Anomalie als eine komplexe Batholit Struktur mit zwischengeschichteten mafischen Gängen, die wahrscheinlich mit marinen Bruchzonen zu korrelieren ist. In der zeitlichen Entwicklung der PMA gab es mindestens zwei prägende Stadien, die mittels radiometrischer Altersbestimmung an mafischen Gesteinsproben aus Extensionsphasen der Antarktischen Halbinsel bestimmt wurden (MENEILLY ET AL., 1987): die erste Phase wurde datiert auf das Obere Jura an Gabbro im nördlichen Palmer Land, die zweite auf das Känozoikum anhand von plutonischen Gesteinsproben westlich der Küste von Graham Land.

Im östlichen Teil der Aeromagnetikkartierung verläuft entlang der Küsten von Coats Land und Dronning Maud Land die Explora-Anomalie. Sie hat eine durchschnittliche Breite von 140 km und eine Länge von etwa 1500 km. Die maximalen Anomalien erreichen 400 nT. Sie kann mit hoher Wahrscheinlichkeit assoziiert werden mit seewärts geneigten Reflektoren vulkanischen Ursprungs, die unterhalb des seismischen Grundgebirges von Hinz und Kristoffersen (1991) kartiert worden sind. Es wird allgemein angenommen, daß ihr Ursprung in einer subärischen Spreizung während eines frühen Stadiums des Gondwana-Aufbruchs liegt. Entlang der Küste von Dronning Maud Land ist der Explora-

Anomalie vorgelagert. Diese wird von KRISTOFFERSEN UND HINZ (1991) als ein Failed-Rift-Basin-System angenommen.

Am nördlichen Rand der Eisfront, im Zentralteil der Befliegungen, finden sich in ost-westlicher Richtung laufende magnetische Lineationen. Weiter im Norden davon erstreckt sich das westliche Ende der Orion-Anomalie (GHIDELLA ET AL., 1991). Sie ist benannt nach dem Forschungsflugzeug des USAC, einer Orion P3 der U.S. Navy. Die Orion-Anomalie beinhaltet Anomalien von bis zu 250 nT und Wellenlängen von 250 km und größer. Sie wird von LABRECQUE ET AL. (1986) als Ozean-Kontinent Grenze angesehen, somit kommt dieser Anomalie im südlichen Weddellmeer eine besondere Bedeutung zu. Das Wissen um den Verlauf und die Mächtigkeit des Grundgebirges im südlichen Weddellmeer und entlang des Ronne-Filchner Schelfeises spielt eine Hauptrolle im Verständnis der Lage der Krustenblöcke der Westantarktis und der Kartierung der Ozean-Kontinent-Grenze westlich von Dronning Maud Land.

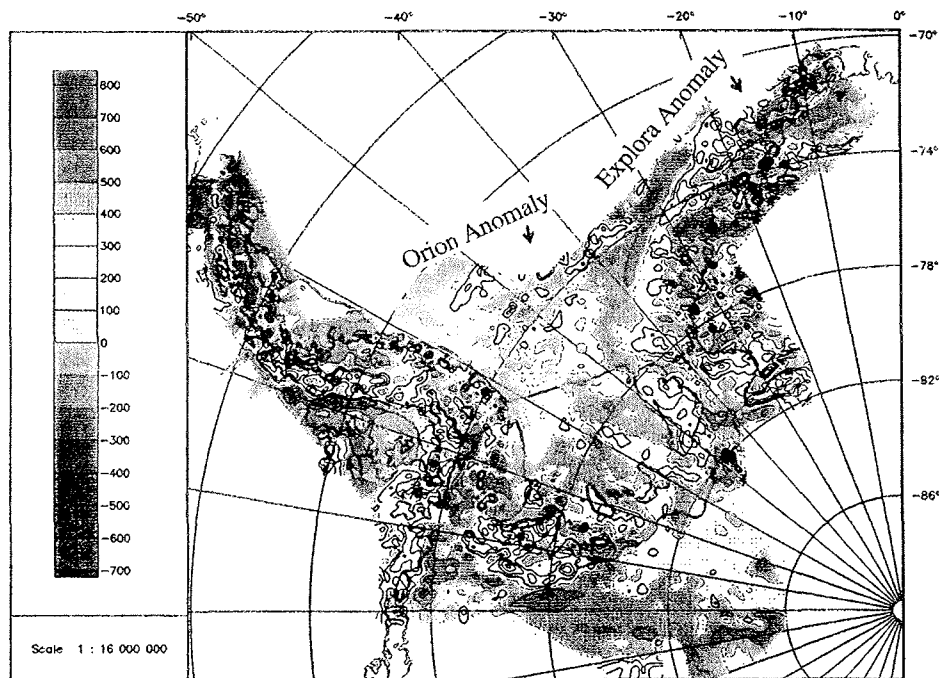


Abb. 6.9: Aeromagnetik-Karte für das Weddellmeer, kompiliert aus russischen und britischen Daten (JOHNSON, 1992)

Südlich der Orion-Anomalie, im Gebiet des Filchner-Ronne Schelfeises, sind nur schwache, ausgedehnte Anomalien mit Gradienten kleiner als 5 nT/km kartiert. Eine Abschätzung der Tiefenlage des magnetischen Basements ergibt eine Sedimentmächtigkeit von mehr als 15 km unterhalb des Schelfeises (MASLANYJ ET AL., 1991). Diese Abschätzung wird durch seismische und gravimetrische Daten bestätigt (KAMENEV UND IVANOV, 1983; IVANOV, 1989). Im Bereich von Berkner Island können nord-südlich streichende Anomalien beobachtet werden, weiter südlich - im Gebiet von Henry und Korff Icerise - verlaufen schwächere Anomalienzüge, die schließlich in nordwest - südöstlicher Richtung verlaufen.

Erst das Gebiet um die Haag Nunataks hebt sich wieder mit Anomalien bis 1000 nT in Ost-West Trend von der Umgebung ab. Die Abgrenzung nach Norden hin ist sehr scharf ausgeprägt. Diese Charakteristik bestätigt deutlich die Haag Nunataks als eigenständigen Krustenblock.

Das westliche Dronning Maud Land ist gekennzeichnet durch Anomalien im Bereich von 400 bis 450 nT, die in ost-westlicher Richtung verlaufen, nahezu senkrecht zur Explora-Anomalie. Sie zumeist sind um die 450 km lang und um die 30 bis 50 km breit. Anomalien der Vestfjella in Dronning Maud Land lassen sich korrelieren mit jurassischen Basalten und mafischen Intrusionen gleicher Altersstufe.

Vervollständigt wird die bei JOHNSON (1992) vorgestellte Kompilation der Aeromagnetik durch die Daten des USAC. Besonders für den zentralen Bereich des Weddellmeeres ergibt sich danach ein geschlossenes Bild, in dem die Ausdehnung und Lage der Orion-Anomalie voll erfaßt wird. Sie verläuft im Gebiet zwischen 60°W und 40°W etwa parallel zu 72°S, knickt zwischen 40°W und 35°W leicht nach Süden ab, zwischen 35°W und 30°W leicht nach Norden und endet bei 27°W und 72°S. In ihrer direkten Verlängerung findet sich bei 25°W und 71,5°S die Polarstern-Bank. Es gibt keine Hinweise für eine direkte Verbindung zwischen Polarstern-Bank und Orion-Anomalie, im Gegenteil: beide Anomalien sind scharf gegeneinander begrenzt (LABRECQUE, 1994, mündliche Mitteilung). Dieses Bild widerspricht einer Einheit von Orion-Anomalie und Explora-Anomalie wie bei GHIDELLA (1991) aus Magsat-Daten abgeleitet.

Weitere Befliegungen in diesem großen Rahmen fanden 1986 südlich von der Georg-von-Neumayer Station mit den Polarflugzeugen des Alfred-Wegener-Instituts durch die Universität Münster statt, diese Daten sind allerdings noch unveröffentlicht. Eine aktuelle Befliegung des Gebietes südöstlich von Halley Base und des südlichen Randes des Filchner Schelfeises durch das Alfred Wegener Institut in 1994/95 wird den bis jetzt bekannten Datensatz ergänzen. Eine Gesamtkompilation aus den britischen, russischen und USAC Daten wurde auf einem Treffen unter dem Titel 'Weddell Sea Tectonics and Gondwana Breakup' 1994 in Cambridge vorgestellt.

6.5 Marine Seismik

Im Gebiet des Weddellmeeres waren folgende Institutionen aktiv: BGR, AWI, BAS, NARE, sowie die ehemalige UDSSR. Eine Übersicht über die vorliegenden seismischen Mehrkanalprofile ist in KAUL (1991) gegeben. Nach 1990 war im Bereich des Weddellmeeres in erster Linie das AWI und Sevmorgeologia, St. Petersburg, in der Aufnahme weiterer Profile aktiv. Eine aktuelle Übersicht über die heute vorliegenden Profilverteilung im Weddellmeer gibt Abb. 6.10.

Eine erste umfassende Interpretation der seismischen Daten im Weddellmeer gaben Kristoffersen und Hinz (1991). Aufgrund der damals vorliegenden Profile interpretierten sie das Andenes- und Explora-Escarpment als einheitlich zusammenhängende Struktur. Dessen Nordgrenze wurde als Ozean-Kontinent-Grenze interpretiert. Die innere Struktur zwischen der Nordgrenze des 'Explora-Andenes-Escarpments' und der Küste von Dronning Maud Land wurde weiter differenziert. HINZ UND KRAUSE (1982) fanden in ihren seismischen Aufzeichnungen die 'Weddell Sea continental margin unconformity', die das akustische Basement von den aufliegenden Sedimenten trennt. Ihr Alter wird von KRISTOFFERSEN UND HINZ (1991) als mittleres Jura angenommen. Unterhalb dieser Grenze finden sich zwischen 20°E und 35°W entlang der Küste nord- bzw. seewärts geneigte Reflektoren ('dipping reflectors'), sie bilden nach KRISTOFFERSEN UND HINZ (1991) das Explora-Wedge. Nördlich davon, im Bereich zwischen 25°W und 35°W finden sich ebenfalls geneigte Reflektoren, diesmal jedoch entgegen einer Basement-Depression südwärts geneigt. Die Basement-Depression ist eingebettet zwischen den beiden Gebieten geneigter Reflektoren. Die Ursache der 'dipping reflectors' wird in HINZ (1981) dargelegt. Demnach stellen sie basaltische Extrusionen dar, die in Extensionsphasen mit hoher vulkanischer Intensität angelegt wurden. Der massive Ausfluß der vulkanischen Gesteine über gedehnte kontinentale Kruste geschah unter subärischen Bedingungen oder im Flachwasserbereich. Die Neigung der Reflektoren ist bedingt durch der Extension nachfolgenden Krustendepression.

KRISTOFFERSEN UND HINZ (1991) interpretierten die Basement-Depression und die 'dipping reflector'-Gebiete nördlich und südlich davon als ein 'failed rift', das im Nordosten durch das Explora-Andenes-Escarpment beschnitten wird (Abb. 6.11a-c). Das ursprüngliche Riftsystem sollte sich über eine Gesamtlänge von etwa 700 km von Berkner Island bis etwa 20°W erstrecken und im Spannungsfeld des initialen Gondwana-Aufbruchs (ca. 180 Ma vor heute) entstanden sein. KRISTOFFERSEN UND HINZ (1991) schlugen dafür den Namen 'Weddell-Rift' vor. In einer zweiten Riftphase im späten Jura bis Anfang Kreide (ca. 150 Ma vor heute) sollte dann eine transtensionale Bewegung zwischen Südafrika und der Antarktis das Explora-Andenes-Escarpment gebildet haben, das somit das erste Rifting im Norden davon überprägt hat. Mit dem zweiten Rifting sollte dann auch die Öffnung des Weddellmeeres durch 'sea-floor-spreading' eingeleitet worden sein.

MILLER ET AL. (1990) verwarfen die These eines zusammenhängenden 'Explora-Andenes-Escarpments' aufgrund neuer seismischer und bathymetrischer Daten. Danach verliert sich die seismische und bathymetrische Signatur des Explora-Escarpments im Süden bei etwa 18°W. Weitere Profile im Bereich zwischen 19°W und 27°W zeigten ebenfalls keine Belege für die von KRISTOFFERSEN UND HINZ (1991) vorgeschlagenen Ozean-Kontinent-Grenze. Statt dessen wurde die Polarstern-Bank entdeckt. Sie liegt eben in der von Kristoffersen und Hinz vorgeschlagenen Verlängerung zwischen Andenes- und Explora-Escarpment. MILLER ET AL. (1990) interpretierten die Polarstern-Bank als ein Basementhoch, auf dessen Scheitel noch ein Teil der ursprünglichen Sedimentbedeckung erhalten geblieben sein sollte (Abb. 6.13). Daraus wurde eine untere Zeitgrenze für die Entstehung der Polarstern-Bank auf die späte obere Kreide (um 100 Ma vor heute) abgeschätzt.

KAUL (1991) untersuchte den Kontinentalrand des Weddellmeeres vor Kap Norwegia und teilte seine Entwicklung in drei Stadien ein. Als erstes wurden bis zum mittleren Jura die 'dipping reflectors' in WSW-ENE verlaufender Richtung gebildet. Später wurden bis zum Übergang Jura zur Kreide grobklastische Elemente im Flachwassermilieu abgelagert, die 'Weddell Sea continental margin unconformity' bildete sich damit aus. Ab der unteren Kreide dominieren nun tonige bis siltige Fazies. Diese Beobachtungen sind noch im Einklang mit der Theorie von HINZ UND KRISTOFFERSEN (1991). KAUL (1991) bestätigt weiter das Explora-Escarpment als tektonisch angelegte Struktur und interpretiert den Wegener Canyon als Erosionsform auf einer tektonischen Schwächezone.

Die Arbeit von HÜBSCHER (1994) stellt eine neue Hypothese über den Verlauf des Kontinentalrandes im südlichen Weddellmeer auf und diskutiert mögliche Öffnungsszenarien anhand eines erweiterten seismischen Datensatzes. Hübscher kommt zu dem Schluß, daß der Kontinentalrand des Weddellmeeres nördlich des Explora-Escarpments liegt (Abb. 6.14) und sich im weiteren westlichen Verlauf an der südlichen Riftschulter des 'failed rift' entlang erstreckt, konform mit der Explora-Anomalie aus der Aeromagnetik (JOHNSON, 1992). Diese Folgerung wird gestützt durch eine Kartierung des akustischen Basements (Abb. 6.12).

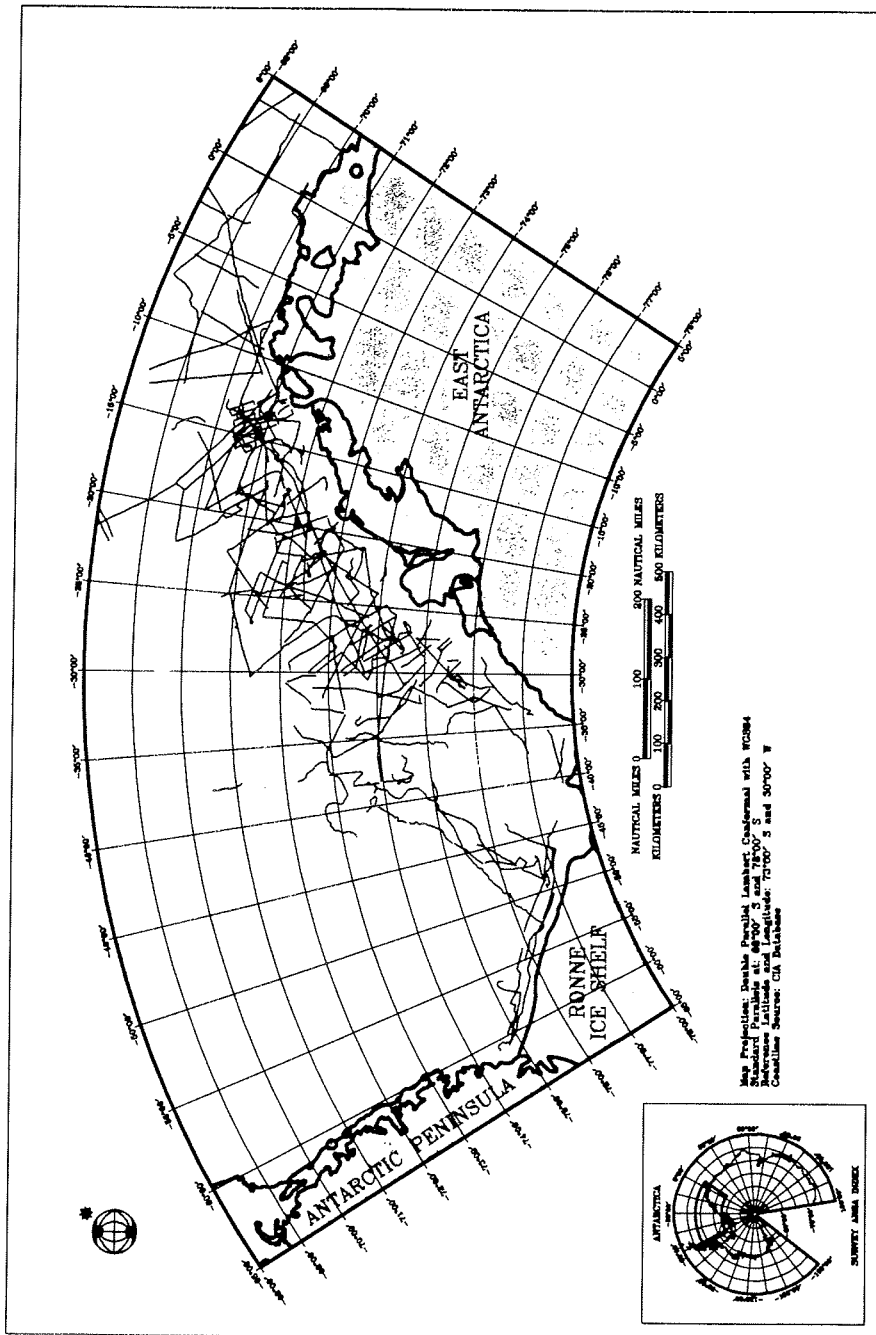


Abb. 6.10: Verteilung und Lage der seismischen Profile im Weddellmeer

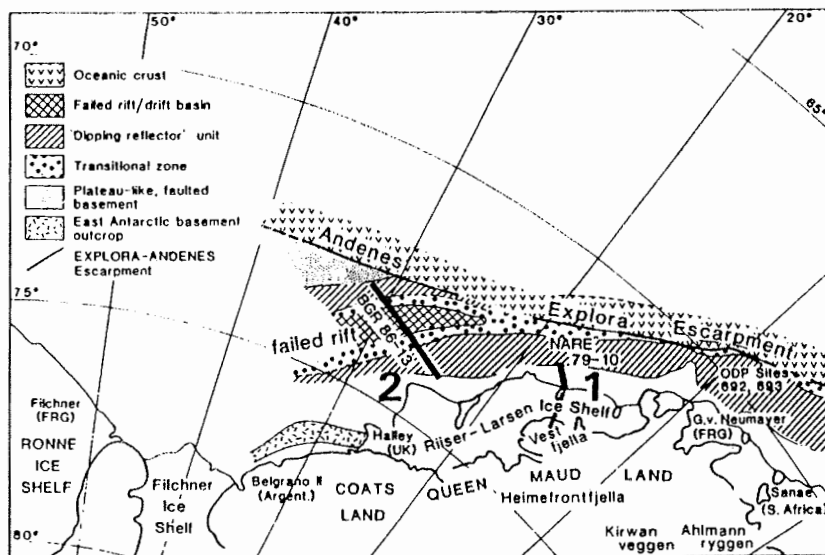


Abb. 6.11a: Geologisches Modell des südlichen Weddellmeeres nach KRISTOFFERSEN UND HINZ (1991)

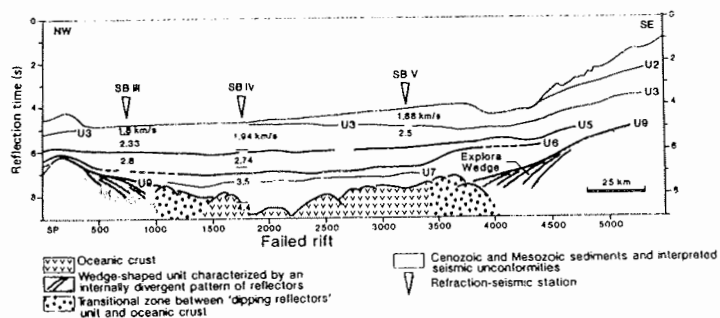


Abb. 6.11b: Interpretation des seismischen Profils BGR-86-13 nach KRISTOFFERSEN UND HINZ (1991)

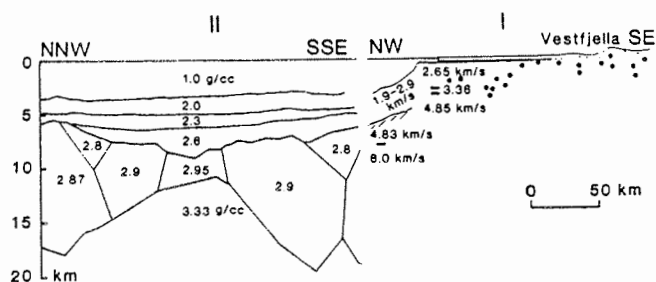
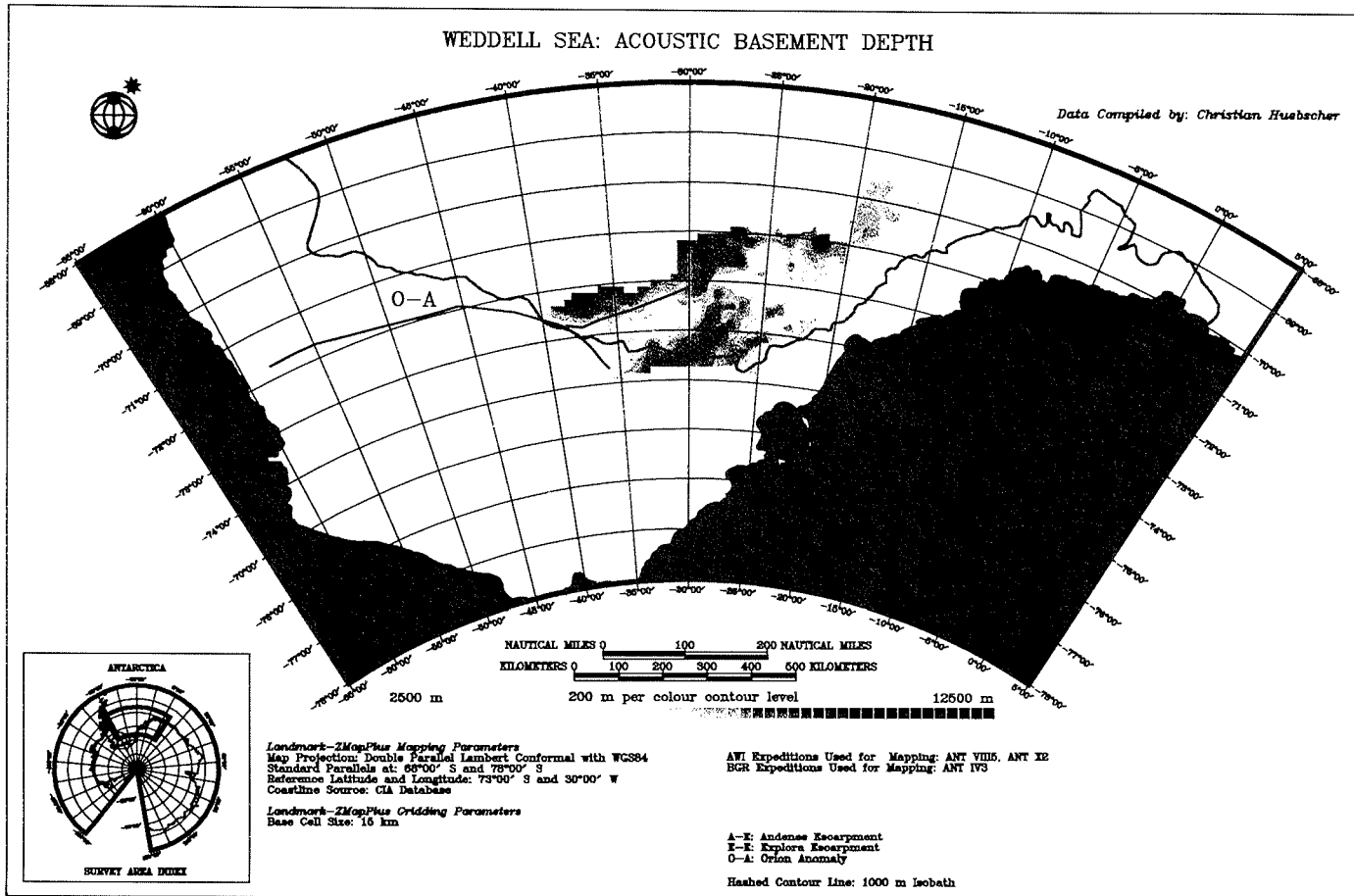


Abb. 6.11c: Modellierung des gravimetrischen Profils BGR-86-13 nach KRISTOFFERSEN UND HINZ (1991)

Abb. 6.12: Tiefenlage des akustischen Basements nach HÜBSCHER (1994)



7 DATENSÄTZE UND DATENVERARBEITUNG

7.1 Profile der marinen Magnetik

Es wurden die Daten der FS Polarstern Expedition ANT X/2 aufgearbeitet. Die Lage der dort gemessenen Magnetikprofile zeigt Abb. 7.1.

Das Gradientenmagnetometer des AWI mußte für diese Fahrt völlig überholt und zum Teil neu aufgebaut werden. Dabei wurde versucht, möglichst viel an Erfahrungen aus den letzten Einsätzen praktisch umzusetzen. Mit dem Einsatz eines neuen Bordrechners (mVAX 4000) wurde auch eine Überarbeitung des Datenerfassungsprogramms notwendig. Die Sensorik selbst bereitete keine Probleme. Lediglich die am Sensorende aufgesetzten Stabilisierungsflossen brachen bei Eisbedeckung recht häufig und mußten ersetzt werden, um ein Taumeln des Sensors und somit eine Signalverschlechterung zu vermeiden. Die Messungen mußten einige Male unterbrochen werden: einmal wegen Wassereintruchs in einen Steckverbinder, ein anderes Mal wegen eines Kabelbruchs an einer mechanisch stark belasteten Stelle. Nach dem Kabelbruch konnten nur noch Einzelsensormessungen vorgenommen werden, alle vorangegangenen Messungen konnten im Gradiometermodus ausgeführt werden. Der Versuch einer Parallelmessung von Seismik und mariner Magnetik mußte abgebrochen werden, da die beiden Schleppsysteme sich ineinander verwickelten und dabei mechanische Schäden verursachten. Gegen Ende der Expedition riß das Magnetometerkabel und ein Einzelsensor ging verloren. Nach Verkürzung des Kabels und dem Bau einer provisorischen Splitterbox (vgl. Kapitel 4) wurde auf der Rückfahrt nach Kapstadt ein weiterer Einzelsensor eingesetzt, der jedoch ebenfalls verloren ging. Inzwischen wurde das marine Gradiometersystem mit weiteren Verbesserungen und Umbauten wieder einsatzfähig gemacht und hat erfolgreich lange Gradiometerprofile überstanden.

7.2 Datenverarbeitung der marinen Magnetik

Die während des FS Polarstern Fahrtabschnitts ANT X/2 gesammelten Magnetikdaten wurden auf ihre Konsistenz geprüft, d.h. Ausreißer und fehlende Vorzeichen wurden nach der Rekonstruktion der Masterwerte interaktiv editiert. Als nächstes wurde die Zeitbasis der Messungen auf Sprünge untersucht und entsprechend korrigiert. Über die gemeinsame Zeitbasis von Magnetik- und Navigationsdaten wurde eine Datei in einem AWI intern vereinbarten Format (siehe Anhang) erstellt, die beide Datensätze verknüpft. Die dazu notwendige Interpolation erfolgte stets auf der Seite der Navigationsdaten, da ihre Stetigkeit die der Magnetikdaten bei weitem übertrifft. Die nun vorliegende Datei wurde in den Navigationswerten um die Magnetometerdistanz zum Schiff korrigiert. Zur Reduktion der Totalfeldwerte wurde das IGRF90 verwendet. Die so berechneten Anomalien sind in den Abb. 8.9a-c dargestellt. Eine weitere Reduktion der

Observatorium der Georg von Neumayer Station zur Zeit der Messungen verlegt und neu eingerichtet wurde und etwaige Reduktionsdaten der britischen Station Halley nicht zur Verfügung standen. Schwierigkeiten in der Datenübertragung verhinderten, daß Gradiometerwerte digital aufgezeichnet werden konnten. Dieses Problem ist jedoch behoben, und es kann in Zukunft bei dem Einsatz des AWI-Gradientenmagnetometers mit dem Einholen von langen, auswertbaren Gradiometerprofilen gerechnet werden. Es standen zur Auswertung also allein die Masterwerte zur Verfügung. Um die Minderung der Datenqualität abschätzen zu können, sind die globalen Kp-Werte für die magnetische Aktivität in Abb. 7.2 dargestellt. Sie zeigt, daß etwa 50% der Daten während Zeiten von Kp-Werten kleiner gleich 4 registriert werden konnten und damit nur wenig durch Tagesvariation gestört sind (vgl. Kapitel 2).

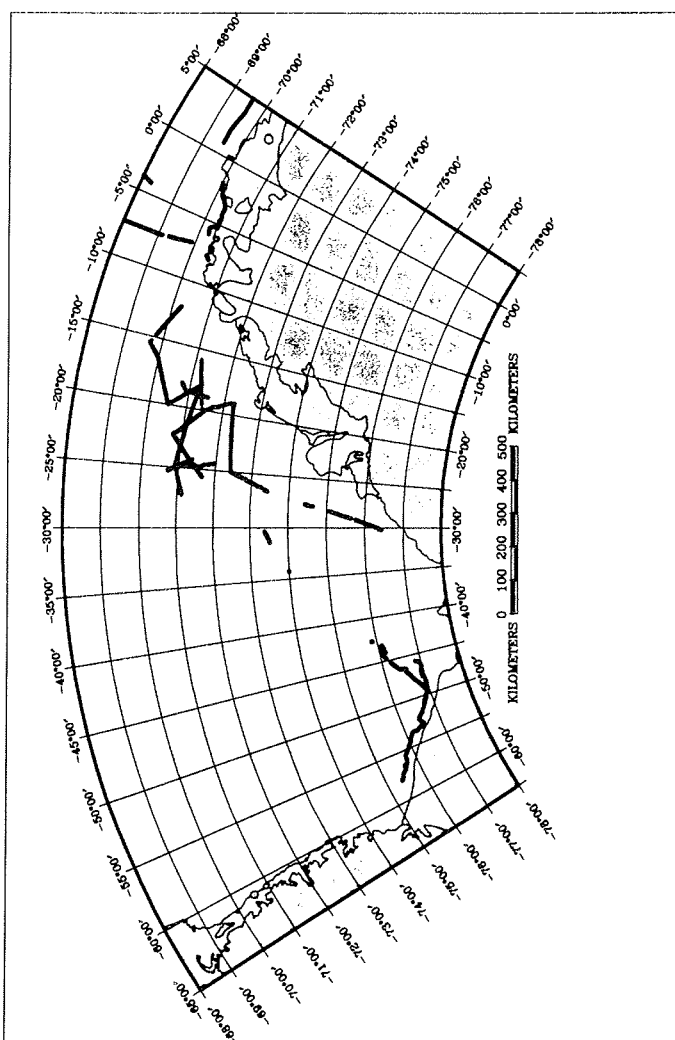


Abb. 7.1: Lage der marinen Magnetikprofile aus ANT X/2

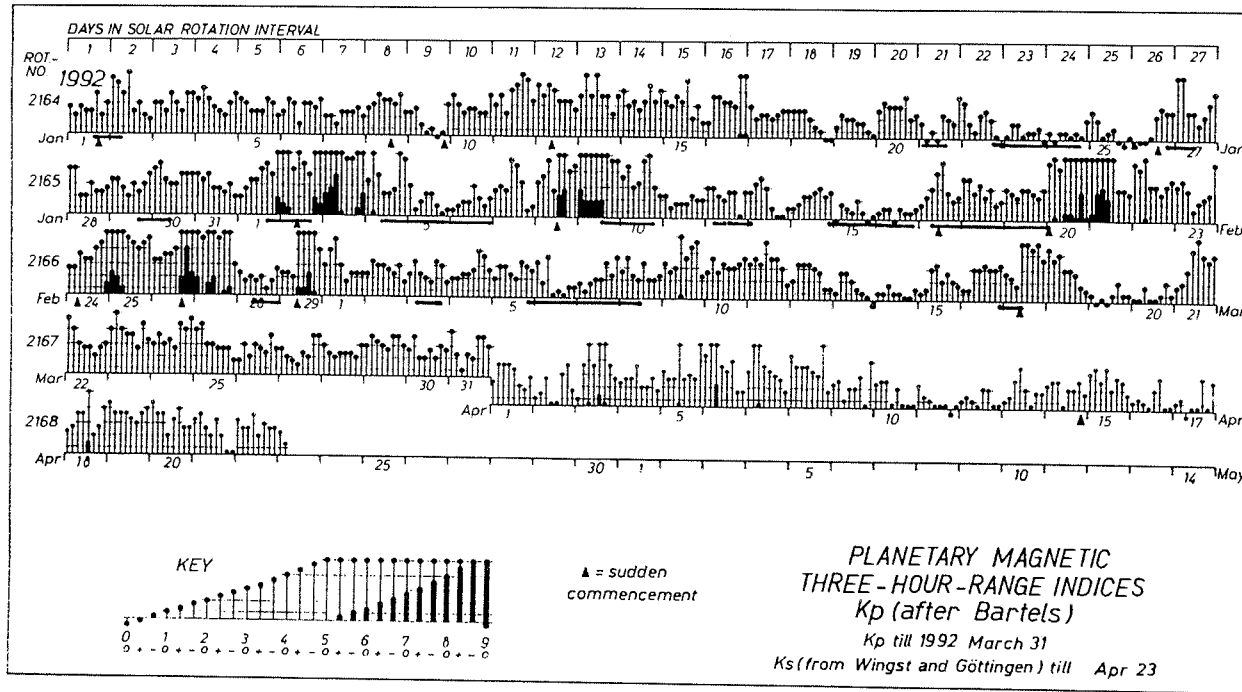


Abb. 7.2: Kp-Werte für den Zeitraum der Magnetikmessungen (unterstrichen) während ANT X/2

7.3 Datensätze der marinen Gravimetrie

Es soll zunächst auf die Datensätze eingegangen werden, die während der Weddellmeer Expeditionen von FS Polarstern gewonnen wurden. Die Hafenschlüsse der betreffenden AWI Expeditionen finden sich im Anhang.

Der erste Expeditionsabschnitt mit FS Polarstern im Weddellmeer, auf dem marine Gravimeterdaten gemessen wurden, war ANT IV/3 in 1985/86. Während dieses Legs war die BGR verantwortlich für die marin-geowissenschaftlichen Erkundungen. Die marine Gravimetrie dieses Abschnitts ist ausführlich in FRISCH UND KEWITSCH (1987, Kapitel 1.5) dokumentiert, einschließlich der Hafenschlüsse. Es wurden zwei Gravimetersysteme im Parallelbetrieb gefahren: das GSS 4 No.53 (Askania) auf einer Kreiselpattform (Anschütz) und das KSS 31 No.2 (Bodenseewerke). Das GSS 4 wurde bereits seit 1970 in 15 anderen Expeditionen von der BGR verwendet. Das KSS 31 System wurde 1984 von der BGR beschafft und befand sich zum zweiten Mal im Einsatz. Beide Systeme arbeiteten einwandfrei. Die Driftdifferenz zwischen den Systemen für den Verlauf der Fahrt liegt in der Größenordnung von einem mGal. Durch den direkten Vergleich beider Systeme liegt für ANT IV/3 ein besonders gesicherter, hochwertiger Datensatz vor. Dazu trägt auch der zum Systemvergleich notwendige Aufwand zur Sicherstellung der Genauigkeiten (besser als 0.1 mGal) in den Hafenschlüssen bei. Die Navigation wurde aus TRANSIT-Satellitendaten errechnet, die durch GPS-Messungen aus einem Magnavox-T-Set-Empfänger verbessert wurden. Aufgrund der Datenqualität und -verteilung (von der Halbinsel am Filcher-Ronne-Schelfeisrand vorbei bis hin zur Atkabucht, Georg-von-Neumayer Station) wurde dieser Datensatz als Referenz für alle weiteren Datensätze herangezogen. Die bathymetrische Information wurde über ein NBS 30 kHz Echolot gewonnen.

Der zweite gravimetrische Datensatz entstammt dem Fahrtabschnitt ANT VI/3 in 1987/88. Er ist knapp dokumentiert in BRODSCHOLL UND MACEDO (1988). Auch hier wurden zwei Gravimetersysteme eingesetzt: zwei baugleiche GSS 3 (Askania) Gravimeter No.1 und No.55. Die GSS 3 Geräte deckten mit ihren Messungen den gesamten Fahrtverlauf bis auf 5 Tage ab, obwohl sie wesentlich empfindlicher gegenüber äußeren Störungen reagieren. So muß zum Beispiel die Raumtemperatur besser als um 1°C konstant gehalten werden, um Driften und Genauigkeitseinbußen größer als 1 mGal auszuschließen. Dies ist im Gravimeterraum von FS Polarstern gewöhnlich nicht vorauszusetzen. Darüberhinaus reagiert das GSS 3 auf Erschütterungen oftmals mit Sprüngen in den Messungen. Dies spiegelte sich bei dem Einbinden der Daten in die ANT IV/3 Referenz wider. Einzelne Werte mußten gelöscht werden und der Datensatz konnte nicht allein durch eine globale Offsetkorrektur an die Referenzdaten besser als 1 mGal angeglichen werden. Dazu mußten Datenstücke einzeln angepaßt werden. Die Navigationsdaten wurden aus dem INDAS-System entnommen, das während des Fahrtabschnitts in seinem Protokoll um GPS-Daten ergänzt wurde. Zur bathymetrischen Vermessung wurde das

NBS Echolot durchgehend und das Seabeam Fächerlot ab Wassertiefen von 600 m betrieben. Der Gesamtdatensatz reicht von der britischen Station Halley bis Atka Bucht. Er weist in sich Kreuzungspunktdifferenzen auf, die zu 50% kleiner oder gleich 2 mgal sind, der Rest beträgt bis zu 10 mgal. Die Mehrzahl der Abweichungen tritt in Gebieten hoher bathymetrischer und gravimetrischer Dynamik auf (als Beispiel: Explora-Escarpment). Damit sind Navigationsungenauigkeiten neben Meßfehlern des GSS 3 als Ursache der Kreuzungspunktfehler nicht auszuschließen.

Der Fahrabschnitt ANT VIII/5 aus 1989/90 bietet einen der umfangreichsten marin-gravimetrischen Datensätze im Weddellmeer. Der Fahrtverlauf und der erstmalige Meßeinsatz des KSS31 No.25 ist in JOKAT ET AL. (1991) kurz beschrieben. Seine Bewährungsprobe hatte es schon in einer Expedition vor Grönland bestanden, so daß es während des gesamten Fahrabschnitts störungsfrei arbeitete. Der Navigation standen im Januar und Februar 9 GPS-Satelliten zur Verfügung, damit waren pro Tag ca. 20 Stunden durch GPS-Positionen abgedeckt. Nach Korrektur der Daten konnte ein Navigationsdatensatz mit Genauigkeiten von besser als 50 m erhalten werden. Erstmals standen auch das Hydrosweep Fächerlot und das Parasound-Sedimentecholot parallel zur Nutzung bereit. Dieser Datensatz wies in sich keinerlei Probleme auf und kann von seiten der Qualität durchaus neben dem von ANT IV/3 bestehen. Dies gilt im übrigen auch für allen weiteren marin-gravimetrischen Datensätze, die auf FS Polarstern gewonnen wurden.

Ein vom südlichen Weddellmeer aus gesehen eher am Rande gelegener Datensatz östlich der Atkabucht über dem Astridrücken und dem Gunnerusrücken wurde im Anschluß an ANT VIII/5 gewonnen. Dieses Mal standen die geophysikalischen Vermessungen wieder unter der Regie der BGR. Die gravimetrische Profilierung ist ausführlich in FRISCH UND KEWITSCH (1991) beschrieben. Das Meßsystem hat sich dabei gegenüber dem zuletzt beschriebenen nicht verändert.

Dies gilt ebenso für die Expedition ANT IX/3, die einen eher sedimentgeologischen Schwerpunkt beinhaltete (BATHMANN ET AL, 1992), aber trotzdem weitere wertvolle Daten lieferte und für ANT X/2 (MEYER, 1994), die wieder geophysikalische Akzente setzte.

Extra behandelt werden muß wiederum die Expedition der BGR in das Weddellmeer in 1978 mit der SV Explora der Prakla-Seismos (HINZ UND KRISTOFFERSEN, 1987). Hier kam das GSS 3 der BGR zum Einsatz. Nach einer ersten Auswertung der BGR muß der Explora Datensatz um etwa -22 mgal korrigiert werden, um dem Niveau von ANT IV/3 zu entsprechen (FRISCH UND KEWITSCH, 1987). Diese Korrektur entspricht den notwendigen Anpassungen, die im weiteren zur Erstellung des Gesamtdatensatzes vorgenommen wurden. Bathymetrische Daten aus dieser Reise liegen nicht vor.

Zuletzt seien die Daten der Universität in Bergen erwähnt. Die von ihr durchgeführten NARE Expedition in 1977 und 1985 erbrachten einen besonders wertvollen Satz an Daten, da hier das Gebiet um das Andenes-Escarpment erkundet wurde, das ansonsten nur eine äußerst spärliche Überdeckung aufweist. Die Expeditionen sind beschrieben in (HAUGLAND, 1982). In 1977 wurde auf dem norwegischen Schiff MV Polarsirkel mit einem Graf-Askania Gravimeter gearbeitet. Die Gravimeterdaten sind durchaus brauchbarer Qualität, nur gab es zum Teil Probleme mit der Navigation. Die bathymetrische Information dieser Reise war leider insgesamt nicht brauchbar.

Die Daten aus 1985 wurden mit einem LaCoste&Romberg Seegravimeter auf der KV Andenes der norwegischen Küstenwache aufgenommen. Inmitten der Expedition fiel die Kreiselplattform des Gravimeters aus und konnte nicht repariert werden. Weiterhin mußten Teile der Daten ausgenommen werden, da sie sich in keiner Weise in das vorhandene Datennetz eingliedern ließen. Es wird angenommen, daß diese Daten fehlerhaft vom Gravimeter geliefert wurden, das ansonsten jedoch als sehr zuverlässiges Instrument eingestuft wird. Nur etwa 40% der NARE-Daten aus 1985 konnten verwendet werden. Im Vergleich zu den anderen Datensätzen verlangte die Aufbereitung der NARE-Gravimeterdaten viel Aufwand und ein intensives Editieren. Zur Verbesserung der Gesamtkartierung in dem besonders kritischen Gebiet zwischen 72°N und 78°N sowie 40°W und 20°W waren sie jedoch unverzichtbar. Die Lage und Verteilung der bearbeiteten Gravimeterprofile ist aus Abb. 6.3 ersichtlich.

7.4 Datenverarbeitung der marinen Gravimetrie

Wie schon für die marinen Magnetikdaten wurden auch alle zur Verfügung stehenden Datensätze der marinen Gravimetrie in ein einheitliches AWI-internes Format (siehe Anhang) gebracht, um sie gemeinsam weiterbearbeiten zu können und eine einheitliche Datenbasis zu schaffen. Es folgt eine Beschreibung der Datenverarbeitung für die Daten, die während der AWI Expeditionen mit FS Polarstern gewonnen wurden.

Nach Abschluß der Schiffsmessungen liegen im allgemeinen sowohl die Gravimetrie- als auch die Navigationsdaten auf dem VAX-Bordrechner von FS Polarstern vor. Diese Dateien werden auf UNIX-Workstations transferiert. Auf den Workstations wird der gesamte weitere Verlauf der Datenverarbeitung organisiert. Die dazu notwendigen Programme und Schnittstellen zu kommerziellen Softwareprodukten zur Darstellung und Interpretation der Gravimeterdaten wurden in eigener Arbeit erstellt und ausgebaut.

Die Gravimeterdaten liegen anfangs als Stundendateien vor, die wahlweise über das Programm GRAVMERG zu Tages- oder Monatsdateien zusammengefaßt werden. GRAVMERG überprüft ebenfalls die Konsistenz der Daten, korrigiert fehlerhafte Formate soweit wie möglich und eliminiert nicht automatisch rekonstruierbare Daten.

Die Navigationsdateien werden im Original als Tagesdateien angelegt. Das Programm NAVCONT überprüft die formale Konsistenz der Daten und wandelt ältere Formate in das jeweils aktuell benutzte Format um. Die Navigationsdatei enthält neben den Positionsdaten auch die Daten für die Richtung und Geschwindigkeit des Schiffes, sowie die Wassertiefen aus Hydrosweep, Parasound und Echolot. In einigen Navigationsdateien können signifikante Differenzen zwischen den Schiffsgeschwindigkeiten auftreten, die aus den Strömungsmessungen und aus den Schiffspeditionen ermittelt wurden. Je nach Güte der ermittelten Schiffspeditionen läßt sich mittels des Programms NAVCORR die Richtung und Position aus den Einzellokationen berechnen und anstelle der Originaldaten zur Korrektur der Gravimeterdaten verwenden. Da nur solche Tiefendaten digital aufgezeichnet werden, die zuvor auf Plausibilität geprüft wurden, können auch in den qualitativ besten Hydrosweep-Tiefenmessungen größere Bereiche auftreten, in denen keine Werte vorliegen. Das Programm NAVDINT interpoliert über solche Lücken, sofern sie weniger als 15 Meßwerte umfassen. Ansonsten werden die Parasound- oder Echolottiefen verwendet. Sie müssen an die Hydrosweep-Tiefen vor den Datenlücken angepaßt werden, da die Sensoren ein unterschiedliches Bezugsniveau besitzen. Die so korrigierte Tiefeninformation wird zum Füllen größerer Lücken in den Hydrosweepdaten verwendet.

Die nun vorliegenden, geprüften und überarbeiteten Datensätze für Gravimetrie und Navigation werden über das Programm GRAVCOMB miteinander verknüpft und in das AWI-interne Format gebracht. Der Inhalt dieser Datei wird im folgenden nicht verändert, sondern nur um die Korrekturen und Reduktionen in einer Weise ergänzt, die jederzeit zurückgerechnet werden kann. Somit können die Daten für jeden weiteren Schritt problemlos an verschiedene Standards angepaßt werden.

Die Berechnung der Absolutwerte mittels der Hafenanschlüsse, der Freiluftanomalie, der Eötvöskorrektur und der Bougueranomalie erfolgt mit dem Programm GRAVCORR. Innerhalb des Programms sind verschiedene Korrekturoptionen und alle gängigen Geoidmodelle verfügbar. GRAVCORR protokolliert den Verlauf der Korrekturen und Reduktionen und legt eine Statistik über die Daten an (Profillängen, Driften etc.).

Weitere Serviceprogramme berechnen Kreuzungspunktdifferenzen zwischen verschiedenen Profilen (GRAVCROSS), ermöglichen Offsetkorrekturen (GRAVBIAS), das Ausschneiden bestimmter Daten nach zeitlichen oder örtlichen Kriterien (GRAVCUT), das Ausdünnen der Daten (GRAVDECI), das Umsetzen der Daten auf äquidistante Folgen (GRAVSORT), und mehr.

Alle Gravimeterdaten wurden in TerraTools geladen und darin dargestellt. Je nach Bearbeitungsstand der Daten wurden hier noch vorhandene Ausreißer etc. interaktiv editiert. Dies betrifft in der Hauptsache die Tiefeninformation. Abschnitte mit Daten, die in Phasen von schwerem Eisgang registriert wurden, wurden isoliert und tiefpaßgefiltert.

Bei sehr starken Einflüssen des Eisbrechens, wie zum Beispiel beim Eisrammen, wurden die Daten aus dem Satz entfernt.

Die in der Endfassung vorliegenden Datensätze wurden zur weiteren Darstellung und Kartierung in das Programmsystem Landmark-ZMap+ importiert. ZMap+ ist ein Teil des seismischen Interpretationssystems Landmark. Es bietet in der Geophysik gängige Gridding-Algorithmen und Gitteroperationen.

Das oben beschriebene Verfahren gilt im Grundsatz auch für die Datensätze, die von der BGR und der Universität Bergen zur Verfügung gestellt wurden.

7.5 Erstellung einer gemeinsamen Datenbasis

Als Referenz wurden die Gravimeterdaten der Expedition ANT IV/3 herangezogen. Sie zeichnet sich durch eine große Homogenität aus: nur 10% aller inneren Kreuzungspunkte weisen Differenzen von mehr als 1 mGal auf. Es wurde versucht, durch lineare Anpassungen wie Driftkorrekturen, Sprungkorrekturen und Offsetbereinigungen, alle weiteren Datensätze soweit anzupassen, daß 90% der Abweichungen von den Referenzdaten kleiner als 2 mGal sind. Datenausschnitte, die problematisch erschienen, wurden manuell editiert (Glättung von Ausreißern etc.) und falls notwendig eliminiert.

Die Gravimeterdaten der letzten FS Polarstern Expeditionen wurden in einem zeitlichen Abstand von 20 s aufgezeichnet. Dies entspricht bei einer Schiffsgeschwindigkeit von 5 kts, wie bei seismischer Meßfahrt gängig, einem räumlichen Datenabstand von 50 m. Die älteren Datensätze sind zumeist im Minutentakt registriert worden, die NARE-Daten sogar in Abständen von 10 bis 20 min. Es wurde an keiner Stelle Gravimeterdaten interpoliert - im Gegenteil, sie wurden je nach Maßstab der Kartierung auf etwa gleiche Meßpunktabstände reduziert. So wurde für eine Kartierung im Maßstab von 1:2500000 die räumliche Distanz der Datenpunkte auf 1 km erhöht und für einen Maßstab von 1:1000000 auf etwa 500 m. Dies erleichtert punktweise Editierungen und verkürzt die Rechnerzeit für die Gitterberechnungen erheblich.

7.6 Gitterberechnung

Die angeglichenen Datensätze wurden in das Kartierungsprogramm ZMap+ (LANDMARK INC.) eingelesen, projiziert und als Profile oder Gitterwerte bearbeitet.

Die Gitterberechnung basiert auf einem 'point gridding'-Verfahren, das im folgenden kurz angerissen werden soll. Im Normalfall wird dabei die Methode der kleinsten Quadrate zur Berechnung eines regelmäßigen Gitters verwendet. Sie wird zirkular auf jeden Datenpunkt angewandt. Dazu wird eine Basiszelle definiert; für die Gitterberechnung im Maßstab 1:2500000 wurde sie zu 15 km*15 km gewählt. Ein

beeinflussen. Um zu erzwingen, daß das Gitter die Datenpunkte möglichst gut repräsentiert, wurde eine Abstandswichtung für extrapolierte Punkte verwendet, die vom Datenpunkt aus einer inversen quadratischen Funktion gleicht. Für alle berechneten Gitter ist der Extrapolationsradius gleich dem zuvor definierten Suchradius. Die so berechneten Gitterpunkte werden nun geglättet und den Originaldaten möglichst nahe gebracht. Dies geschieht im allgemeinen über ein 'minimum curvature'-Verfahren. Es wird so oft angewendet, bis eine bestimmte minimale Änderung in den Gitterpunkten zwischen zwei Durchläufen unterschritten wird. Dabei kann über ein 'smoothness modulus' definiert werden, welche maximale Abweichung von den Originaldaten noch zugelassen wird. Für die vorliegenden Gitter wurde diese Toleranz stets auf 2% Abweichung begrenzt. Das nun vorliegende Gitter kann entsprechend seinem Maßstab über die Berechnung von Isolinien dargestellt werden.

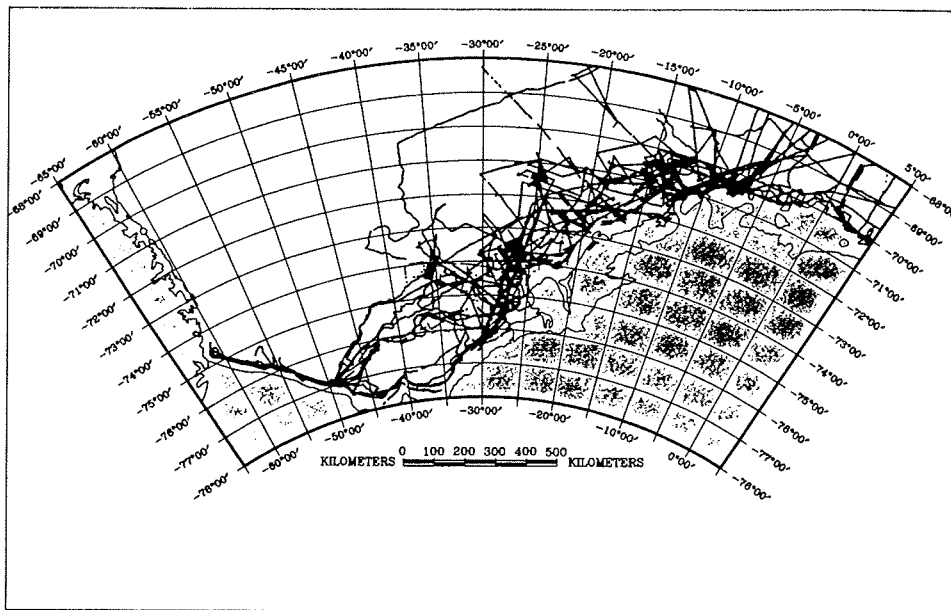


Abb. 7.3: Lage und Verteilung der bearbeiteten marinen Gravimeterprofile

8 KARTIERUNGEN UND PROFILE

8.1 Kartierung der Freiluftschwere

Das Ergebnis der Kartierung der Freiluftschwere aus der marinen Gravimetrie ist in Abb. 8.1 dargestellt. Die in Kapitel 7 beschriebenen marin-gravimetrischen Datensätze bilden die Grundlage dieser Karte. Die Verteilung und Lage der Profile ist aus Abb. 7.3 zu ersehen. Die der Anomalienkarte zugrundeliegenden Gitterwerte wurden mit dem Kartierungsprogramm Landmark-ZMap+ errechnet. Die im weiteren aus der Anomalienkarte abgeleiteten Strukturen sind in Abb. 8.3 verzeichnet. Die Vertrauensbereiche für die Kartierung der marin-gravimetrische Kartierung sind in Abb. 8.1 differenziert.

Das Ronne-Schelf

Entlang der Ronne-Schelfeiskante ist eine nur geringe gravimetrische Anomalie mit lokalen Minima von bis zu -40 mGal zu verzeichnen. Nach Norden hin nimmt sie langsam ab und geht ca. 100 km vor der Eiskante in eine positive Anomalie über. Vor Berkner Island liegt ein geringes, lokales gravimetrisches Hoch von etwa 10 mGal, das mit dem ausgedehnten Hoch 100 km vor dem Ronne-Schelfeis verbunden ist. Es trennt in der südlichen Verlängerung die Anomalie vor dem Ronne-Schelfeis ab von der ebenfalls negativen Anomalie vor dem Filchner-Schelfeis und der Küste von Coats Land.

Das Filchner Schelf

Das Filchner-Schelf weist ein nach Norden hin scharf beschnittenes gravimetrisches Tief mit lokalen Minima von bis zu -70 mGal auf. Es ist ca. 100 km breit und dehnt sich parallel zur Küste von Coats Land aus. In den Nordostrand ragt bei 75°30'S und 26°W, knapp südlich der britischen Station Halley, eine positive Anomalie mit Maxima von 60 mGal in das Tief hinein. Hierbei kann es sich um einen Teil des von KRISTOFFERSEN UND HINZ (1991) kartierten "East Antarctic basement outcrop" handeln. Am äußersten Nordrand des Filchner-Schelfs findet sich die stärkste positive Anomalie außerhalb der Küstenstrukturen (74°20'S und 33°W). Sie nimmt Werte von über 100 mGal an und schließt sich an die positiven Küstenanomalie vor Dronning Maud Land an. An dieser Stelle trifft das 'failed rift' (HINZ UND KRISTOFFERSEN, 1987) auf den Schelfrand.

Das Andenes-Escarpment

Der Begriff des Andenes-Escarpments bezeichnet im ursprünglichen Sinn ein Hoch des akustischen Basements, das nach Süden hin abfällt und dort 'dipping reflector'-Einheiten beherbergt (KRISTOFFERSEN UND HINZ, 1991). Es ist lokalisiert zwischen 35°W und 28°W auf der Höhe von etwa 73°30'S. Mit der Begriffsbildung des Explora-Andenes-Escarpments wurde das durch das Andenes-Escarpment angesprochene Basementhoch ausgedehnt auf das gesamte Gebiet nördlich des 'failed rift' und darüber hinaus mit dem Explora-Escarpment verbunden. In der marinen Gravimetrie zeichnet sich

das Gebiet des Andenes-Escarpmments oder Andenes-Basementhochs jedoch als deutlich begrenzte negative Anomalie ab. Ihre Form und Ausdehnung stimmen mit der Basementkartierung aus der marinen Seismik (HÜBSCHER, 1994) und einer Magnetfeldanomalie (mündliche Mitteilung, LABRECQUE, 1994) gut überein. Danach erstreckt es sich von etwa 40°W bis nach 28°W von SSW nach NNO. Die lokalen Minima der Anomalie betragen bis zu -65 mGal. Die Begrenzungen der Anomalie sind durch die Bathymetrie nur unscharf definiert. Deshalb erscheint es sinnvoller, das Gebiet des Andenes-Escarpmments als Andenes-Anomalie (abgeleitet aus der Magnetik und Gravimetrie) oder Andenes-Plateau (abgeleitet aus der Seismik) zu bezeichnen. Im Südwesten wird die Andenes-Anomalie scharf begrenzt durch die Orion-Anomalie, die 1000 m Isobathe und einen steilen Anstieg in der Freiluftanomalie. Diese Konfiguration schließt, wie auch in der Basementkartierung von OSZKO (1995), eine südwestliche Fortsetzung aus. Nach Norden hin ist die Andenes-Anomalie etwas seichter zur Tiefsee hin begrenzt, nach Nordosten hin verengt sie sich im spitzen Winkel bis etwa 28°W. In seiner Verlängerung findet sich eine lokale, negative Freiluftanomalie bei etwa 26°W. In der Basementkartierung von HÜBSCHER (1994) deuten keine sich Ausläufer der Andenes-Anomalie über 29°W hinaus an, in der Überarbeitung der Kartierung mit weiteren Daten von OSZKO (1995) wird dies klar bestätigt. Es ist also nicht möglich, daß die Andenes-Anomalie bis kurz vor die Polarstern-Bank reicht und die der Polarstern-Bank vorgelagerte lokale negative Anomalie mit einschließt. Im Süden ist die Andenes-Anomalie klar gegen eine positive Freiluftanomalie bei 74°S begrenzt. Abgesehen von dem nordöstlichen Ausläufer der Andenes-Anomalie bildet sie aufgrund ihrer scharfen Kontur einen einheitlichen, abgeschlossenen Block und muß als solcher in allen weiteren Betrachtungen behandelt werden.

Das gravimetrische Tief und das gleichzeitige seismische Basementhoch der Andenes-Anomalie wird in KRISTOFFERSEN UND HINZ (1991) als Hinweis auf eine Krustenstruktur gedeutet, die eine deutlich geringere Dichte und tiefere Ausdehnung hat als gewöhnliche ozeanische Kruste. Damit wird sie von ihnen als Riftschulter des südlich von ihr gelegenen Weddell-Rifts angenommen. Da sich die Andenes-Anomalie nicht in ein durchgehendes Explora-Andenes-Escarpment eingliedern läßt und nach Süden hin scharf begrenzt ist, wird ebenfalls ihre Interpretation als Riftschulter fragwürdig.

Das 'failed rift' oder Weddell-Rift

Auch der Begriff des 'failed rift' oder Weddell-Rift, der bislang durchgehend verwendet wurde, erscheint im Lichte der neuen Daten als problematisch. Er impliziert kontinentale Kruste auf beiden Seiten des Rifts und deutet an, daß es nicht zur Bildung ozeanischer Kruste kam. Im Modell von KRISTOFFERSEN UND HINZ (1991) verläuft das Weddell-Rift etwa von 25°W und 72°30'S an in südwestlicher Richtung bis kurz vor Berkner Island. In der Freiluftkartierung bildet es sich nördlich von 74°S als ein schwaches gravimetrisches Hoch mit Maxima von 12 mGal aus. Südlich von 74°S geht es in ein ausgedehntes gravimetrisches Hoch über und verliert seine klare lineare Kontur.

KRISTOFFERSEN UND HINZ (1991) modellierten den nördlichen Teil als ca. 50 km breite ozeanische Kruste, die zwischen zwei Zonen von Übergangskruste eingebettet ist (Abb. 6.11c). Damit würde zumindest dieser Teil kein eigentliches 'failed rift' darstellen, sondern ein regional beschränktes Rift, dem gleichwohl im Norden nach der Übergangskruste eine kontinentale Struktur fehlt. Nach der Verteilung der ozeanischen Spreizungsanomalien zu schließen, hat eine Änderung in der Richtung des Gondwana-Aufbruchs im Raum des Weddellmeeres ab spätestens 120 Ma vor heute stattgefunden. Dies ist auch im Modell von Kristoffersen und Hinz berücksichtigt. Mit der Richtungsänderung wurde das Weddell-Rift als 'failed rift' im Nordosten terminiert. Nach KRISTOFFERSEN UND HINZ (1991) geschah dies durch die Ausbildung des Explora-Andenes-Escarpments als neuer Riftflanke. Tatsächlich wird jedoch die 'failed rift'-Struktur nach Nordosten durch die Lage der Polarstern-Bank und der weiter südlich gelegenen Seamounts begrenzt; das Explora-Andenes-Escarpment existiert nicht. Die vorliegende Struktur des gesamten Weddell-Rifts entspricht keiner klassischen Beschreibung und ist durch spätere Brüche und Dehnungen nur unvollständig erhalten. Ohne eine Interpretation vorwegzunehmen wird vorgeschlagen, die nördlich von 74°S angesprochene Riftstruktur im weiteren als Maud-Rift anzusprechen und das von Kristoffersen und Hinz postulierte Weddell-Rift südlich von 74°S als Filchner-Ronne-Rift. Diese Trennung erlaubt im weiteren eine mögliche Erklärung der vorliegenden tektonischen Elemente.

Die Polarstern-Bank

Die Polarstern-Bank liegt bei 71°30'S und 25°W. Sie bildet ein lokales gravimetrisches Hoch aus mit einem Durchmesser von ca. 30 km und einem Maximum von 5 mGal. Sie ist unmittelbar umgeben von einer negativen Anomalie von -18 mGal. Folgt man der Basementkartierung von HÜBSCHER (1994), so ist die Polarstern-Bank verbunden durch ein gemeinsames Basementhoch mit zwei weiter südlich angelegten Seamounts. Der erste dieser Reihe findet sich bei 72°S und 24°W mit einem lokalem Hoch von -2 mGal, der letzte bei 72°30'S und 22°30'W mit keiner signifikanten gravimetrischen Ausprägung. Er schneidet lediglich ein ihn im Süden umgebendes gravimetrisches Tief ein. Zusammengenommen verlaufen die Seamounts in einer Linie etwa senkrecht zur Küste von Dronning Maud Land.

Die südwestliche Küste von Dronning Maud Land

Diesem Küstenabschnitt ist ein langgestrecktes gravimetrisches Tief parallel zur Küste zwischen 27°W und 18°W vorgelagert. Es ist 60 bis 70 km breit und 200 km lang mit Minima von bis zu -65 mGal. Nach Süden hin steigt dieses Becken steil an und mündet im Küstenverlauf in ein gravimetrisches Hoch von teilweise mehr als 100 mGal. Ein solch langgestreckter Übergang eines küstenvorgelagerten Tiefs in ein küstennahes Hoch ist typisch für passive Kontinentalränder. Der Verlauf dieser Struktur wird im Norden durch das Explora-Escarpment gestört.

Das Explora Escarpment

Zwischen 18°W und 10°W biegt sich die negative Küstenanomalie von Süden kommend um das Explora Escarpment. Die Breite der negativen Anomalie nimmt auf 40 km ab. Zwischen ihr und der stark positiven Anomalie südlich der 1000 m Isobathe liegt das Gebiet des Explora-Escarpments mit Werten zwischen 0 bis 20 mGal. Einschnitte in die Escarpment Struktur wie der Wegener Canyon verursachen lokale Minima von etwa 30 mGal. Aus der Freiluftkartierung läßt sich das Explora-Escarpment auf eine Breite von ca. 70 km mit einer Ausdehnung entlang der Küste von 100 km festlegen.

Vergleich mit der Bathymetrie

Aus dem Vergleich der Bathymetrie in Abb. 6.2 und der Freiluftschwerekarte in Abb. 8.1 ergibt sich eine klare Korrelation zwischen dem Anomalienverlauf vor der Küste von Dronning Maud Land bis hin zum Explora-Escarpment und der Tiefenlinien. Weiter korrelieren der Verlauf des nördlichen Schelfrandes vor dem Filchner-Ronne-Schelfeis und die nördliche Begrenzung der ausgedehnten positiven Anomalie über dem Schelfgebiet entlang der 1000 m Isobathen. Aus der Freiluftschwere sticht gegenüber der Bathymetrie besonders heraus die Andenes-Anomalie, das Maud-Rift, die Polarsternbank, eine ihr im Norden vorgelagerte positive Anomalie und die negative Anomalie über dem Filchner Schelf. Bei genauerer Betrachtung liegt die letztgenannte Anomalie nicht völlig deckungsgleich mit der Filchner Depression, teilt mit ihr aber ihre östliche Begrenzung.

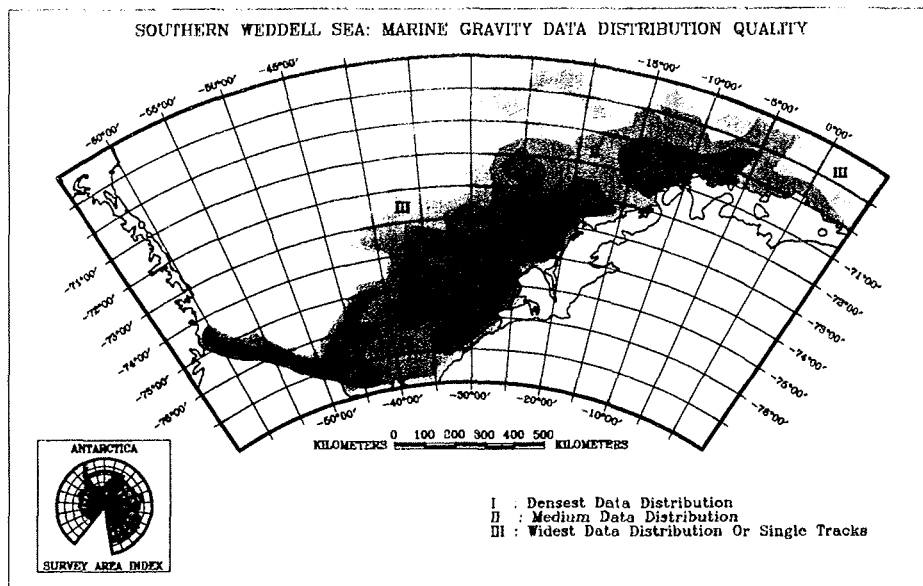


Abb. 8.1: Vertrauensbereiche der Schwerekarte in Abb. 8.2

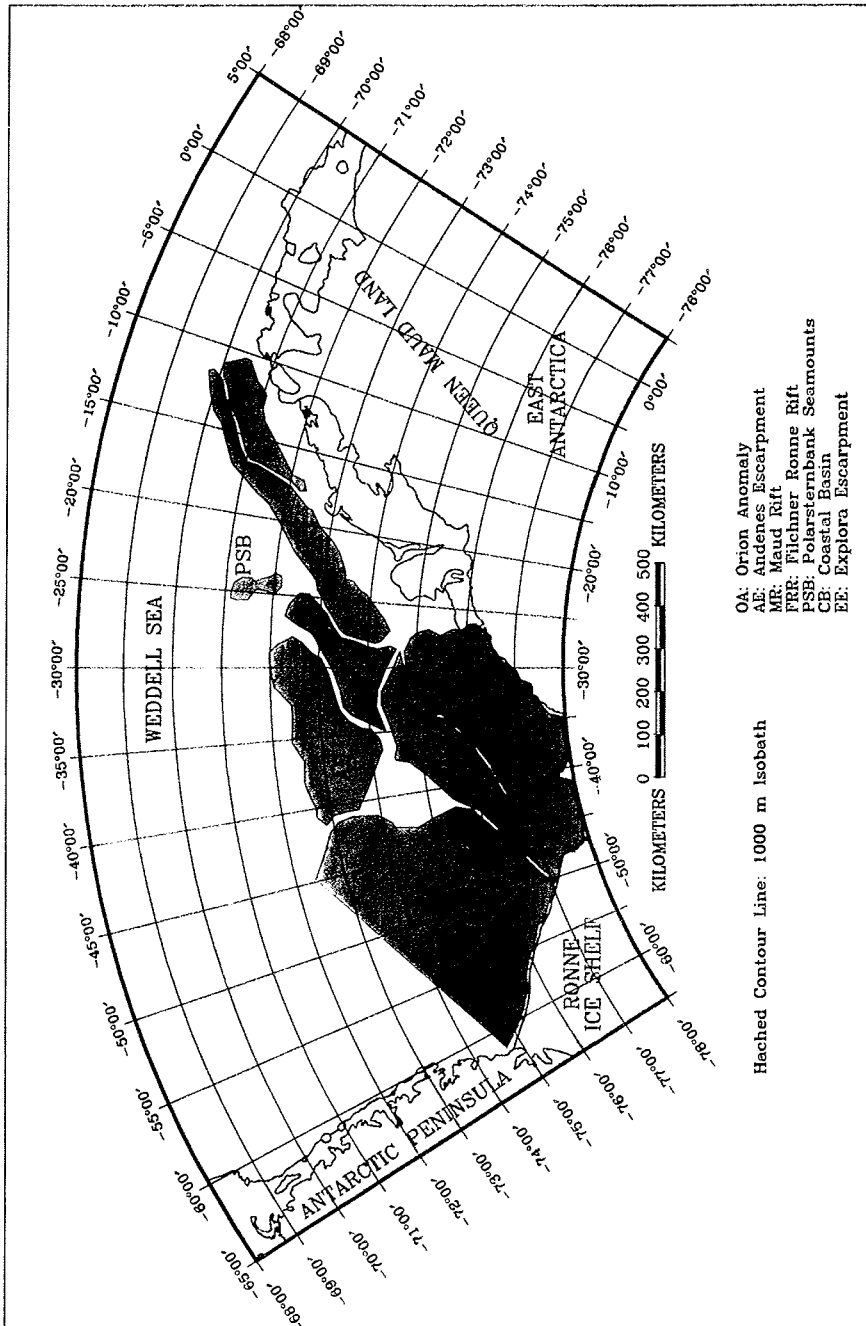


Abb. 8.3: Geologisch-tektonische Strukturen, abgeleitet aus der Freiluftschwere

8.2 Vergleich der Freiluftschwere aus Schiffs- und Satellitenmessungen

Für den Vergleich der Freiluftschwere zwischen Schiffs- und Satellitenmessungen im Weddellmeer wurden zwei Kompilationen der Satellitenaltimetrie ausgewählt. Zum ersten die Kompilation von SANDWELL ET AL. (1994), die in hoher Qualität den nördlichen Bereich des Weddellmeeres von 68°S bis 72°S überdeckt. Zum zweiten eine, die das gesamte Weddellmeer bis in den Südwesten hinein mit Daten belegt (SCHÖNE, 1995).

Die Satellitenaltimetrie von Sandwell zeigt eine erstaunlich gute Auflösung (Abb. 8.4). Das Anomalienmuster des 'fish-skeleton pattern' (MARKS UND MCADOO, 1992) am Nordrand der Abbildung (vgl. Abb. 6.5) kommt detailliert heraus. Unterhalb des 'fish-skeleton pattern' zieht sich eine lineare Anomalie von West nach Ost entlang 69°S, etwa deckungsgleich mit M13 (vgl. Abb 10.4). Sie bildet die südliche Begrenzung des 'fish-skeleton pattern' und wird oftmals als 'termination anomaly' oder kürzer, als 't-anomaly' bezeichnet, ist aber begrifflich in dieser Form noch nicht in der Literatur verankert. Im Süden dieser Linie ist, wie auch in der Kartierung der marinen Freiluftanomalie, bei 71°25'S und 25°W die Polarstern-Bank deutlich sichtbar. Östlich davon ist die gravimetrische Anomalie des Explora-Escarps gut zu erkennen.

Der Datensatz von Sandwell läuft vom 72°N bis 72°S, das Weddellmeer stellt nur einen kleinen Ausschnitt daraus dar. In den gesamten Datensatz wurden integriert:

- SEASAT Daten im Gebiet nördlich von 30°S - Profile innerhalb einer Reichweite von 10 km von GEOSAT /ERM Bahnen wurden ausgeschlossen -,
- GEOSAT/ERM Daten - deren Mittelwert aus 62 'exact repeat mission'-Profilen -,
- GEOSAT/GM - die kürzlich auch südlich von 30°S freigegeben wurden -,
- ERS-1 Daten - deren Mittelwerte der ersten 16 Wiederholungszyklen des 35 Tage-Orbits -,
- ERS-1 Daten der ersten 200 Tage der geodätischen Mission.

Die Daten südlich von 30°S wurden nach SANDWELL (1992) auf einem regelmäßigen Gitter berechnet. Die darin benutzte Methode ist adaptiert aus SANDWELL (1984). Eine Erweiterung der Datenüberdeckung in den Polargebieten durch 'retracking'-Methoden über 72° hinaus, wie zum Beispiel beschrieben in HEIDLAND (1994), wird im Augenblick betrieben.

Zwischen den Kompilationen der marinen Freiluftschwere und der Freiluftschwere nach Sandwell wird in dem Bereich, in dem sie beide gute Datenüberdeckung und -qualität besitzen, die Abweichung voneinander berechnet. Als Ausschnitt wurde das Gebiet von Polarstern-Bank und Explora-Escarpment gewählt. Dazu wurden die Satellitendaten auf der gleichen Gitterbasis berechnet, auf der die marine Gravimetrie bislang dargestellt wurde. Das Ergebnis zeigen die Abbildungen 8.5a bis 8.5c.

Abb. 8.5a zeigt die marine Freiluftschwere und die zugrundeliegende Datenverteilung, Abb. 8.5b das entsprechende für die Satellitendaten nach Sandwell. Abb. 8.5c schließlich zeigt die Differenz zwischen den Datensätzen. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurden an dieser Stelle die marinen Schweredaten mit dem WGS84 reduziert, wie auch von Sandwell verwendet. Die mittlere Abweichung zwischen den Datensätzen beträgt 12.5 mgal. Die marinen Daten sind insgesamt positiver als die Satellitendaten. Das RMS beträgt 3 mGal über das gesamte Vergleichsgebiet. Die maximale Abweichung in den Daten beträgt 60 mgal. Dieser Wert entsteht in der unmittelbaren Küstenregion zwischen 14°W und 15°W. Hier sind Sandwells Daten schwächer belegt und Interpolationseffekte werden bemerkbar. Da Sandwells Daten im Mittel -12.5 mGal unter denen der marinen Freiluftschwere liegen, prägt sich in ihnen die negative Anomalie vor der Küste von Dronning Maud Land wesentlich stärker in der Kartierung aus. Abgesehen von numerischen Interpolationsartefakten im Randbereich des Vergleichsgebiets gibt es keine signifikanten Abweichungen oder Muster, die Differenzen erscheinen zufällig lokal gestreut.

RAPP UND BASIC (1992), sowie SMALL UND SANDWELL (1992b) stellten ebenfalls Vergleiche zwischen Schiffs- und Satellitengravimetrie an. Rapp und Basic errechneten eine mittlere Differenz von 4 bis 5 mGal auf Satelliten-Subtracks von GEOSAT in der Bandelsee. Die lokalen Abweichungen können dort bei Einzelprofilen bis zu 50 mGal betragen. Für eine großflächige Überdeckung des nördlichen Golfs von Mexiko mit Subtracks der GEOSAT/ERM Mission wurde von SMALL UND SANDWELL (1992b) eine Genauigkeit für die aus Altimetermessungen abgeleitete Gravimetrie gegenüber marinen Messungen von 6.5 mGal für Wellenlängen größer als 25 km berechnet. Dieser Wert wurde mittels einer Ausgleichsrechnung über 17 Profile erzielt. Auch hier sind die Satellitendaten negativer als die marinen Daten.

Da im ausgewählten Vergleichsgebiet keine Subtracks, sondern regelmäßig interpolierte Daten zum Vergleich verwendet wurden, sollten größere Abweichungen zwischen marinen Daten und Satellitendaten als in den oben genannten Untersuchungen zu erwarten sein. Die mittlere Abweichung von 12.5 mGal ist gegenüber der von SMALL UND SANDWELL (1992b) fast zweifach höher. Dies kann weiter darin begründet sein, daß die Satellitendaten aus GEOSAT über ihrem südlichen Bahnnumkehrpunkt bei ca. 72°S voll mit einbezogen wurden. An dieser Stelle gestaltet sich die Auswertung der Altimeterdaten am schwierigsten. Sieht man von der mittleren Abweichung zwischen den Datensätzen ab, so ergibt sich für die gravimetrischen Strukturen beide Male ein einheitliches Bild. Insgesamt hat sich die Abweichung zwischen Satelliten- und marinen Freiluftschwere gegenüber den in 1992 vorliegenden Daten im Bereich des Explora-Escarpments deutlich verbessert. Nach HERZFELD (1992) wurden noch über 25 mGal Abweichung zwischen den Datensätzen festgestellt. Im generellen Trend passen sich die Satellitendaten dem nun vorliegenden marinen Datensatz für die Freiluftschwere immer besser an.

Die zweite Kompilation des gravimetrischen Feldes im Weddellmeer zeigt Abb. 8.6. Sie zeigt ein vorläufiges Ergebnis der Auswertung von Altimeterdaten über eisbedeckten Gebieten. Eine verbesserte Kompilation wird in SCHÖNE (1995) ausführlich beschrieben.

Das Hauptaugenmerk sei hier auf die Schelfregion vor dem Filchner-Ronne-Schelfeis gelegt. Abb. 8.6 zeigt deutlich eine Ausdehnung des sich schon in der marinen Gravimetrie andeutenden gravimetrischen Hochs auf dem Ronne-Schelf. Dessen Nordrand verläuft im Westen nördlich von der Orion-Anomalie, im Westen südlich davon. Die langwelligen, ausgedehnten Strukturen (die negative Anomalie über Filchner Schelf, die Küstenanomalie vor Dronning Maud Land, die Andenes-Anomalie) stimmen mit denen der marine Freiluftschwere gut überein. Hier wird die Wichtigkeit der Ableitung der Schwere aus Satellitendaten über eisbedeckten Gebieten besonders augenfällig. Es ist nicht abzusehen, daß die marine Gravimetrie in solcher Weise unzugängliche Areale flächendeckend bearbeiten kann. So wird die Ausdehnung der negativen Anomalie vor dem Ronne-Eisschelf mit einer Breite knapp 300 km hier erstmals sichtbar. Weiter bestätigt sich in den Daten von Schöne, daß eine positive Anomalie aus dem nördlichen Schwerehoch des Ronne-Schelfs bei 45°W nach Berkner Island hin ausläuft. Sie trennt deutlich das Ronne- vom Filchner-Shelf in ihren gravimetrischen Signaturen. Eine detaillierte Diskussion der Satellitendaten südlich von 72°S bleibt SCHÖNE (1995) vorbehalten.

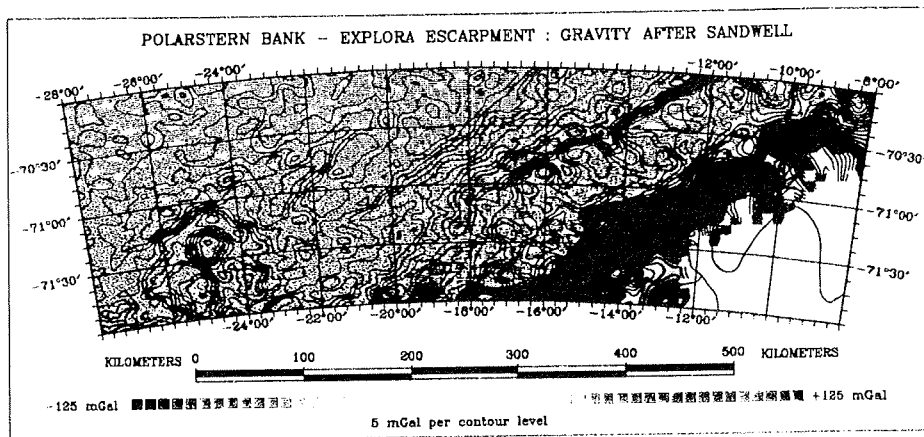


Abb. 8.5a: Freiluftschwere nach SANDWELL ET AL. (1994) im Vergleichsgebiet und Datenverteilung

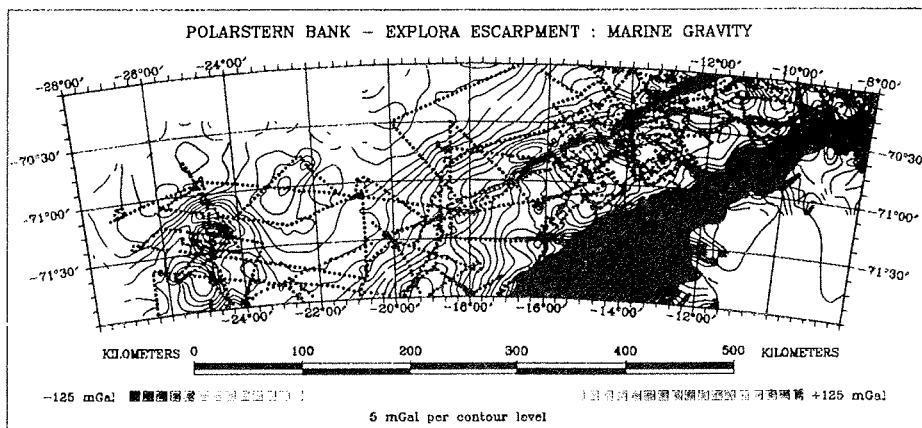


Abb. 8.5b: Marine Freiluftschwere im Vergleichsgebiet und Datenverteilung

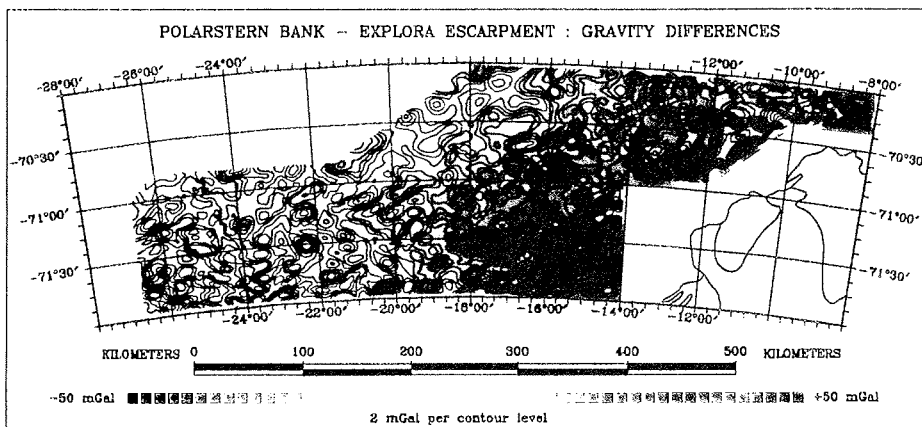


Abb. 8.5c: Differenz zwischen Schiffs- und Satellitenmessungen

WEDDELL SEA: FREE AIR ANOMALIES FROM SATELLITE ALTIMETRY

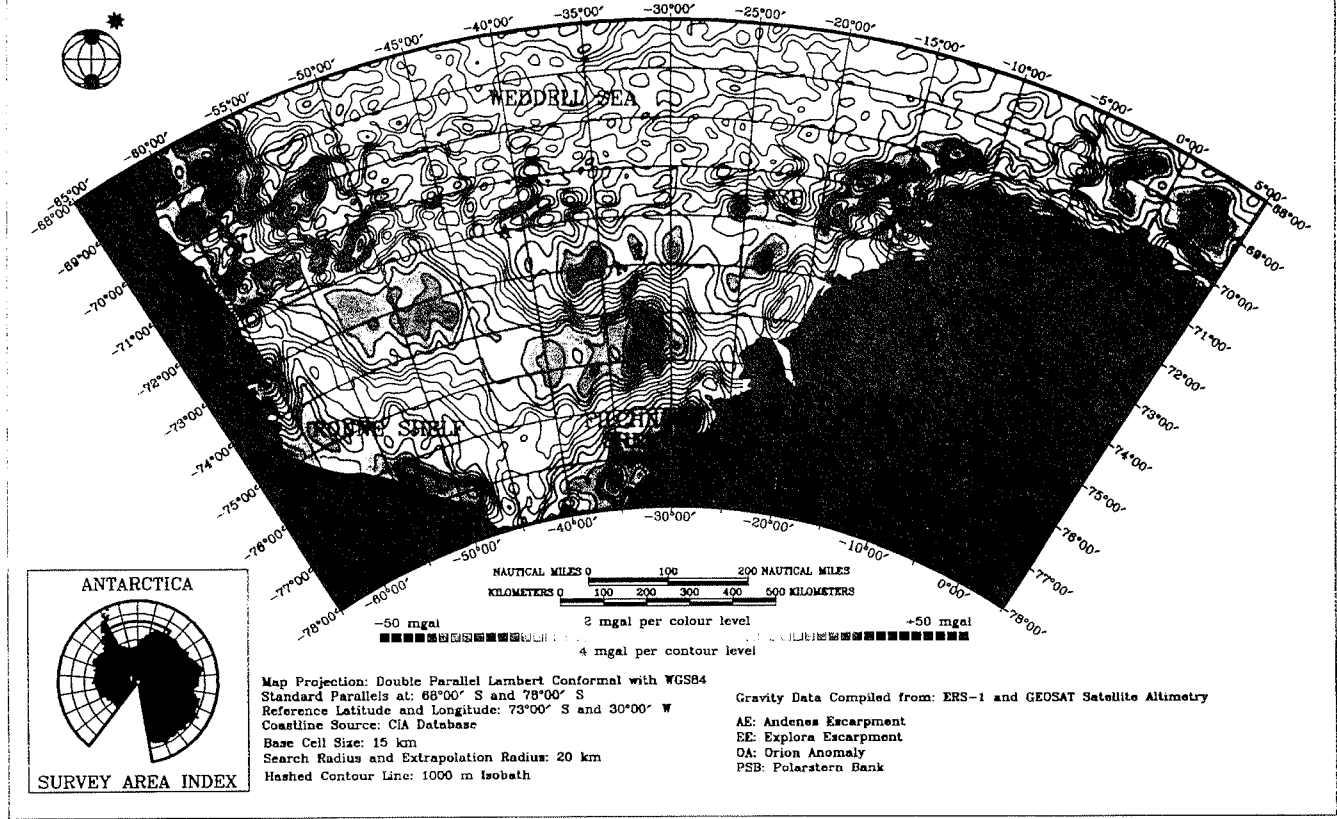


Abb. 8.6: Freiluftschwere für das südliche Weddellmeer nach einer Kompilation von Schöne (aus: JOKAT ET AL., 1995)

8.3 Kartierung der Bougueranomalie

Die Berechnung der Bougueranomalie reduziert im Ergebnis den Einfluß der Topographie und Bathymetrie auf die Freiluftanomalie und wird in erster Linie durch die Tiefenlage der Kruste-Mantel-Grenze bestimmt. Die vorliegende Karte der marinen Freiluftanomalie (Abb. 8.1) wurde mit den in Abb. 6.2 gezeigten bathymetrischen Daten zur Bougueranomalie (Abb.8.7) berechnet. Sie zeigt für den nördlichen Teil des Weddellmeers den überwiegenden Einfluß des Tiefseebeckens ('Weddell abyssal plain'). Es reicht bis zu 71°S nach Süden und ist durch Wassertiefen größer als 4000 m charakterisiert. In diesem Gebiet liegt reine ozeanische Kruste mit nur dünner Sedimentbedeckung vor. Die somit zu erwartende hohe Lage der Kruste-Mantel-Grenze und der gleichzeitige Effekt einer mehr als 4000 m mächtigen Sedimentfüllung des Beckens mit einer angenommenen Bouguerdichte von 2.70 g/ccm ergibt sehr große Werte für die marine Bougueranomalie von 300 mGal und mehr.

Das Ronne-Filchner-Schelf

Den stärksten Kontrast zur Tiefseeregion bildet die Schelfregion vor dem Filchner-Ronne-Eisschelf. Sie zeigt an den unmittelbaren Rändern zur Schelfeisgrenze und der Küste negative Anomalien von bis zu -100 mGal. Dies resultiert aus einer relativ tiefen Mantellage und geringen Wassertiefe. Nach Norden hin geht das Ronne-Schelf flach in positive Werte für die Bougueranomalie über. Ab der 1000 m Isobathen steigen die Bouguerwerte über den regionalen Mittelwert für das Weddellmeer von 100 mGal hinaus weiter an.

Die Andenes-Anomalie

Die Andenes-Anomalie zeichnet sich in der Bouguerkarte durch Anomaliewerte zwischen 150 und 200 mGal aus. Sie wird im Nordosten begrenzt durch Anomalien größer als 200 mGal. Die Andenes-Anomalie trennt sich somit sowohl vom kontinentalen Filchner-Ronne-Schelf entlang der 1000 m Isobathen in östlicher Verlängerung der Orion-Anomalie ab, als auch durch insgesamt niedrigere Anomaliewerte gegen die ozeanische Kruste im Norden.

Das Maud-Rift

Das Gebiet des Maud-Rifts stellt sich in der Bouguerkarte wie die Andenes-Anomalie mit Werten zwischen 150 und 200 mGal dar, nur ist der Anomalieverlauf dem der Andenes-Anomalie genau entgegengesetzt; die Werte nehmen nach Südwesten hin ab. Eine Fortsetzung des Maud-Rifts im Süden durch das Filchner-Ronne-Rift ist aus der Bouguerkarte nicht deutlich belegbar.

Die Küstenanomalie vor Dronning Maud Land

Nördlich des Filchner-Schelfs bis etwa 10°O zieht sich im direkten nördlichen Anschluß an die 1000 m Isobathe eine über 600 km lange Anomalie entlang, die eine

Explora Escarpment knüpfen sich südlich der 1000 m Isobathe niedrigere Bouguerwerte (0 bis 100 mGal) an. Das Explora-Escarpment zeichnet sich im Vergleich dazu nur undeutlich ab und hebt sich durch Bouguerwerte größer 200 mGal vom südlichen Anomalienverlauf ab.

8.4 Modell der Krustendicke

Analog zur einfachen Berechnung der marinen Bougueranomalie wurde eine Berechnung zur Abschätzung der Mächtigkeit der ozeanischen Kruste durchgeführt.

Die einfache Bougueranomalie berechnet sich wie folgt:

$$g_{\text{boug}} = g_{\text{obs}} - g_n (0.04188 \Delta r) * h$$

Analog dazu wurde die Krustenmächtigkeit abgeschätzt zu:

$$g_{\text{obs}} - g_n - \frac{(0.04188 \Delta r_w) * h_w - (0.04188 \Delta r_s) * h_s}{0.04188 \Delta r_k} = h_k + \text{const.}$$

Die Werte für

$$\Delta r_w (\text{Wasser}) = -2.3, \text{ für}$$

$$\Delta r_s (\text{Sediment}) = -0.85 \text{ und}$$

$$\Delta r_k (\text{ozeanische Kruste}) = -0.3$$

wurden abgeschätzt relativ zu einer Manteldichte von 3.3 g/ccm aus den in Kapitel 8 gewonnenen Erfahrungen. Die Mächtigkeiten der Wassertsäule h_w ist aus der Bathymetrie (Abb 6.2), die der Sedimentsäule h_s ist wie ebenfalls aus Kapitel 9 ersichtlich aus den Auswertungen der marinen Seismik in diesem Gebiet bestimmt worden.

Das Explora-Escarpment und das Andenes-Escarpment sind nach den Resultaten dieser Abschätzung (Abb. 8.8) durch höhere Krustenmächtigkeiten als in der rein ozeanischen Kruste im äußersten Norden des dargestellten gebietes gekennzeichnete, ebenso wie das Gebiet der Polarstern-Bank und ihrer südlichen Ausdehnung. Nach diesem Resultat trennen die beiden Seamounts bei Escarpments klar voneinander ab. Kontinentale Krustenmächtigkeiten von mehr als 20 km finden sich südlich der 1000 m Isobathen. Es ist wichtig zu beachten, daß die farbskalierung der Karte nur zur Orientierung dient, da die Krustenmächtigkeit in dieser Abschätzung nur bis auf eine additive Konstante bestimmt ist.

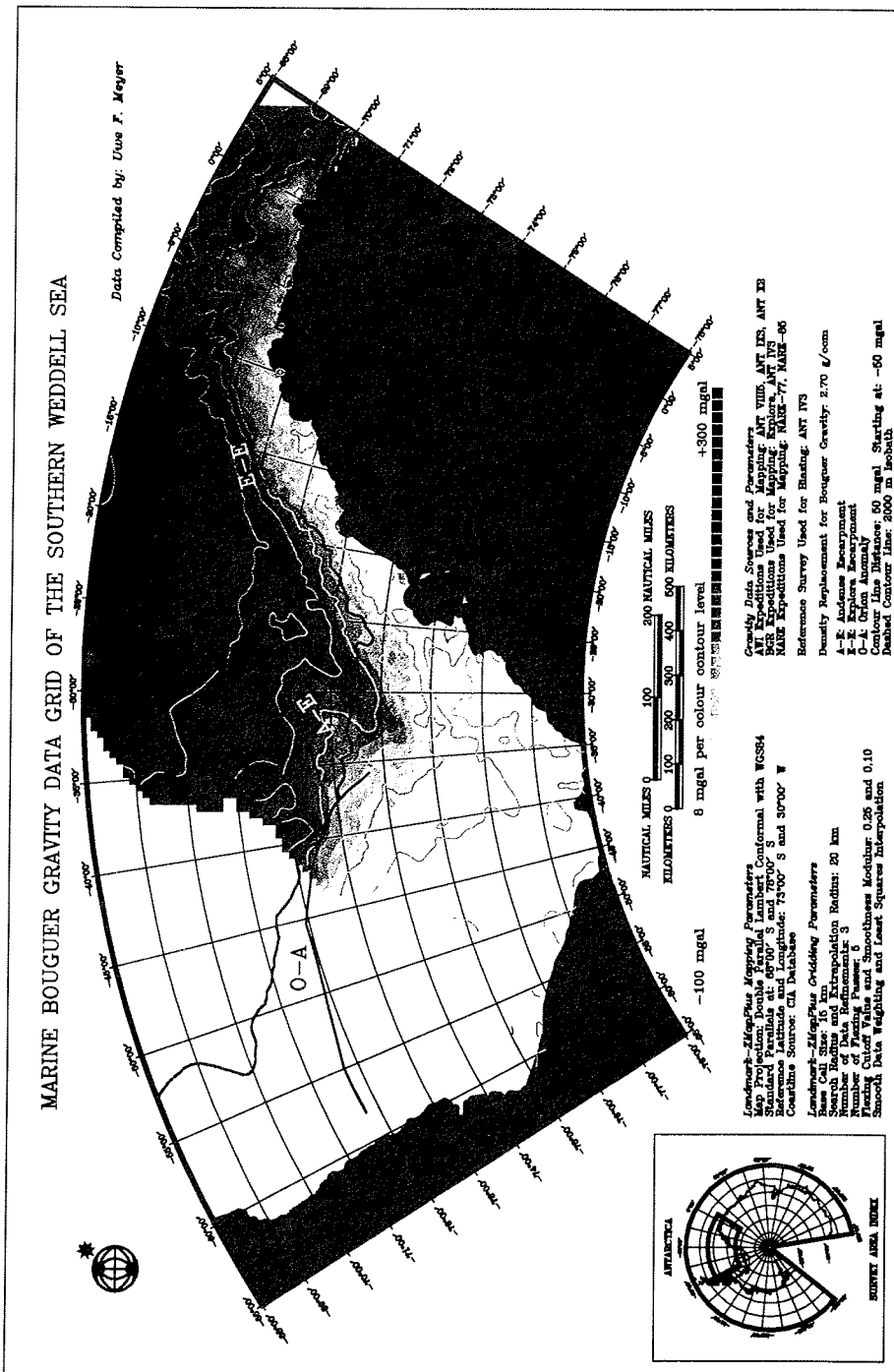


Abb. 8.7: Karte der Bouguerschwere für das südliche Weddellmeer

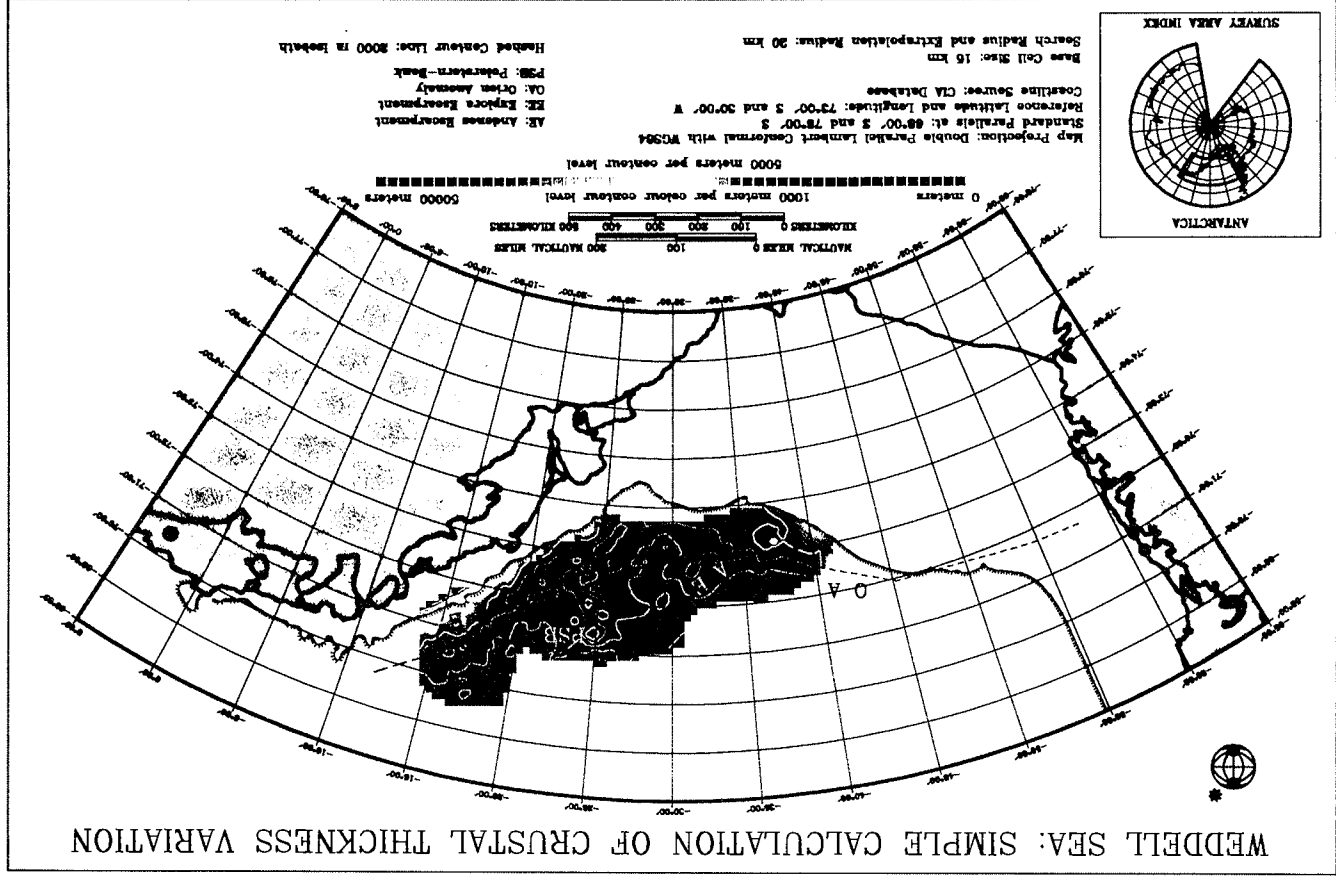


Abb. 8.8: Einfaches Modell der Krustendicke im südlichen Weddellmeer

8.5 Profile der marinen Magnetik

Die Verteilung und Lage der hier bearbeiteten Profile ist in Abb. 7.1 zu ersehen. Im folgenden werden die marinen Magnetometerprofile über der Freiluftschwere im Zusammenhang mit folgenden Gebietsausschnitten besprochen: dem Gebiet um die Polarstern-Bank und das Explora-Escarpment, dem Gebiet vor der Küste von Coats Land und dem Gebiet vor dem Ronne-Schelfeis.

Abb. 8.9 zeigt die Magnetometerprofile um die Polarstern-Bank und das Explora-Escarpment. Über der nördlichen Flanke der Polarstern-Bank (PSB) zeigt sich eine starke positive Anomalie mit einem Maximum von 630 nT. Alle Profile über der Polarstern-Bank weisen dort eine Anomalie von über 400 nT aus. Vom Zentrum der Polarstern-Bank gesehen besitzt die Magnetfeldanomalie einen Radius von 25 bis 30 km. Ein weiteres kurzes Profilstück überstreicht in Nordsüd-Richtung die Nordflanke des Seamounts bei 72°S und 24°15'W. Hier ist ein nur leichter Anstieg der Anomalie zum Seamount hin zu verzeichnen. Nördlich der Polarstern-Bank verlaufen zwei Profile stark unterschiedlicher Ausprägung in Nordsüd-Richtung. Das westliche zeigt eine deutliche, begrenzte, negative Anomalie im Norden der Polarstern-Bank, das östliche eine positive Anomalie, die erst nördlich von 71°S ins negative übergeht. An ihrem Kreuzungspunkt bei 70°55'S und 25°W stimmen jedoch beide Profile in ihren Werten bis auf 20 nT miteinander überein. Im Bereich zwischen der Polarstern-Bank und dem Explora-Escarpment um 71°S treten nur schwache negative Anomalien auf. Somit hebt sich die Polarstern-Bank und der sich anschließende Seamount im Süden durch eine deutlich positive Anomalie von der Umgebung ab.

Das Profil, das ab 18°W von West nach Ost in das Explora-Escarpment hineinläuft, zeigt im Gebiet des Escarpments Anomalien bis 400 nT. Diese Beobachtung deckt sich mit der Kartierung aus HERZFELD UND BRODSCHOLL (1994). Die weiteren Profile südlich davon gehen ebenfalls zur Küste hin in positive Anomalien über und decken sich mit der Kartierung von JOHNSON (1992). Die dort als Explora-Anomalie bezeichnete langgestreckte, küstenparallele positive Magnetfeldanomalie zieht sich weit über das Escarpment hinaus nach Süden (vgl. Abb. 6.9). Dabei überdeckt sie die negative gravimetrische Anomalie gleicher Streichrichtung.

Abb. 8.10 zeigt ein zweifach unterbrochenes Profil in SSW-NNO-Richtung. Leider fällt die nördliche Profillücke in eines der interessantesten gravimetrischen Kartierungsflächen. An dieser Stelle findet der Übergang der gravimetrischen Küstenanomalie von Dronning Maud Land in das Schwerehoch des Filchner-Schelfs statt. Die nördlichen Teilstücke des Profils zeigen nur schwache, zumeist negative Anomalien. Der südliche Teil weist nur positive Anomalien auf, mit einem lokalen Maximum bei 76°S.

Die Magnetikprofile vor dem Ronne-Schelfeis zeigen wie auch die Gravimetrie kaum Variationen (Abb. 8.12). Die Variationsbreite über 400 km Profilstrecke beträgt nur etwa 100 nT, mit einem Mittel von -50 nT.

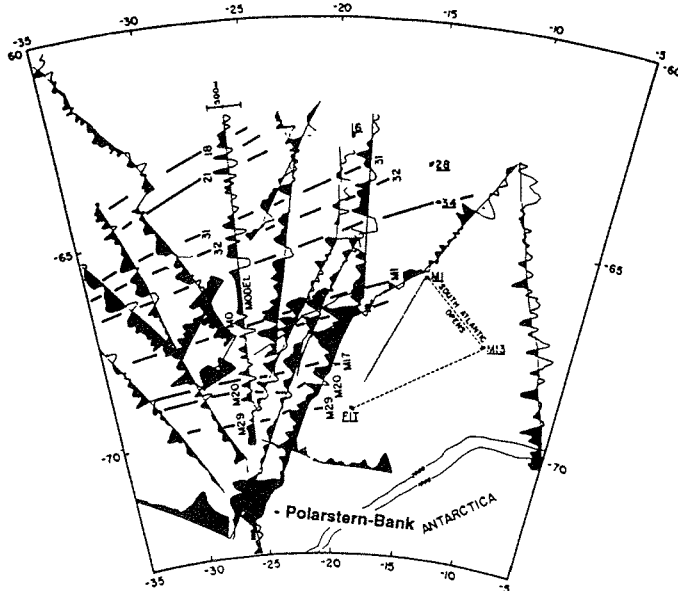


Abb. 8.9: Magnetikanomalien im Bereich der Polarstern-Bank nach LaBrecque und Barker (1981)

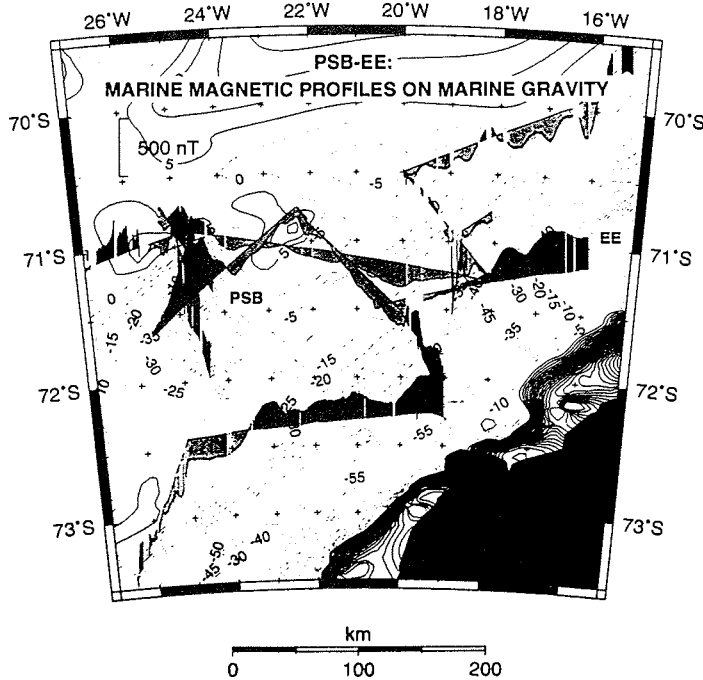


Abb. 8.10: Magnetikanomalien im Bereich der Polarstern-Bank

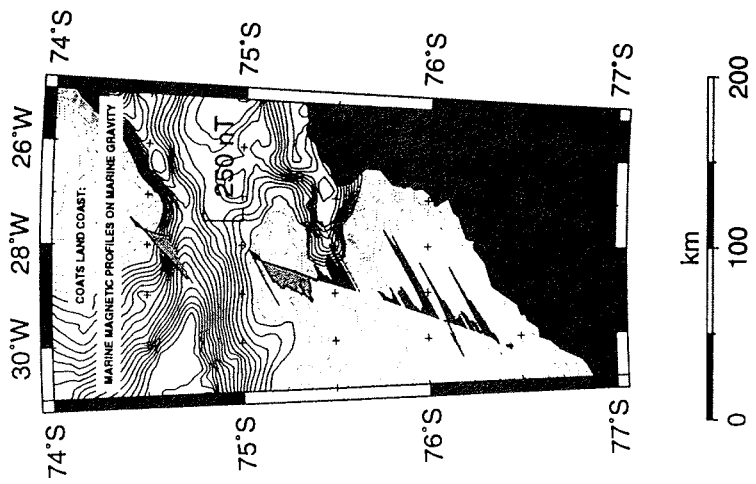


Abb. 8.11: Magnetikanomalien vor der Küste von Coats Land

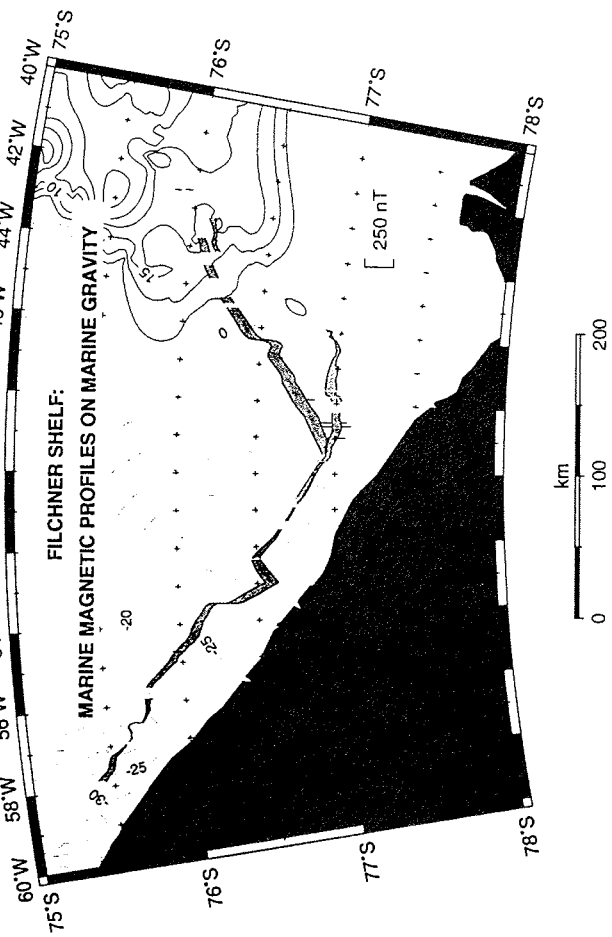


Abb. 8.12: Magnetikanomalien aus ANT X/2 vor dem Filchner-Schelfeis

9 MODELLIERUNGEN

Im ersten Schritt zur Modellierung wurde ein Gebiet ausgewählt, daß für eine weiterführende Interpretation von zentralem Interesse ist und gleichzeitig gut mit Daten belegt ist. Ein solches Gebiet findet sich zwischen der Andenes-Anomalie und dem Explora-Escarpment. Hier interessiert besonders der Verlauf des Kontinentalrandes, der Aufbau der Polarstern-Bank und des Maud-Rift. Die Gebietsgrenzen wurden gewählt zu 29°W und 21°W, sowie 70°30'S und 74°30'S. Abb. 9.1 zeigt den betreffenden Ausschnitt mit der Kartierung der Freiluftschwere aus den marinen Daten. Für diese Darstellung wurde ein engeres Datengitter von 5km * 5km mit einem auf 10km begrenzten Suchradius berechnet. Entsprechend werden die Datenlücken in diesem Gebiet sichtbar. Die Polarstern-Bank bei 24°45'W und 71°25'S ist als isolierte, positive Anomalie erkennbar, im südwestlichen Bildausschnitt das Maud-Rift, ebenfalls als positive Anomalie, und im Süden die Beckenstruktur als eine negative Anomalie.

Als zweiter Schritt zur Erstellung eines Modells der gravimetrischen Strukturen zwischen der Andenes-Anomalie und dem Explora-Escarpment wurden die Ergebnisse der seismischen Kartierungen von HÜBSCHER (1994) genauer betrachtet. Die daraus abgeleiteten Sedimentmächtigkeiten und die Tiefenlage des akustischen Basements sollten als zwingende Randbedingungen im Modell enthalten sein. In der Zwischenzeit lagen zusätzliche, noch nicht von HÜBSCHER (1994) ausgewertete seismische Datensätze im zu bearbeitenden Gebietsausschnitt vor, zudem waren alle Datensätze in das seismische Interpretationssystem LANDMARK geladen. So war es möglich, den erweiterten Datensatz in LANDMARK neu zu interpretieren und die damit gewonnenen Sediment- und Basementkartierungen mit denen aus HÜBSCHER (1994) zu vergleichen. Dabei wurden die von HÜBSCHER (1994) ermittelten Geschwindigkeiten zur Berechnung der Mächtigkeiten aus den Zweiweg-Laufzeiten übernommen. Die Sedimentbeckung wurde zudem unterschieden in eine hochgradig verfestigte, untere Lage und eine weniger verfestigte, aufliegende Lage.

Das erste Ergebnis resultiert in einer bathymetrischen Karte des Modellierungsgebiets. Sie wurde erstellt aus den 'center beam'-Tiefen (vgl. Kapitel 4.3.2), die in den gravimetrischen Datensätzen mit enthalten sind. Anschließend wurde sie verglichen mit der Oberflächenkartierung des Meeresbodens aus der Seismik. Ausreißer in den Wassertiefen wurden so erkannt und eliminiert. Die so erstellte bathymetrische Karte zeigt Abb. 9.2. Im nördlichen Teil des Ausschnitts steigen die Wassertiefen auf über 4200 m. Daraus erhebt sich die Polarstern-Bank um etwa 400 m. Im Süden des Ausschnitts erkennt man den Übergang zum Schelfrand, jedoch ohne das in der Gravimetrie sichtbare vorgelagerte Becken. Die so erzeugte bathymetrische Karte ist für eine erste Modellierung der Freiluftschwere hinreichend. Jedoch zeigt sie besonders im südlichen Ausschnitt deutliche Lücken und Interpolationseffekte. Gerade in diesem Bereich geringer Wassertiefen verursachen schon geringe Tiefenfehler große Fehler in der Modellierung. In diesem Fall gilt dies für die Wassertiefen ab etwa 2000 m aufwärts. Es liegt eine

wesentlich bessere bathymetrische Kartierung, die auf qualitativ hochwertigen Datenressourcen beruht, zwar vor, diese konnte für die vorliegende Arbeit aber noch nicht genutzt werden. Hier sind also in Zukunft weitere Verbesserungen zu erwarten, wenn der detaillierte bathymetrische Datensatz verfügbar werden sollte. So bleibt der Schelfbereich in der Modellierung aufgrund fehlender oder unzureichend genauer Daten wegen problematisch.

Die Sedimentmächtigkeit ist in Abb. 9.3, die Tiefenlage des akustischen Basements in Abb. 9.4 dargestellt. Die Unterschiede zu den Kartierungen von Hübscher ergeben sich in Hauptsache durch die bessere Datenüberdeckung und verbesserte Interpretationsmöglichkeiten. Die weitere Auswertung dieser Daten wird fortgeführt und in Loszko (1995) veröffentlicht.

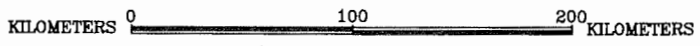
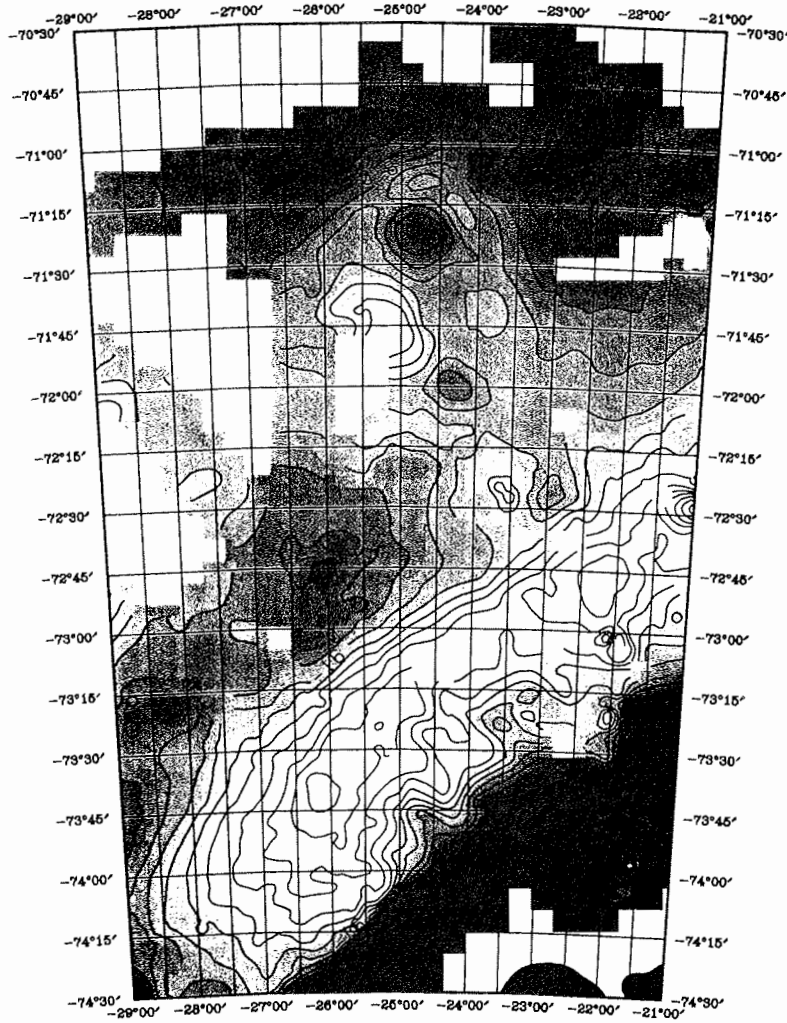
Für eine gravimetrische Modellierung mit IGMAS sind parallele Schnitte notwendig, auf denen das Modell definiert wird. Ausgehend von $28^{\circ}30'W$ bis nach $21^{\circ}30'W$ wurden in Schritten von $30'$ entlang der Längengrade 15 N-S-Profile definiert. Die zur Modell-Grundlage dienenden Daten wurden aus den gezeigten Kartierungen auf eben diesen Schnitten im N-S-Abstand von $5'$ extrahiert. Wie aus in den Kartierungen ersichtlich, ist der südliche Schelfrand nicht durch seismische Ergebnisse abgedeckt.

Die Rahmenbedingungen machen deutlich, daß hier nur ein grobes Modell erstellt werden kann. Wenn die endgültigen Datensätze der Bathymetrie und der Seismik vorliegen, kann die augenblickliche Stationsanzahl von 850 Punkten zur Vorgabe der Meßwerte sinnvoll erhöht werden. Für die vorliegende Modellierung wurden alle Stationswerte für die Freiluftschwere, die Sedimentlagen und das Basement einzeln aus den Kartierungen gepickt und sind entsprechend mit Fehlern behaftet. Für eine Weiterentwicklung des Modells werden die Profile hochgenau automatisch aus den Kartierungen extrahiert werden können. Dann bestimmt nur noch der Kartierungsfehler die Genauigkeit der Modellhorizonte.

Das Modell führt von West nach Ost zuerst das Modell von KRISTOFFERSEN UND HINZ (1991) weiter (vgl. Abb. 6.11c). Dieses Modell beinhaltet neben dem Maud-Rift auch die Andenes-Anomalie im nördlich des Rifts. Die Andenes-Anomalie und später das Rift werden nach und nach ausgeblendet und die Polarstern-Bank, sowie die weiteren Seamounts als vulkanische Krustenauflast eingebildet. Im östlichsten Teil der Modellierung wird neben der Wassersäule und der Sedimentauflast nur noch ozeanische Kruste, eine Übergangszone und kontinentale Kruste als Bestandteil des Modells gebraucht.

Interpretationsprobleme bleiben bestehen für das gravimetrische Hoch, das die Polarstern-Bank von Norden her im Halbkreis umringt. Hier liegen noch keine seismischen Daten vor, die wesentliche Anhaltspunkte bieten könnten.

MODELLING AREA: POLARSTERN BANK TO COAST SECTION
MARINE FREE AIR ANOMALY GRID



-100 mgal 4 mgal per colour contour level +100 mgal
 8 mgal per contour line level

Gridding Base Cell Size: 5km
 Number of Gridding Refinements: 1
 Gridding Search Radius: 10km
 Gridding Interpolation Radius: 10km
 Number of Grid Fixings: 5

AWI Data Sets Included: ANT X2, ANT IX3, ANT VIII6
 BGR Data Sets Included: Explora, ANT IV3
 Alfred-Wegener-Institute, Department of Geophysics
 Uwe F. Meyer

Abb. 9.1: Freiluftschwere für das Gebiet der Modellierung

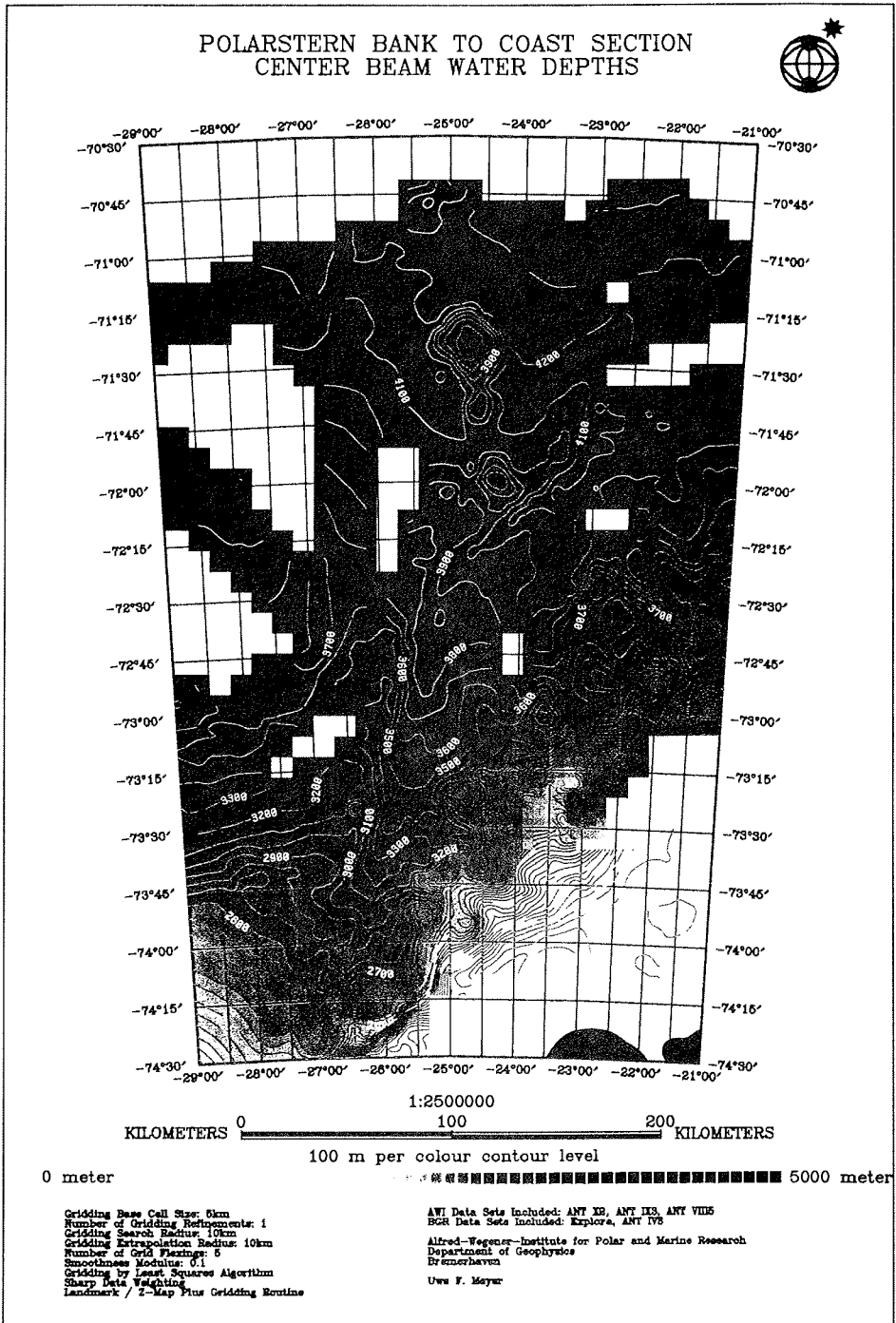


Abb. 9.2: Bathymetrie für das Gebiet der Modellierung aus 'center beam'-Tiefen

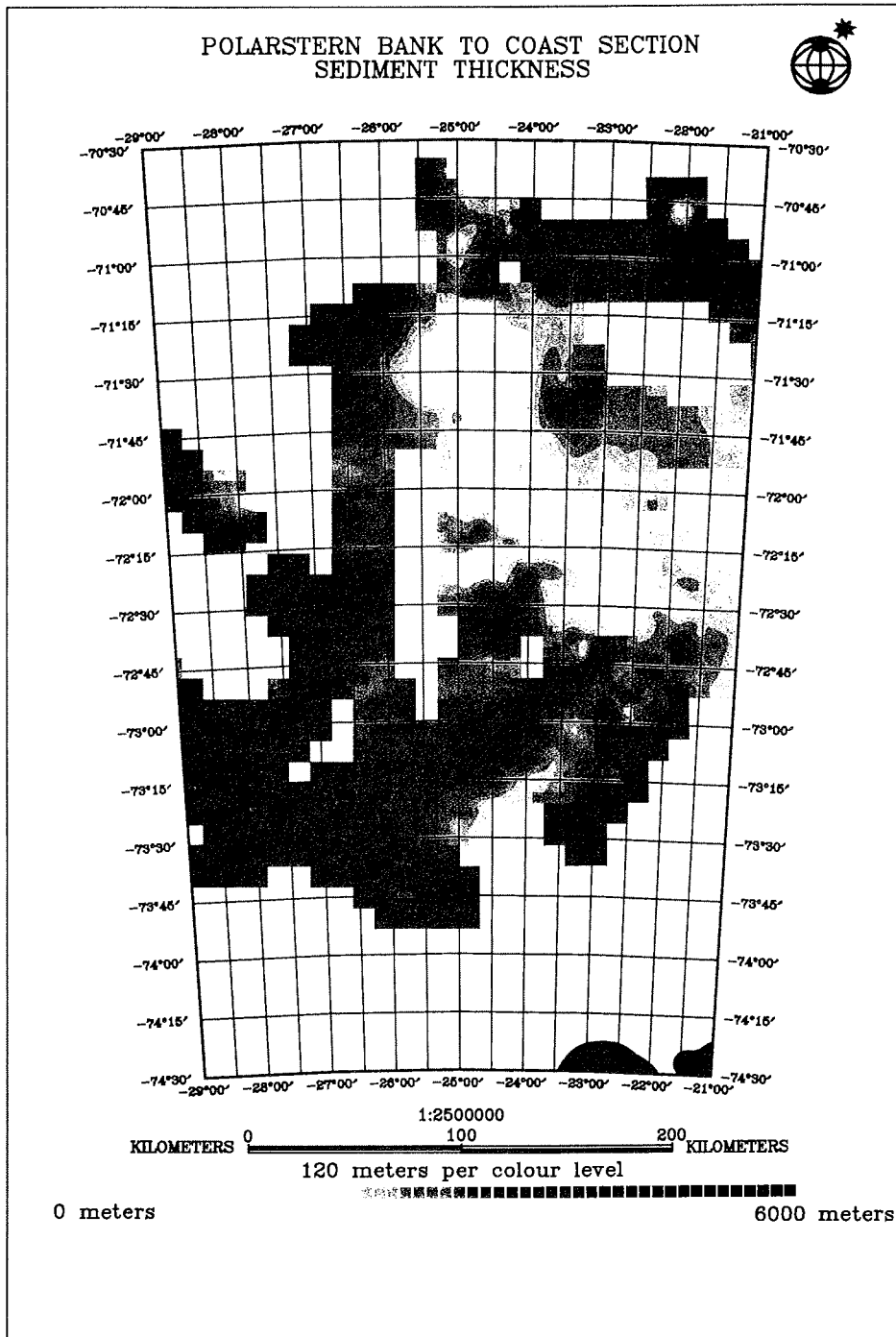


Abb. 9.3: Sedimentmächtigkeit für das Gebiet der Modellierung

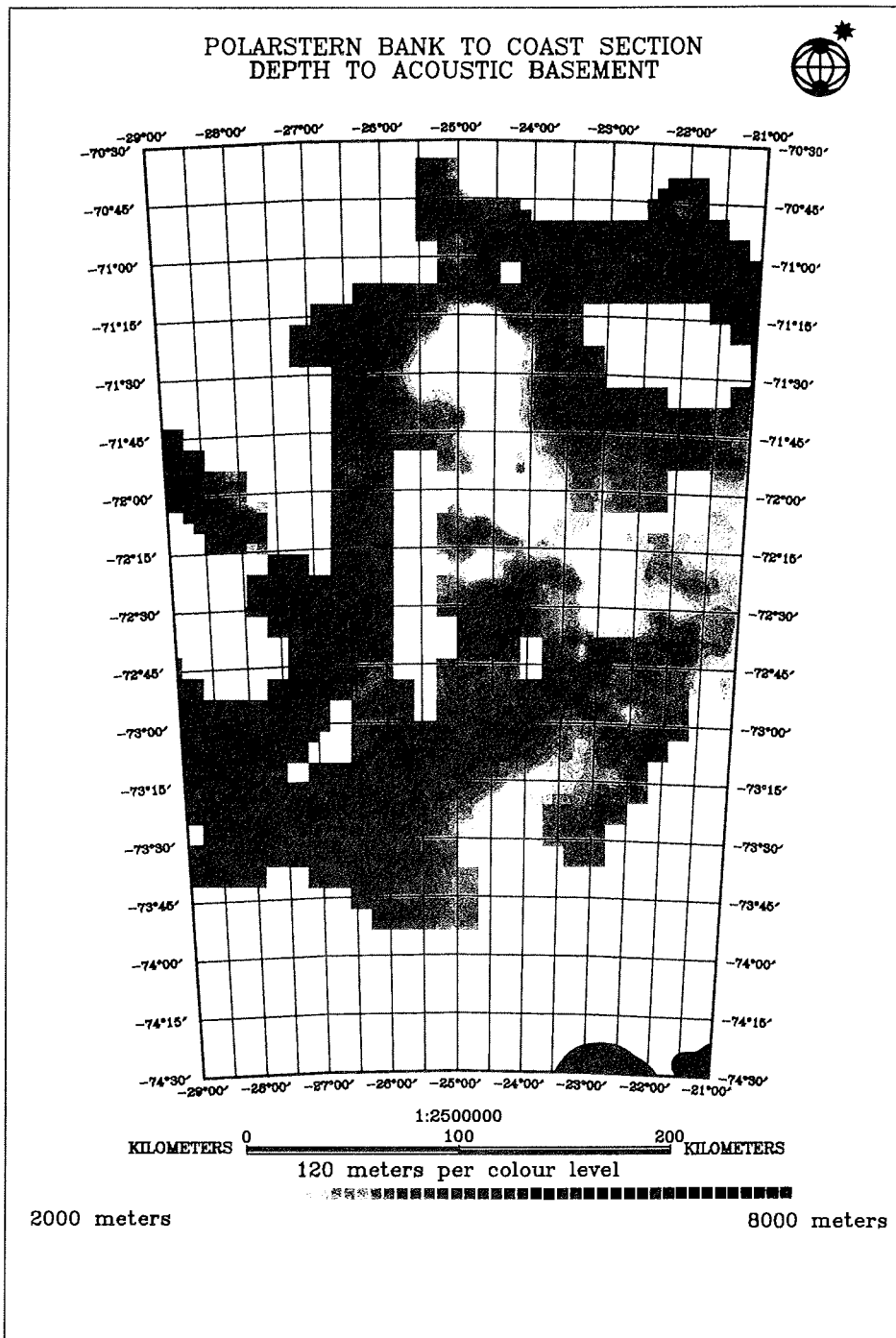


Abb. 9.4: Tiefenlage des akustischen Basements für das Gebiet der Modellierung

Für die Modellierung der Seamounts wurde auf eine Modellidee von DEHLINGER (1978) zurückgegriffen (Abb.9.5).

Um südlichen Rand des Modells zu modellieren, wurde der Ansatz von SHERIDAN ET AL. (1988) verwendet. Sie modellierten den passiven Kontinentrand der Ostküste Nordamerikas (Abb.9.6). Jedoch wurde auf die Zweiteilung der kontinentalen Kruste in Unter- und Oberkruste verzichtet und eine homogene Krustendichte angesetzt.

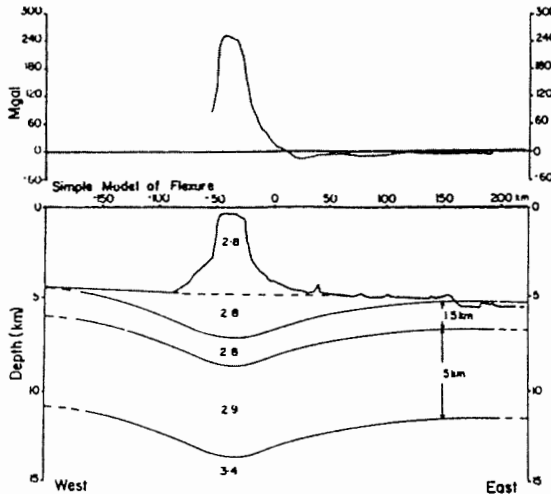


Abb. 9.5: Gravimetrisches Modell des Great Meteor Seamount nach Dehlinger

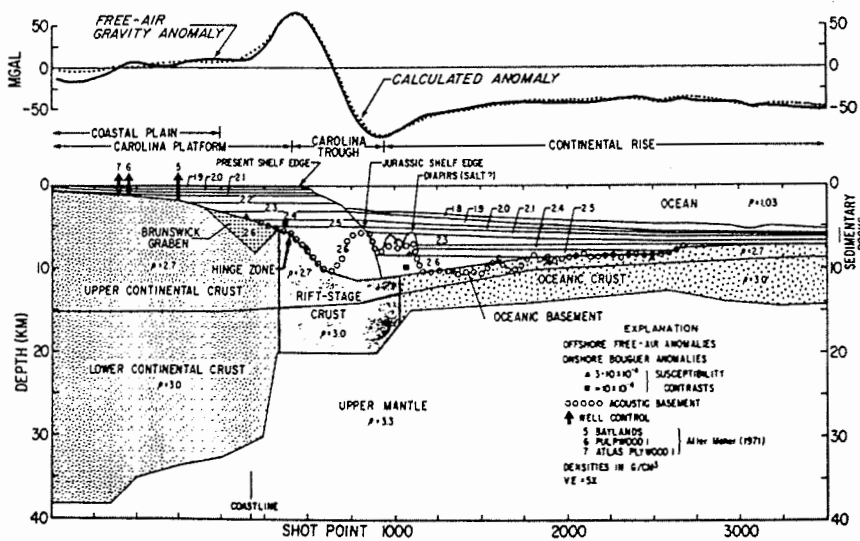


Abb. 9.6: Gravimetrisches Modell des passiven Kontinentalrandes der Ostküste Nordamerikas: Linie IPOD/USGS, Cape Hatteras

In Abb. 9.7 wird im unteren Teil die gemessene Freiluftschwere gezeigt, im oberen Teil die modellierte Freiluftschwere. Die gepunkteten Linien zeigen die einzelnen Profilschnitte an. Die Profile werden von unten nach oben in aufsteigender Reihenfolge gezählt. Profil 1 und Profil 15 definieren die seitlichen Begrenzungen des Modells. Beide Randprofile werden so behandelt, als wären sie 5000 km vom Mittenprofil des modellierten Ausschnitts entfernt, um die die Randeffekte zu minimieren und ein möglichst homogenes Modell zu garantieren. Im westlichen Randgebiet (in der Abb. 9.7 unten) funktioniert dieses Verfahren sehr gut. Jedoch im östlichen Randgebiet (in der Abb. 9.7 oben) zeigen sich größere Abweichungen. Dies liegt daran, daß die Küstenlinie der Ostantarktis im östlichsten Modellbereich scharf nach Norden hin abbiegt. Diese Dynamik kann in einem etwa 400 km langen Profil, das 5000 km nach außen verschoben wird, nicht verwirklicht werden. Der Fehler zeigt sich deutlich in der oberen Hälfte der Abb. 9.8. Hier sind die Differenzen zwischen der gemessenen Schwere und der modellierten Schwere dargestellt. Außerhalb dieses Randeffekts ist die Differenz kleiner 10 mGal. Die Konturlinien für die Differenzen sind im Abstand von 10 mGal geplottet, die Farbauflösung für die Differenzen ist vierfach höher.

Analog zu den Randprofilen werden auch die Profileenden homogen auf 5000km ausgedehnt.

Die Standardabweichung der Schweredifferenz zwischen Messung und Modell beträgt 6.81 mGal, der Korrelationskoeffizient beträgt 0.96. Diese Aussagen zur Anpassung des Modells an die Daten sagen allerdings nur begrenzt etwas über die Plausibilität des Modells aus. Wichtig ist an dieser Stelle, daß das Modell durch die bisherigen Ergebnisse der Seismik weitgehend definiert ist.

Das Modellgebiet ist an seiner Südseite (in den Abb. 9.7 und 9.8 rechts) begrenzt durch den Verlauf der Küstenlinie und den Flachwasserbereich im südlichen Schelfgebiet. Hier zeigt der Schelf große Variationen in der Bathymetrie, die im Modell nicht voll erfaßt werden können. Da im unmittelbaren Küstenbereich die Profildichte abnimmt, sind hier auch die Datenbelege schlechter.

Das Modell ist hier also im kurzwelligen Bereich (< 25 km) unsicher.

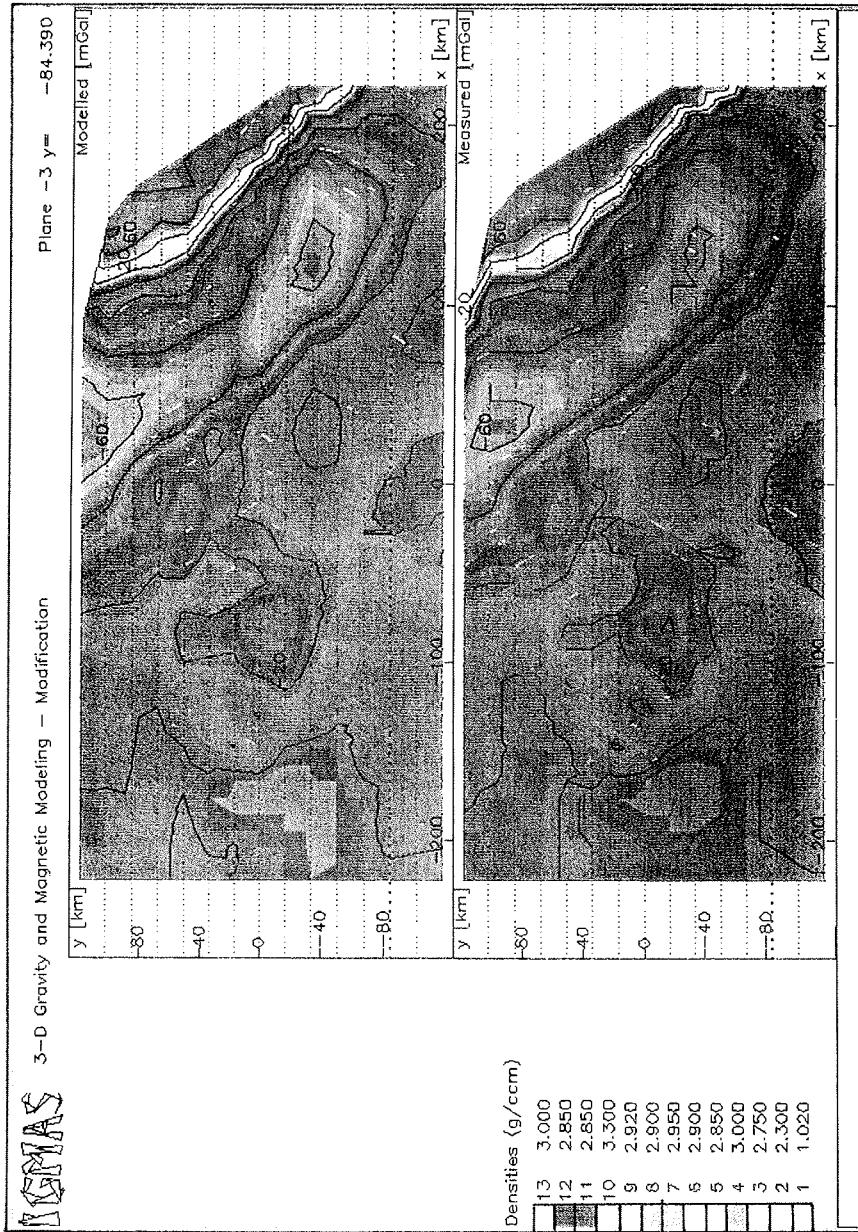


Abb. 9.7: Vergleich von modellierter und gemessener Freiluftschwere

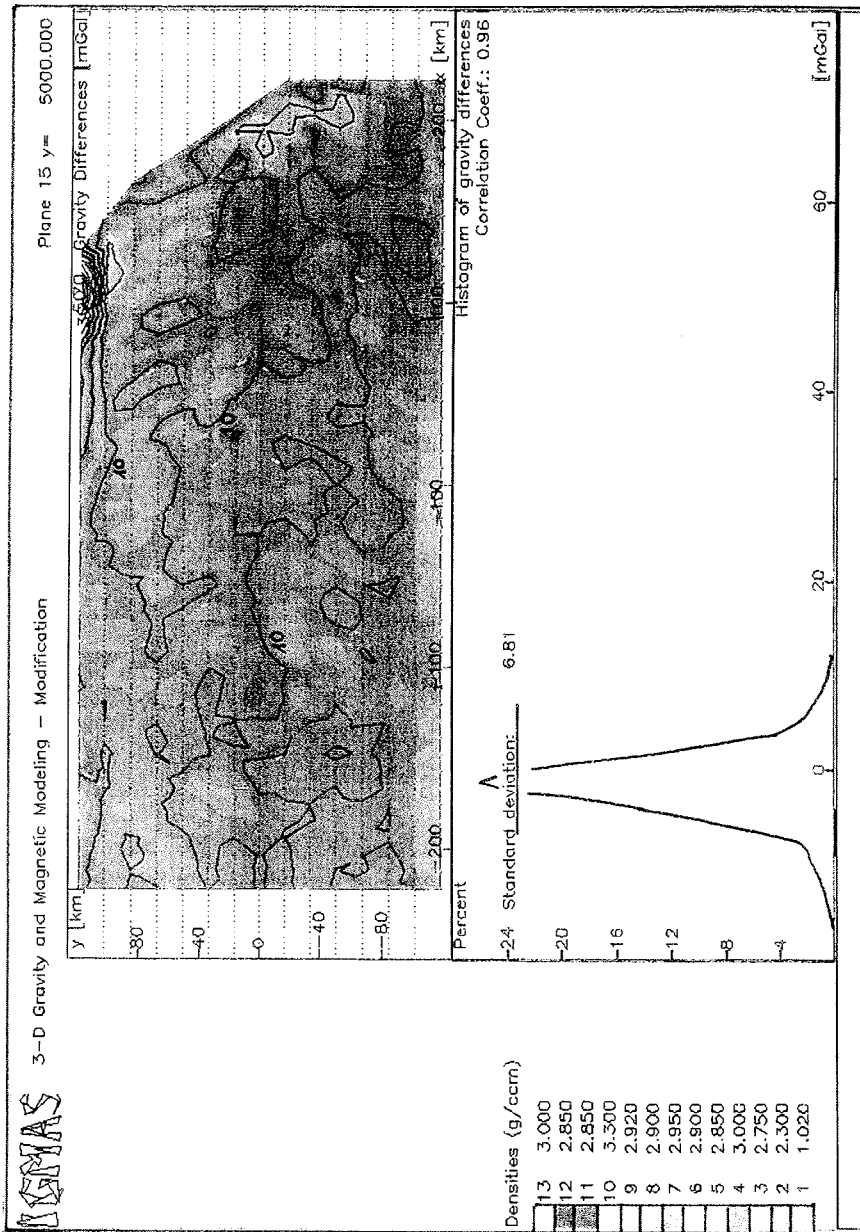


Abb. 9.8: Abweichung und Gesamtstatistik für die Modellierung

In den folgenden Abbildungen (Abb. 9.9 bis 9.23) werden die Profilschnitte gezeigt. Unmittelbar benachbarte Profile beeinflussen sich bei Änderungen an einzelnen Profilen. Das Modell zeigt in dieser Vorlage eine große Empfindlichkeit auf den Einzelprofilen bei stabilem Gesamtmodell.

Als Modellkörper wurden eingeführt:

- (1) - die Wassersäule mit einer Dichte von 1,020 g/ccm,
- (2) - eine obere, wenig verfestigte Sedimentauflage mit einer Dichte von 2,30 g/ccm,
- (3) - eine verfestigte, unten liegende Sedimentschicht mit einer Dichte von 2,75 g/ccm,
- (4) - ozeanische Kruste mit einer Dichte von 3,0 g/ccm,
- (5) - ein Segment geringer Dichte nach dem Modell von Hinz und Kristoffersen mit 2,85 g/ccm für die Andenes-Anomalie,
- (6,8) - eine Übergangskruste mit einer Dichte von 2,90 g/ccm,
- (7) - ein Krustensegment nach dem Modell von Hinz und Kristoffersen mit 2,95 g/ccm für eine mögliche Riftstruktur,
- (9) - eine homogene, kontinentale Kruste mit einer Dichte von 2,92 g/ccm,
- (10) - der obere Mantel mit einer Dichte von 3,30 g/ccm,
- (11,12) - eine vulkanische Krustenauflast mit einer Dichte von 2,85 g/ccm unter anderem für die Polarstern-Bank,
- (13) - eine generelle Umgebungsdichte von 3,0 g/ccm für den Außenraum des Modells.

Das Modell ist somit eine Variante des Modells von KRISTOFFERSEN UND HINZ (1991), das hier nach Osten hin weiter fortgeführt wird.

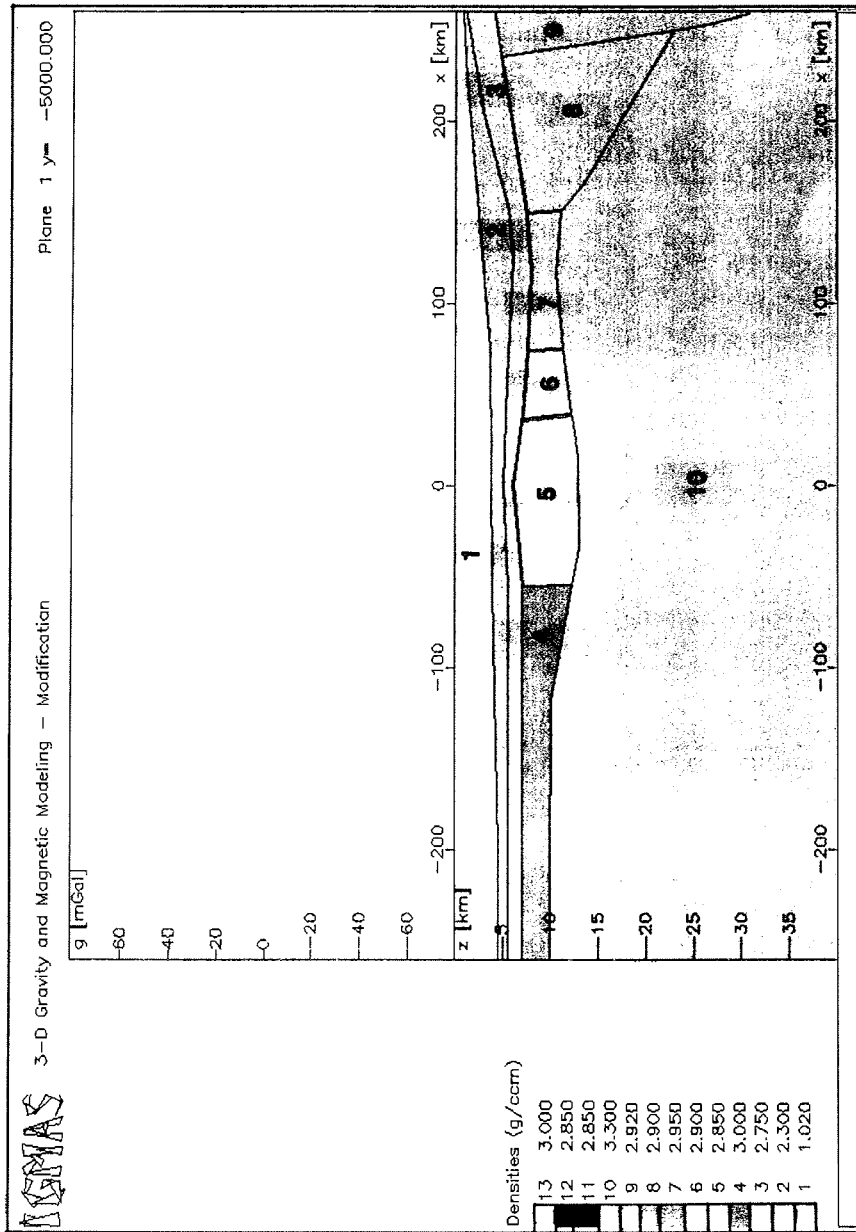


Abb. 9.9: Westlicher Rand des Modells, 5000 km Abstand zu 24°30'W

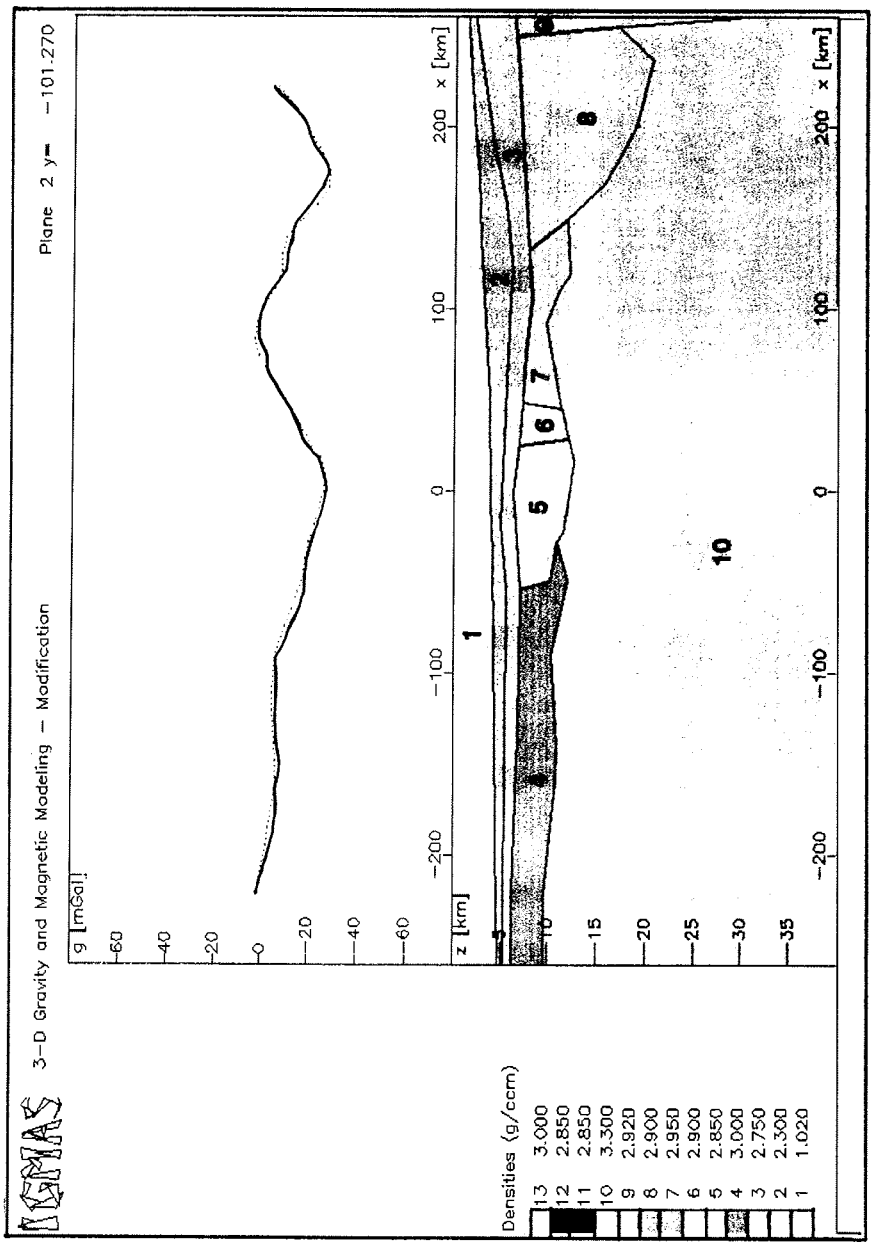


Abb. 9.10: Schnittbene des Modells bei 28°W

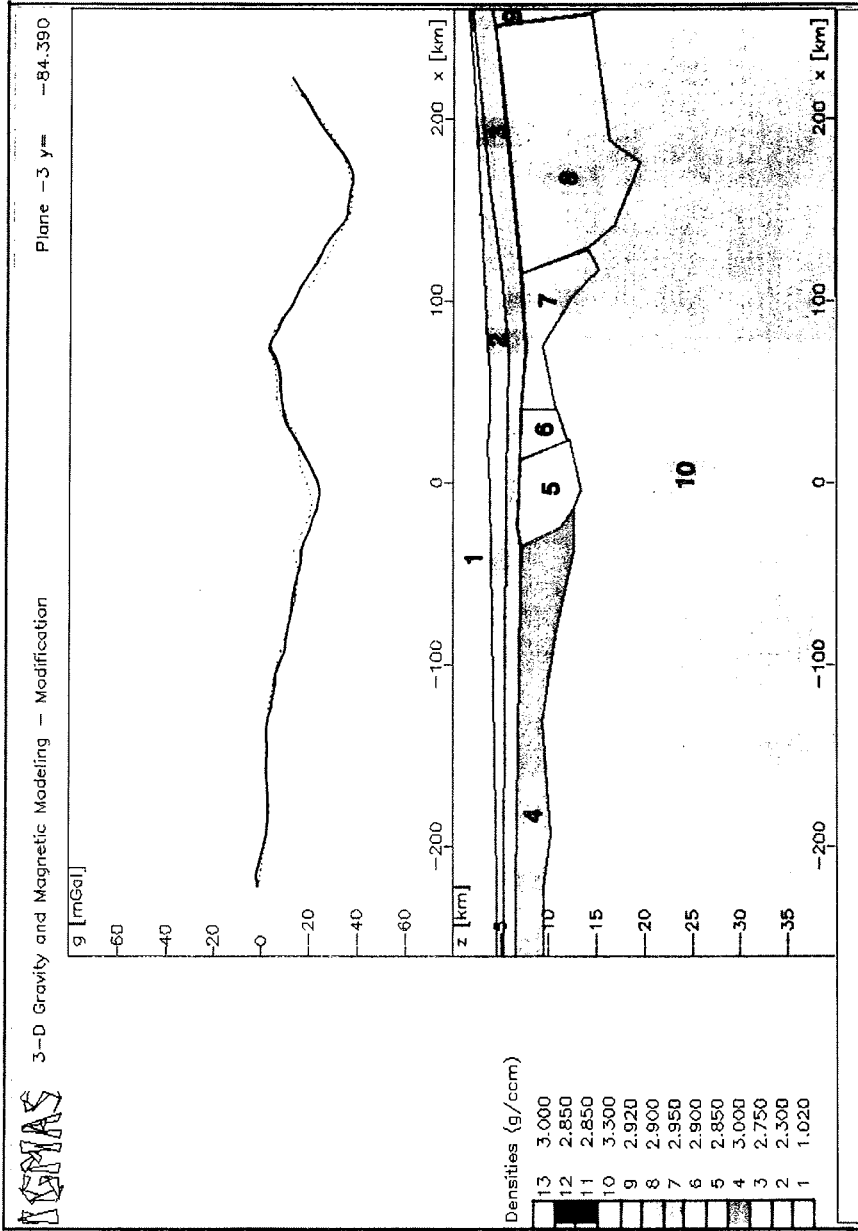


Abb. 9.11: Schnittebene des Modells bei 27°30'W

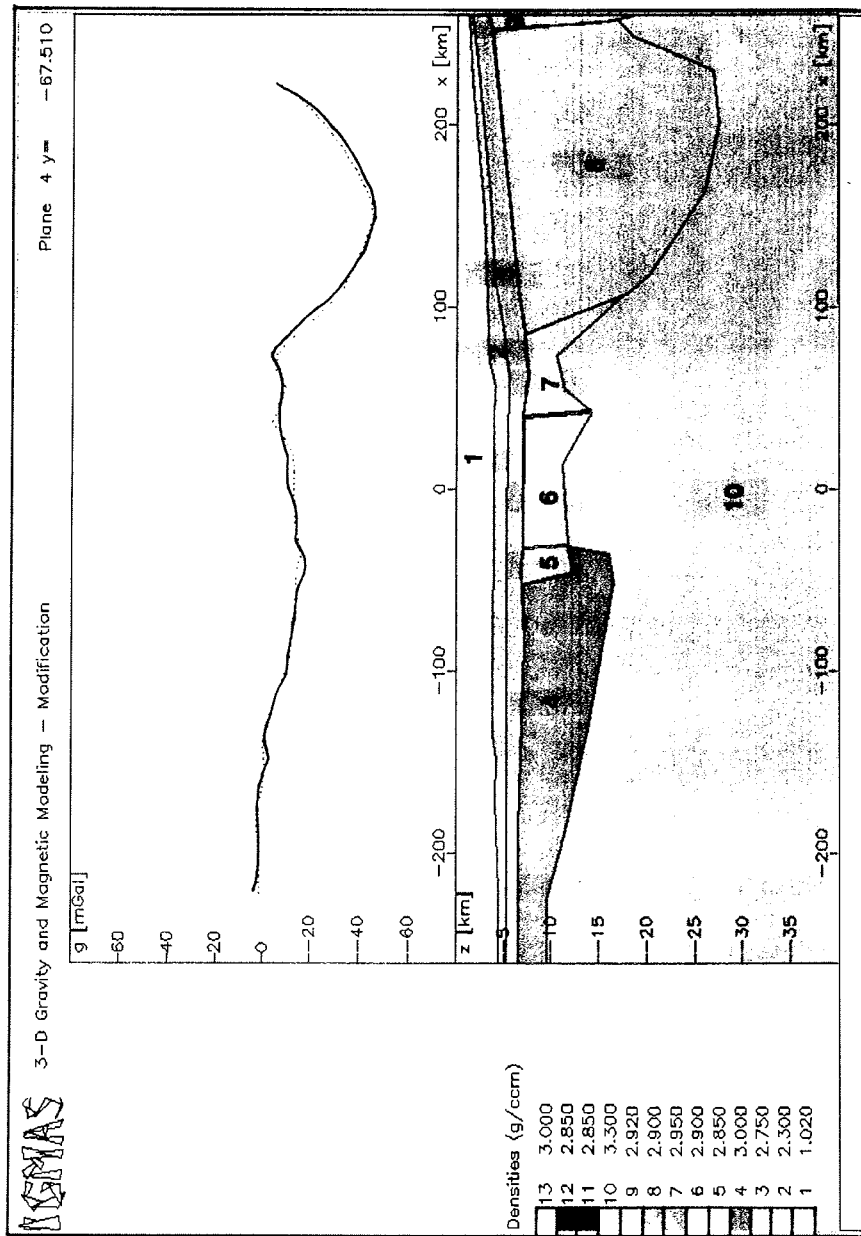


Abb. 9.12: Schnittebene des Modells bei 27°W

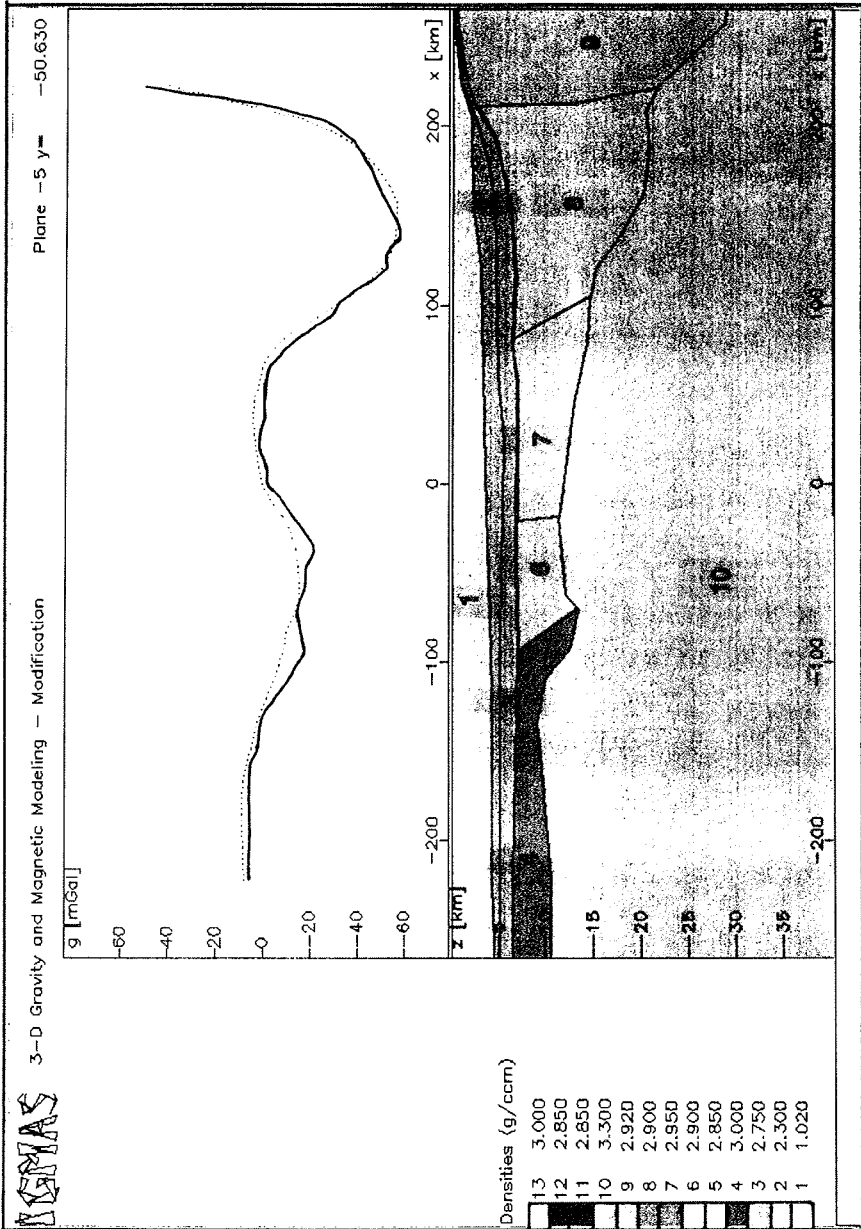


Abb. 9.13: Schnittebene des Modells bei 26°30'W

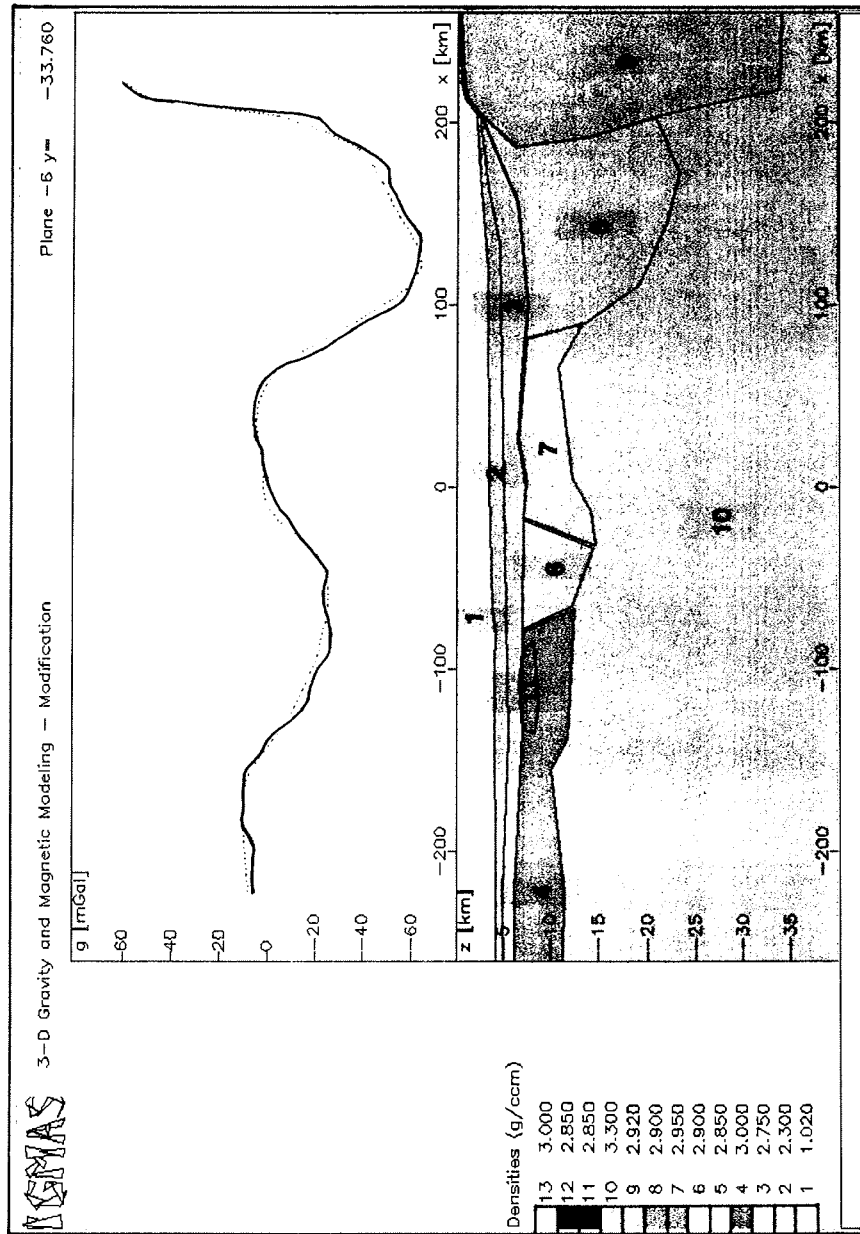


Abb. 9.14: Schnittebene des Modells bei 26°W

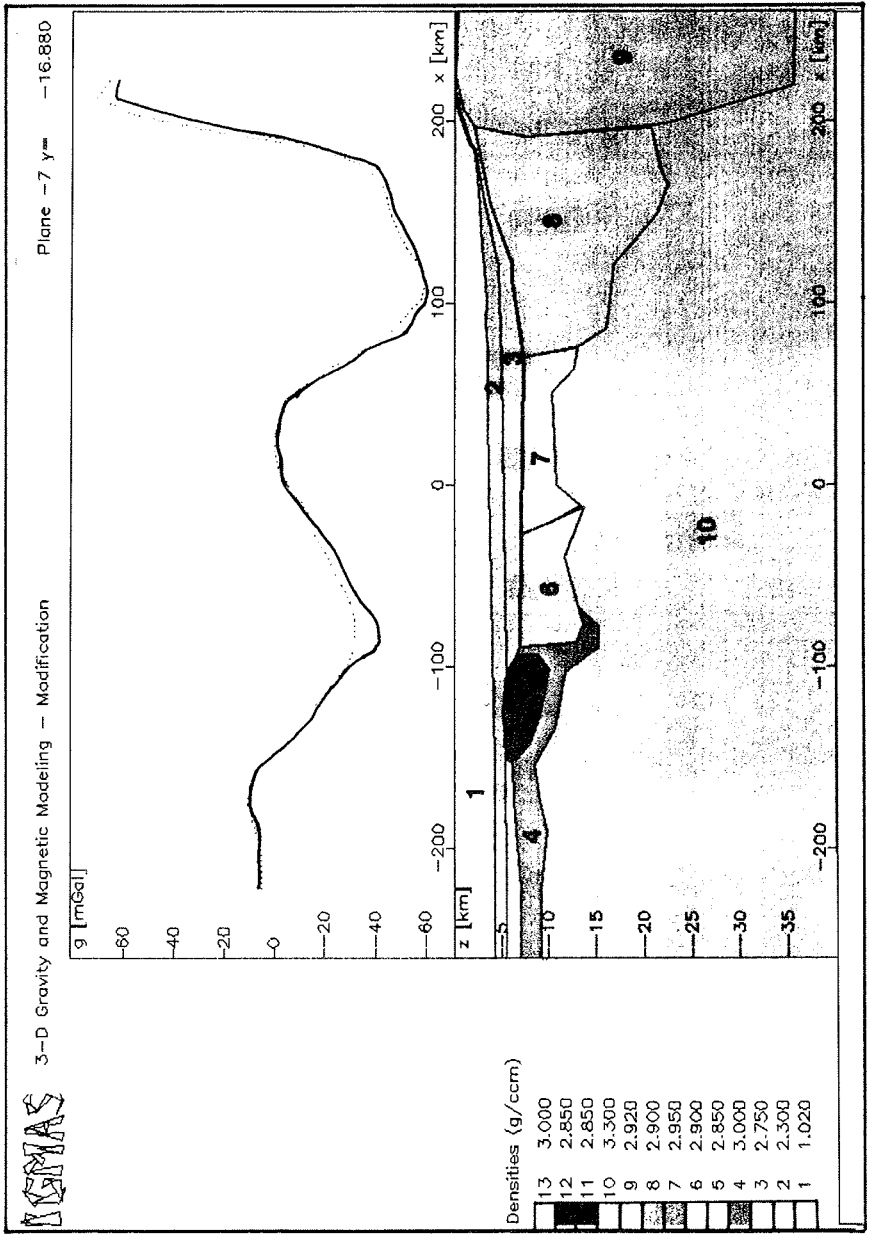
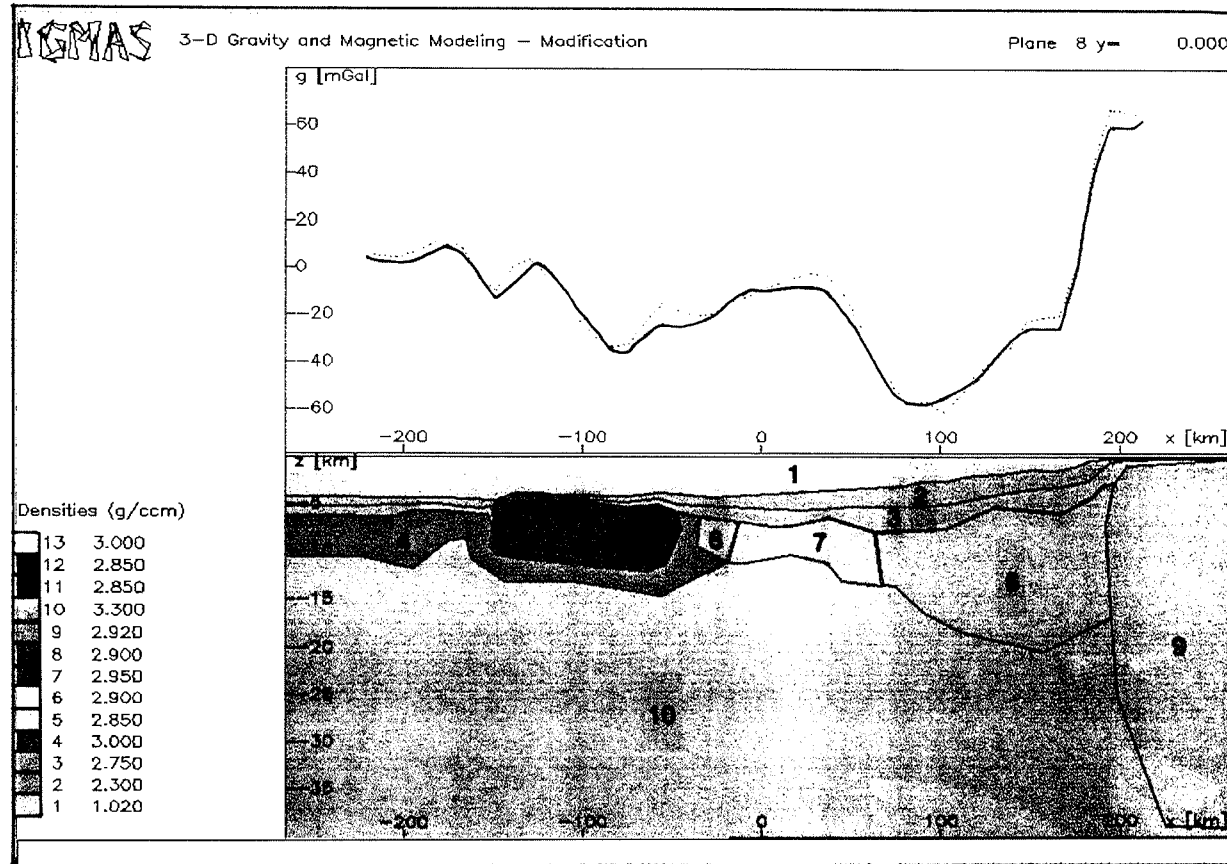


Abb. 9.15: Schnittebene des Modells bei 25°30'W

Abb. 9.16: Schnittebene des Modells bei 25°W



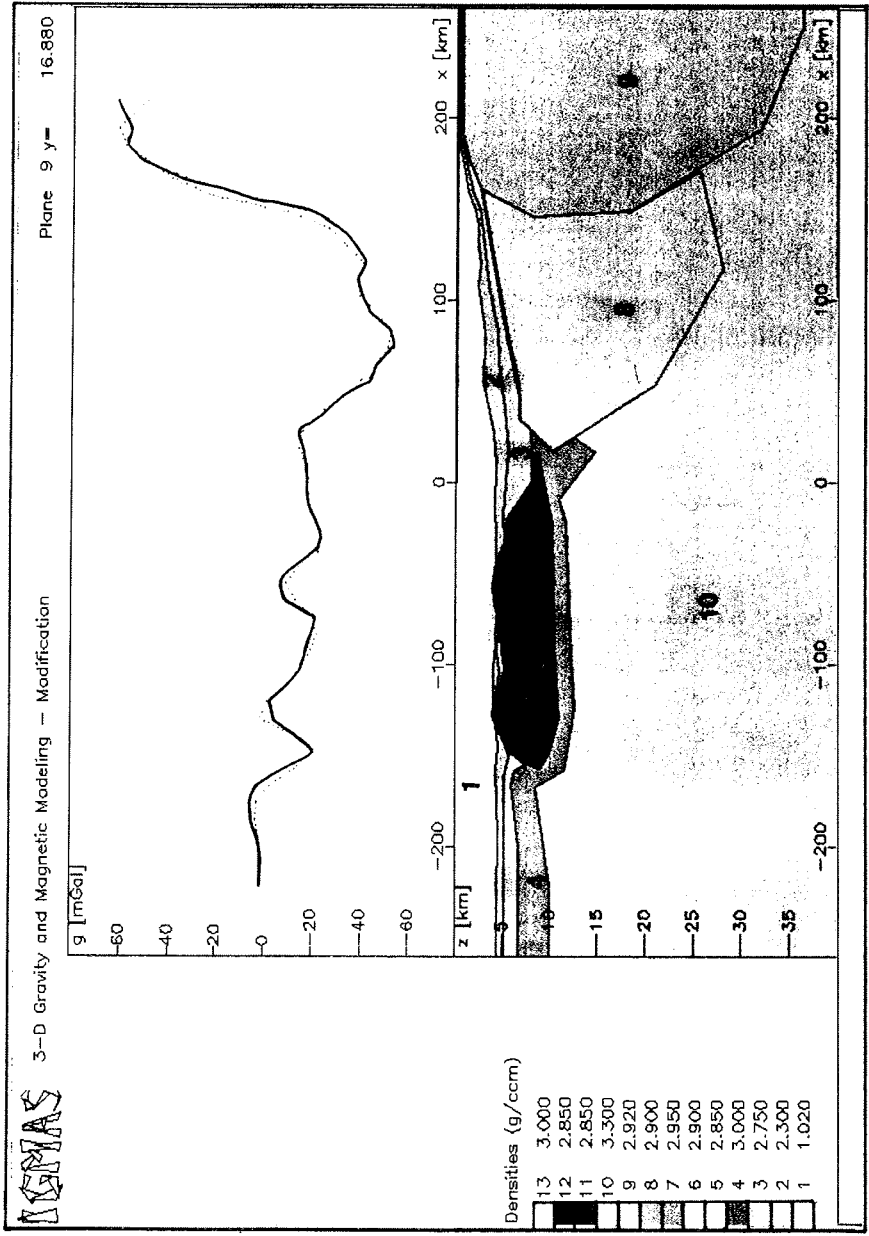


Abb. 9.17: Schnittebene des Modells bei 24°30'W

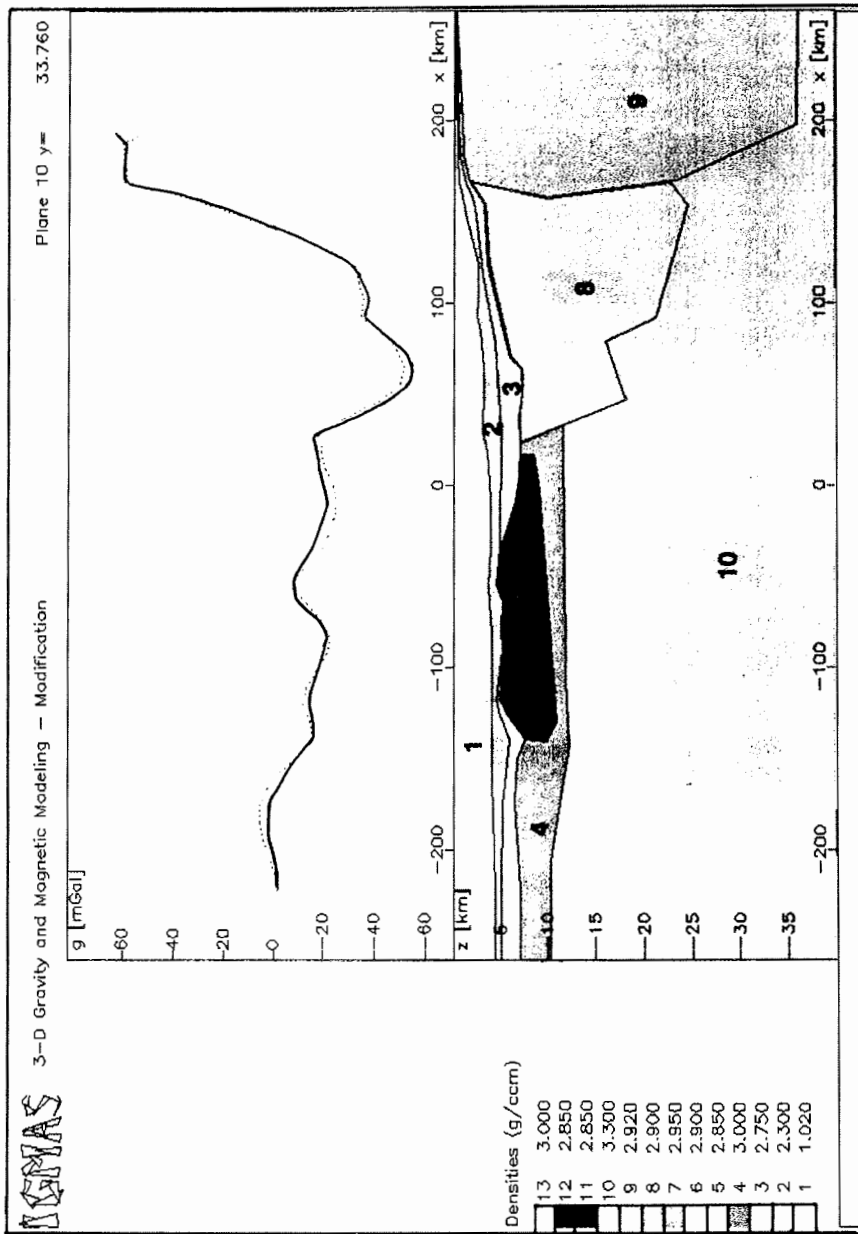


Abb. 9.18: Schnittebene des Modells bei 24°W

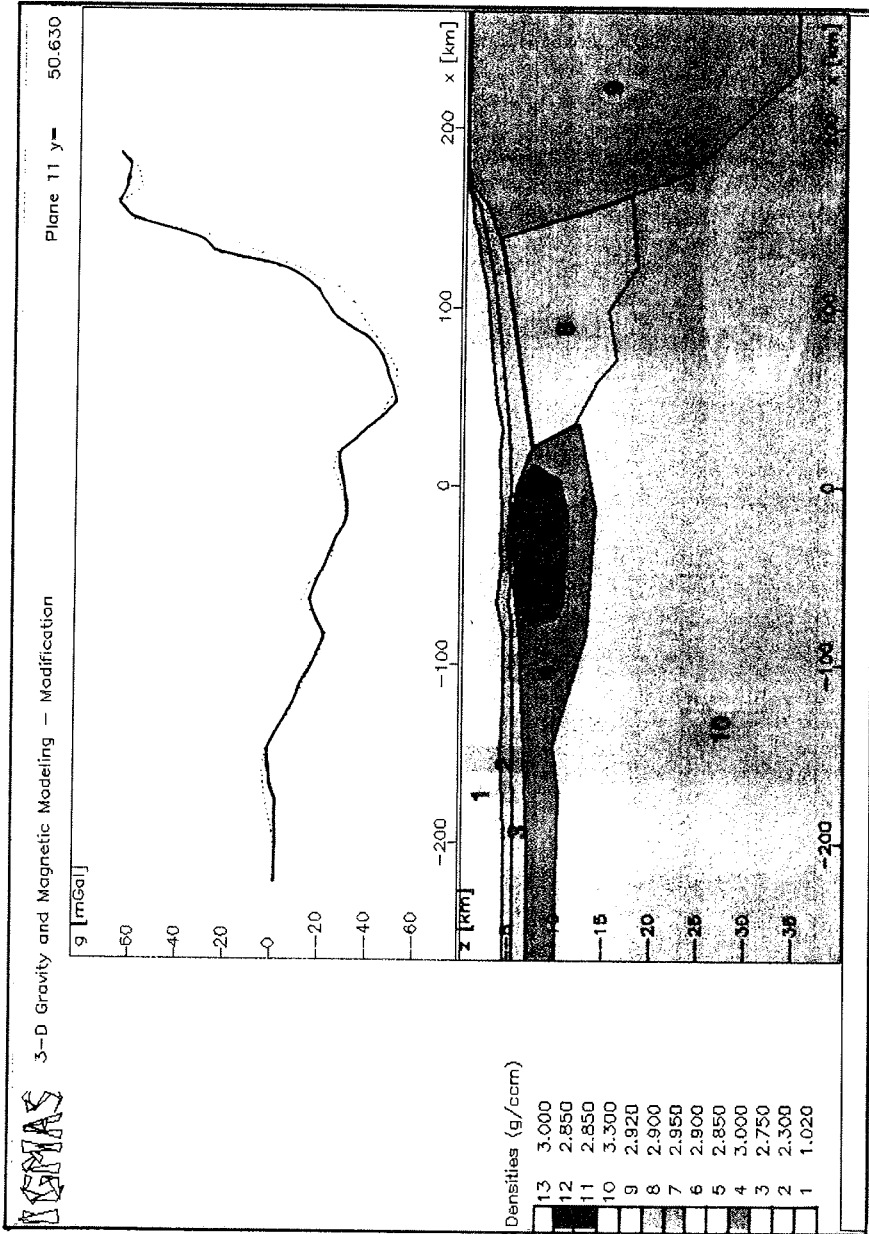


Abb. 9.19: Schnittebene des Modells bei 23°30'W

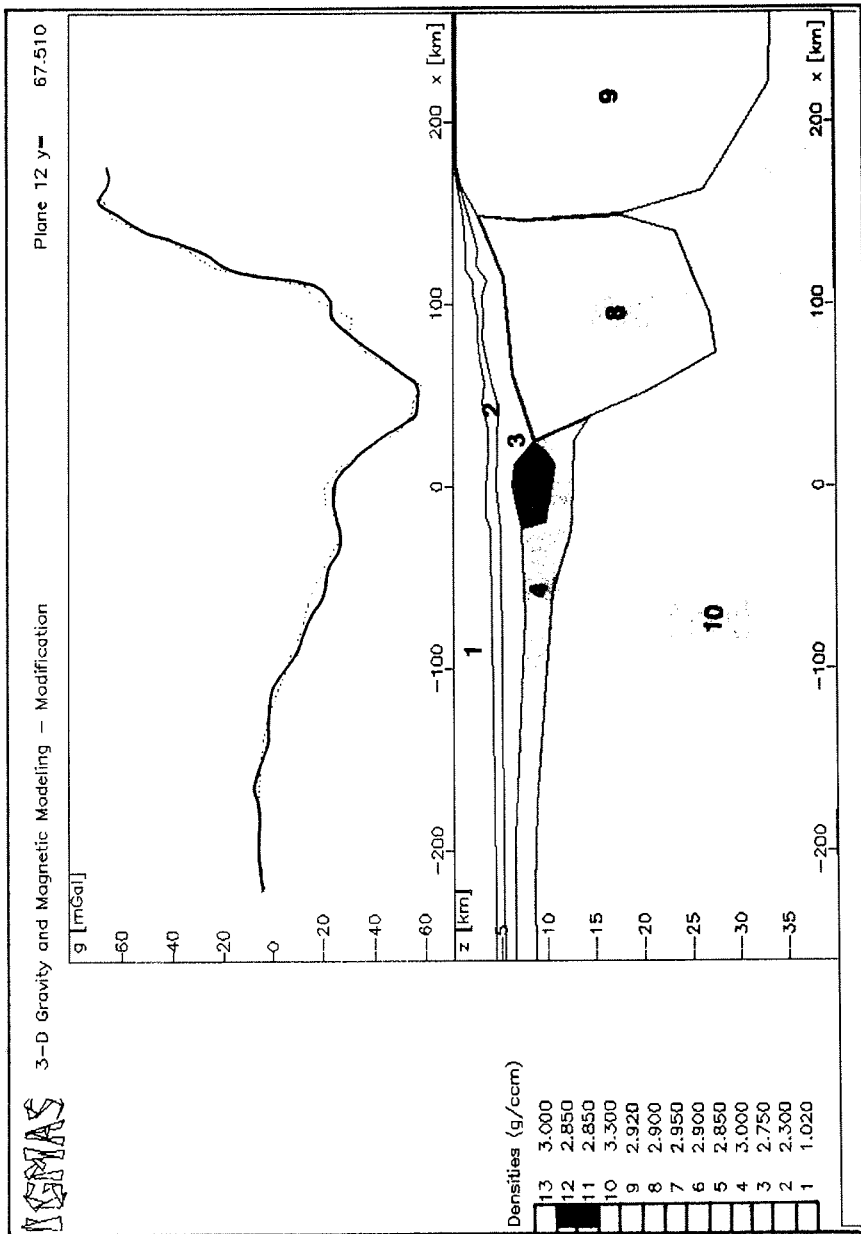


Abb. 9.20: Schnittebene des Modells bei 23°W

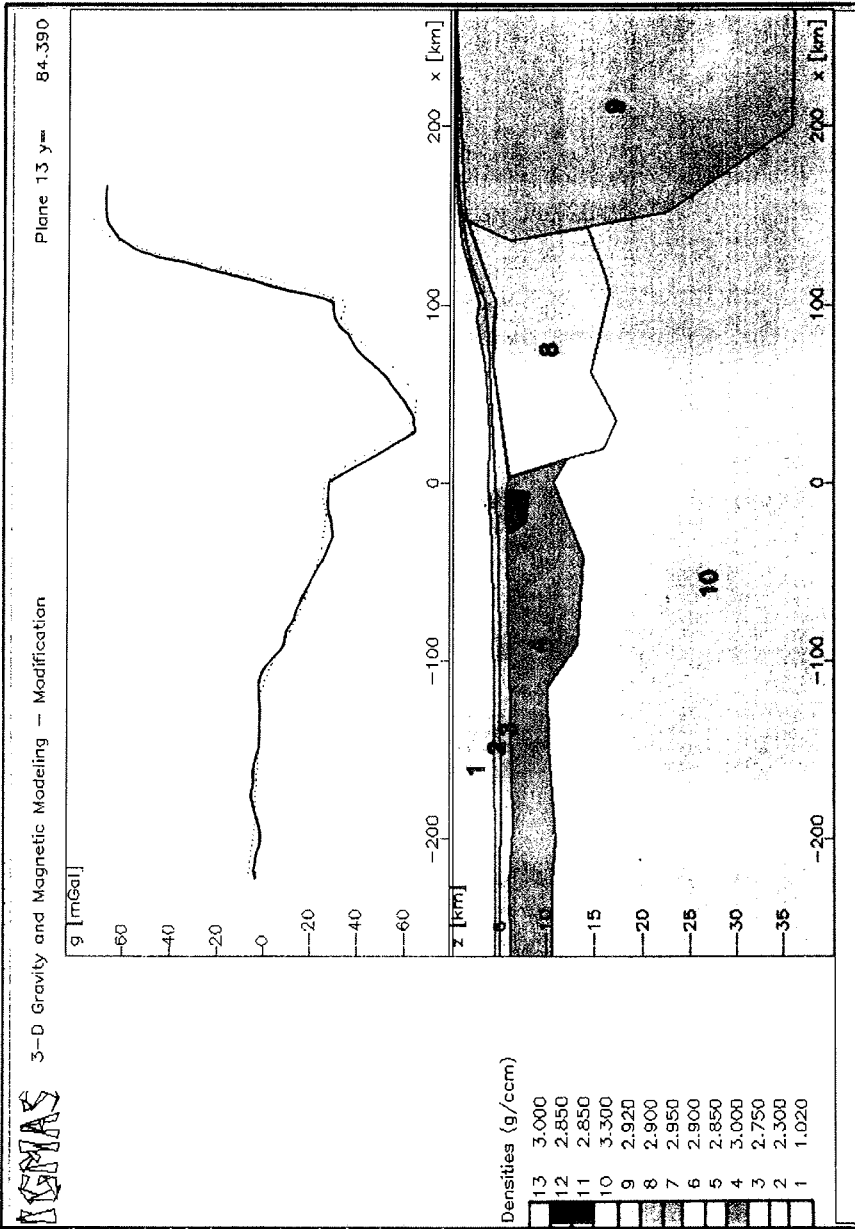


Abb. 9.21: Schnittebene des Modells bei 22°30'W

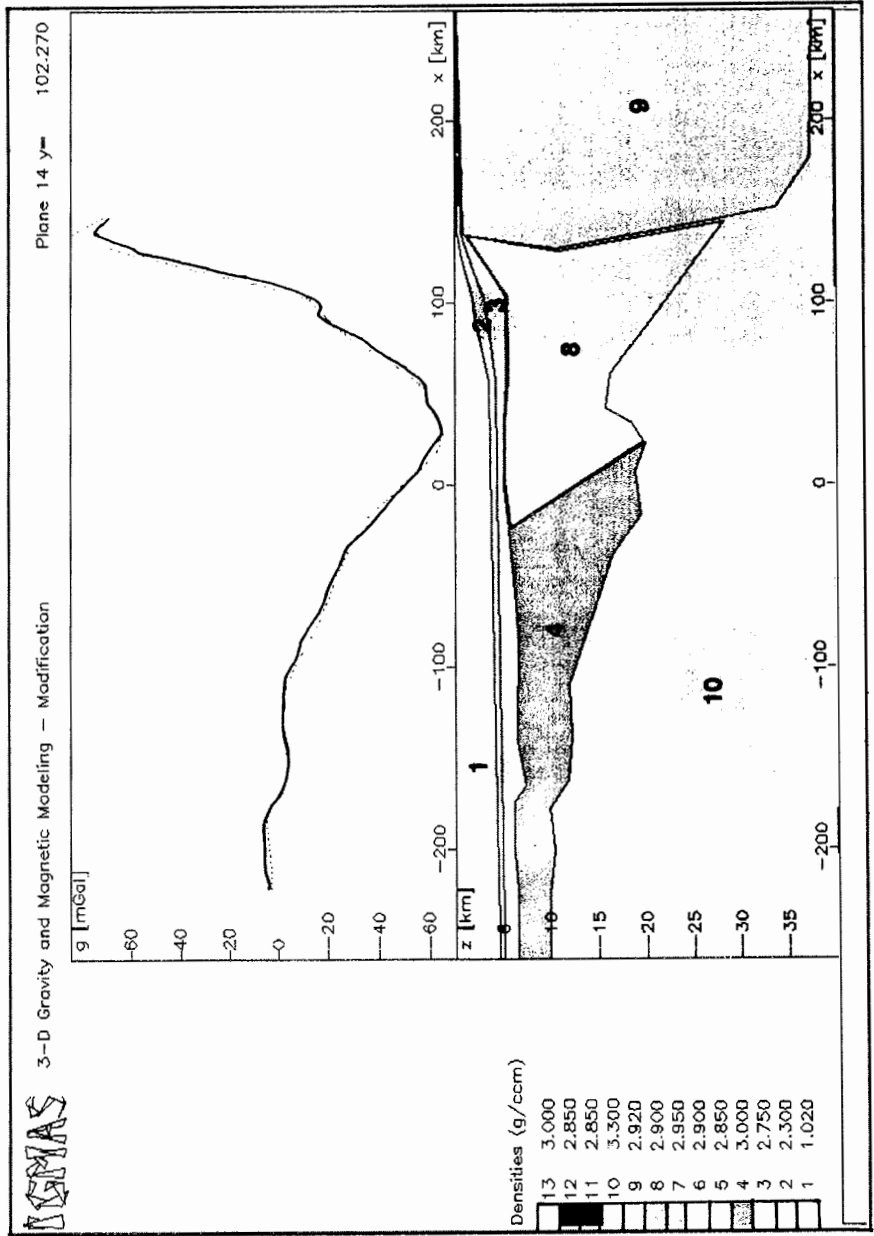


Abb. 9.22: Schnittebene des Modells bei 22°W

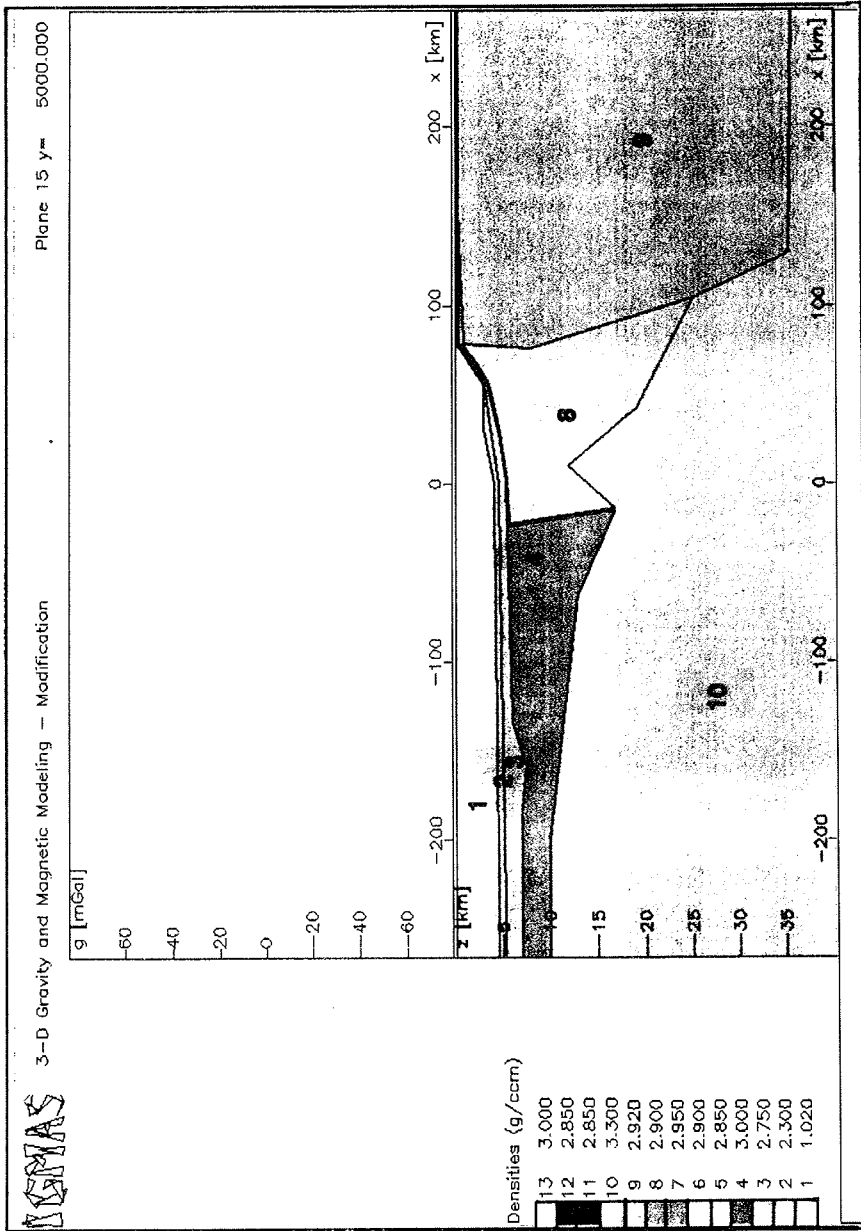


Abb. 9.23: Östlicher Rand des Modells, 5000 km von 24°30'W

10 ÖFFNUNGSSZENARIEN

Um die geologisch-tektonische Struktur und die Öffnung des südlichen Weddellmeeres zu erklären, ist ein weiterer Rückgriff auf die Gondwana-Rekonstruktionen unerlässlich. Obwohl die Rekonstruktionen für den Zeitraum des Gondwana-Aufbruchs nicht völlig gesichert sind und je nach Rekonstruktionsgrundlage sich abweichende Positionen für die Kontinente ergeben, liefern sie eine ausreichend gute Vorstellung der damaligen Situation. Gerade für Afrika, das eine Schlüsselstellung zur Antarktis einnimmt, gibt es mittlerweile eine ausgezeichnete Datenbasis aus kontinentaler Paläomagnetik und ozeanischen Spreizungsanomalien (vgl. Kapitel 5.1). Deshalb werden im weiteren Verlauf im wesentlichen die Stellungen zwischen der Ostantarktis und Afrika diskutiert. Die Lage Südamerikas in Gondwana ist über die Lage von Afrika ausreichend gut definiert, die Trennung zwischen diesen beiden Kontinenten erfolgte nach LAWVER ET AL. (1992) erst vor etwa 130 bis 120 Ma vor heute. Zu dieser Zeit war das südliche Weddellmeer bereits angelegt. Die Wanderung der Antarktischen Halbinsel selbst spielt für die Diskussion des südöstlichen Weddellmeeres nur indirekt eine Rolle. In den meisten Gondwana-Rekonstruktionen wird sie in der südwestlichen Verlängerung der Anden positioniert. Ihre Driftgeschichte der letzten 84 Ma ist in CUNNINGHAM ET AL. (1995) beschrieben. Demnach öffnete sich ein Seeweg zwischen der Antarktischen Halbinsel und Südamerika zwischen 40 und 50 Ma vor heute. Seitdem driftete die Antarktische Halbinsel im Uhrzeigersinn in südöstlicher Richtung bis in ihre heutige Position.

Es soll nun versucht werden, die Anlage der frühesten Strukturen des Weddellmeeres und die aus der Gravimetrie abgeleiteten Elemente mit Hilfe der Rekonstruktionen zu beschreiben. Dazu erscheint es sinnvoll, in Anlehnung an die Ergebnisse von JACOBS (1991) markante Zeitstadien zu definieren und einzeln zu betrachten.

- Zeitstadien nach Jacobs (1991):

?	bis	170 Ma vor heute:	Initiales Rifting, Trappbasalte, 'failed rift'
170	bis	130 Ma vor heute:	Explora-Andenes-Escarpment fungiert als Transpressionszone
		130 Ma vor heute:	Südamerika trennt sich von Afrika, Reorganisation der Plattenbewegungen, erste ozeanische Kruste im Weddellmeer
120	bis	80 Ma vor heute:	Indien trennt sich von der Antarktis, erneute Reorganisation und einsetzende Beschleunigung der Plattenbewegungen, Anlage der Anomalie 34N

- überarbeitete Einteilung der Zeitstadien aus den bisherigen Ergebnissen:

200	bis	175 Ma vor heute:	Anlage der Karoo Basalte, Aufbau des Filchner-Ronne-Rift (evtl. Weddell-Rift oder 'failed rift' ?)
175	bis	160 Ma vor heute:	Anlage des Explora Wedge, Initiales Rifting in N-S-Richtung, Anlage des Beckens vor Dronning Maud Land, erste Bildung ozeanischer Kruste
160	bis	150 Ma vor heute:	Entstehung der Polarstern-Bank, zusätzliche Ostkomponente gegenüber der Antarktis in der Bewegung Afrikas, Bildung einer Transpressionszone entlang des Explora-Escarpments, (Maud-Rift ?) Anlage von M29N und M25N
150	bis	130 Ma vor heute:	Anlage vom M13N (t-anomaly), Änderung der Plattenbewegung und Ausbildung des 'fish-skeleton pattern'
130	bis	120 Ma vor heute:	Südamerika trennt sich von Afrika, Anlage von M0, Reorganisation der Plattenbewegungen Indien trennt sich von der Antarktis, erneute Reorganisation und einsetzende Beschleunigung der Plattenbewegungen
120	bis	80 Ma vor heute:	Anlage der Anomalie 34N (83 Ma) Drift der Antarktischen Halbinsel nach Süden
80 Ma	bis	heute:	Bewegung der Antarktischen Halbinsel im Uhrzeigersinn, Öffnung der Drake Passage

Die Gondwana-Rekonstruktionen sind in den folgenden Abbildungen (Abb. 10.1 bis Abb.10.3) über der Kartierung der rezenten marinen Gravimetrie dargestellt. In Abb. 10.4 wird die Position Afrikas zur Zeit von 145 Ma vor heute über den magnetischen Spreizungsanomalien gezeigt.

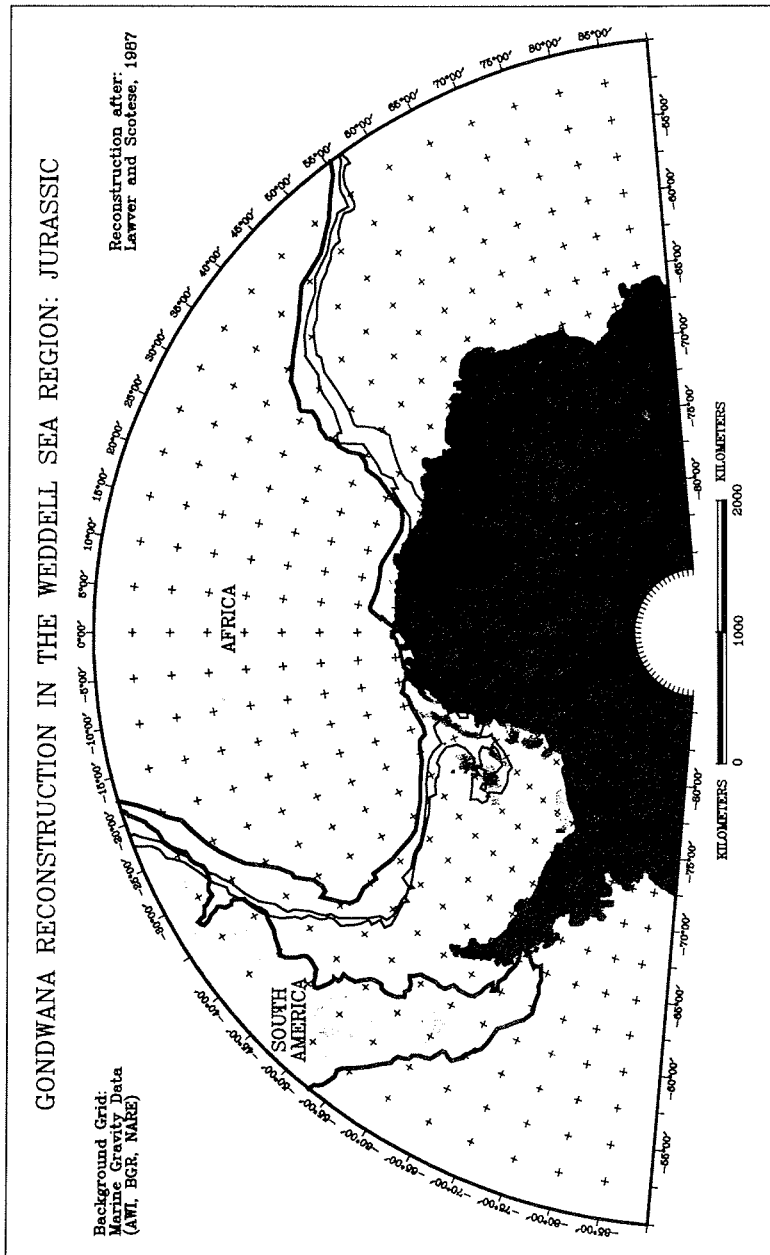


Abb. 10.1: Gondwana-Rekonstruktion nach LAWVER UND SCOTESE (1987) in der Übersicht: frühes Jura

- 200 bis 175 Ma vor heute:

WHITE UND MCKENZIE (1989) diskutieren den Aufbruch von Gondwana als Folge einer thermischen Mantelanomalie. Nach ihrer These wurde der Aufbruch begleitet von massivem Vulkanismus, der die Karoo Basalte in Afrika und die Ferrar Flutbasalte in der Antarktis produzierte. Das Alter der Karoo Basalte wird auf 200 bis 175 Ma datiert. Der Höhepunkt der vulkanischen Aktivität im Karoo wird auf 193 Ma vor heute gelegt (WHITE UND MCKENZIE, 1989). In dieser Zeit entwickelte sich das Filchner-Ronne-Rift, vielleicht sogar das Weddell-Rift in seiner vollen Ausprägung. Das Filchner-Ronne-Rift bildet die östliche Grenze für die Bewegungen der westantarktischen Krustenblöcke.

Abb. 10.1 zeigt in einer Übersicht die Gondwana-Rekonstruktion nach LAWVER UND SCOTESE (1987) für das frühe Jura (180 - 200 Ma vor heute) im südatlantischen Sektor mit der unterlegten Freiluftschwerekartierung. Zur Erstellung der Abbildung wurde Südamerika gegen die heutige Position Afrikas verschoben. Anschließend wurden beide Kontinente gemeinsam gegen die Antarktis gedreht. Die Antarktische Halbinsel wurde in der Fixposition der Antarktis gehalten und entspricht somit nicht der damaligen Lage. Die schattierten Gebiete stellen die heutige Form der Kontinente dar. Für Afrika wurden zusätzlich die rezenten 2000m und 3000m Isobathen hinzugefügt. Die hier gezeigte Rekonstruktion weicht nicht von der in LAWVER ET AL. (1991) und nur unwesentlich von der in LAWVER ET AL. (1992) diskutierten Fassung ab und dient als Grundlage einer Vielzahl weiterer Publikationen. Sie scheint damit eine der gesichersten Rekonstruktionen zur Dokumentation von Gondwana kurz vor Öffnung des Weddellmeeres zu sein. Afrikas Küstenlinien überlappen darin mit denen der Antarktis im Bereich der Schelfeisregion zwischen 0°W und 10°W. Das Mozambique-Plateau am Südostrand Afrikas ragt bis in den zentralen Bereich des südlichen Weddellmeeres hinein. Die Einbuchtung zwischen dem Mozambique-Plateau und Südafrika wird durch das Falkland-Plateau ausgefüllt. Dies ist im Ausschnitt für das südliche Weddellmeer dargestellt (Abb. 10.2). Dazu wurde die Küstenlinie Afrikas und die 2000m sowie die 3000m Isobathe des Falkland-Plateaus herangezogen. Die 3000m Isobathe deckt wahrscheinlich in der Rekonstruktion eine etwas zu große Fläche für das damalige Falkland-Plateau ab. Nimmt man im südlichen Teil des Falkland-Plateaus die 2000m Isobathe als damalige Plattengrenze an, so paßt sich darin der nordöstliche Ausläufer des Maud-Rifts erstaunlich gut ein. Dies als Beleg für die schon damalige Existenz des Maud-Rifts zu werten erscheint jedoch sehr gewagt. Dagegen deutet sich relativ sicher ein Grenzverlauf im Norden des heutigen Filchner-Ronne-Schelfs bzw. im Süden der damaligen Lage des südlichen Ausläufers des Falkland-Plateaus etwa entlang der Orion-Anomalie an. Weiter östlich werden die Strukturen komplizierter. Das von KRISTOFFERSEN UND HINZ (1991) postulierte Weddell-Rift verlief vom südöstlichsten Ausläufer des Falkland-Plateaus von etwa 20°W nach Südwesten bis etwa 45°W. Diese damalige intra-kontinentale Riftachse fände also heute ihre Entsprechung in einem langgestreckten, inhomogenen Schwerehoch. Wie bereits angesprochen, sollte das Weddell-Rift besser in das Filchner-Ronne-Rift und das Maud-Rift mit der Trennung bei

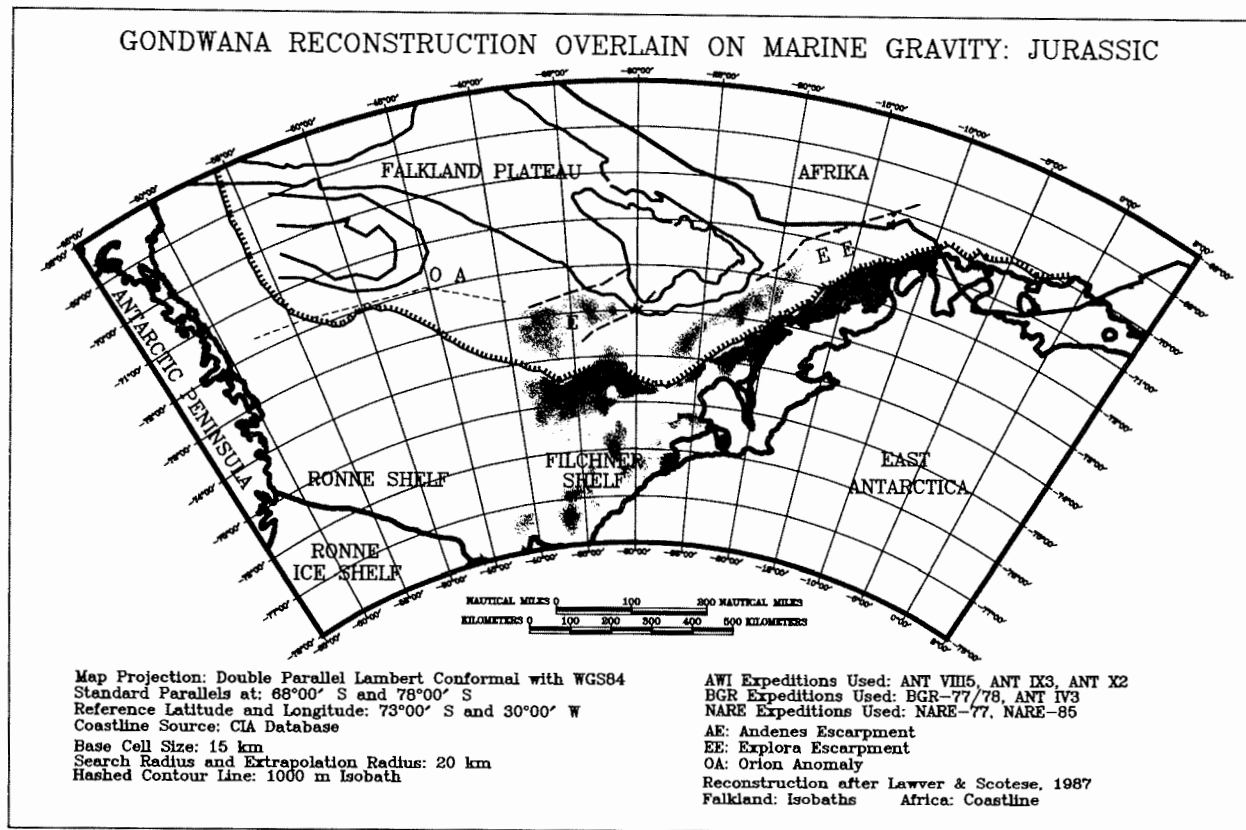


Abb. 10.2: Gondwana-Rekonstruktion nach Lawver und Scotese (1987) über der Gravimetrie des südlichen Weddellmeeres: frühes Jura

etwa 74°S aufgesplittet werden. Dafür spricht nicht nur, daß zum einen das Filchner-Ronne-Rift über dem kontinentalen Schelf und das Maud-Rift über ozeanischer Kruste verläuft. Ein weiterer Grund ist die Lage des Maud-Rifts in der Gondwana-Rekonstruktion. Seine dortige Position deckt sich mit dem südwestlichen Ausläufer des Falkland-Plateaus. Dagegen trennte das Filchner-Ronne-Rift um 175 Ma vor heute die Ostantarktis von den Krustenblöcken der Westantarktis (Abb.5.2).

Das Filchner-Ronne-Rift ist in allen Rekonstruktionen als solches möglich. Damit wäre eine Begründung der Verschiedenheit der gravimetrischen Signaturen des Filchner- und des Ronne-Schelfs gegeben. Das Filchner-Ronne-Rift trennt beide Schelfbereiche voneinander. Das Ronne-Schelf ist wesentlich ausgehnter und homogener ausgeprägt als das Filchner Schelf. Nach allen Rekonstruktionen von Lawver verläuft der Rand des Ostantarktischen Kratons östlich des Filchner-Schelfs, oder anders formuliert: das Filchner-Schelf ist geprägt durch den Rand des Ostantarktischen Kratons. Der Ellsworth-Whitmore Mountain Block muß somit an der Westflanke der Filchner-Ronne-Rifts entlang nach Süden in seine jetzige Position gewandert sein.

- 175 bis 160 Ma vor heute:

Das Alter der Ferrar Flutbasalte wird auf 179 bis 162 Ma datiert. Während dieser Zeit wurde das Explora Wedge entlang des heutigen Kontinentalrandes vor Dronning Maud Land in mächtigen Sequenzen von vulkanischen Ausflüssen angelegt, die von HINZ (1981) als 'seaward dipping reflectors' kartiert wurden. Diese und schon zuvor diskutierte Belege aus marinen Spreizungsanomalien (COCHRAN, 1988; MARTIN UND HARTNADY, 1986), wie paleomagnetische Daten (GRUNOW, 1993; DIVENERE UND KENT, 1995) lassen die initiale Öffnung des Weddellmeeres um etwa 170 Ma vor heute vermuten. Leider sind während 174 bis etwa 158 Ma vor heute keine isolierten, magnetischen Spreizungsanomalien identifizierbar (HARLAND, 1990), so daß eine genauere Datierung nicht möglich ist.

Die langgestreckte, küstenparallele Beckenstruktur vor Dronning Maud Land, die sich in der Gravimetrie durch eine negative Anomalie auszeichnet, sowie die spätere Anlage der Polarstern-Bank läßt eine Öffnung senkrecht zur heutigen Küstenlinie von Dronning Maud Land vermuten.

- 160 bis 150 Ma vor heute:

Die Polarstern-Bank liegt mit ihrer Position von 71°25'S und 24°45'W nach ELLIOT (1991) südlich der Anomalie M25N (vgl. Abb. 5.8) und nach LABRECQUE UND BARKER (1981) auch noch südlich der Anomalie M29N (vgl. Abb. 8.10). M29N ist mit einem Alter von etwa 158 Ma (HARLAND, 1990) die bislang älteste kartierte Spreizungsanomalie im Weddellmeer. Die Entfernung zwischen M29N und der Polarstern-Bank beträgt etwa 160 km. Aus den Onlap-Strukturen der Polarstern-Bank läßt sich nach MILLER ET AL. (1990) deren Hebung frühestens auf die späte untere

Kreide (Albium) abschätzen, also etwa 110 bis 120 Ma vor heute. Damit wäre die Polarstern-Bank von wesentlich älterer ozeanischer Kruste umgeben (> 160 Ma). Zwischen der Polarstern-Bank und dem südlichsten Seamount der Kette befindet sich über eine Strecke von etwa 120 km ebenfalls ozeanische Kruste. Die Entfernung zwischen M29N und dem südlichsten Seamount beträgt ca. 280 km. Geht man von einer halben Öffnungsrate von 15 mm/a (MARTIN UND HARTNADY, 1986) vertikal zur heutigen Küstelinie von Dronning Maud Land aus, so ergibt sich daraus eine Zeitspanne von 18.5 Ma, in der ozeanische Kruste gebildet wurde. Insgesamt wird daraus eine initiale Öffnung des Weddellmeeres um etwa 175 Ma vor heute bestätigt.

Eine eingehende Betrachtung der seismischen Daten über der Polarstern-Bank während der Erstellung der Grundlagen zur gravimetrischen Modellierung ergab, daß die Onlap-Strukturen keine angehobenen Sedimente darstellen, sondern glaziale Sedimente (Oszko, 1995, mündliche Mitteilung). Damit paßt die Polarstern-Bank wesentlich besser ins Bild der bislang diskutierten Abfolgen. Aus der Lage der Polarstern-Bank und der Spreizungsanomalien kann ihr Alter auf etwa 160 Ma abgeschätzt werden. Sie kann damit durchaus während einer in N-S-Richtung verlaufenden, initialen Öffnung des Weddellmeeres entstanden sein (JOKAT ET AL., 1995). Dafür spricht ebenfalls das mit der Polarstern-Bank verbundene, senkrecht zur Küstelinie verlaufende Basementhoch vulkanischen Ursprungs.

In den Rekonstruktionen findet sich die Polarstern-Bank am Nordostrand des Falkland-Plateaus. Geht man davon aus, daß während der ersten 20 Ma der Öffnung des Weddellmeeres vorwiegend eine Translationsbewegung in der Trennung zwischen Afrika und der Ostantarktis stattfand, so findet sich die Polarstern-Bank und die südlich davon gelegenen Seamounts in der Spur des Falkland-Plateaus gegenüber der Antarktis. Die Bewegung des Falkland-Plateaus relativ zu Dronning Maud Land und die Anwesenheit einer thermischen Mantelanomalie (WHITE UND MCKENZIE, 1989) bilden eine mögliche Erklärung für die Ausbildung der Polarstern-Bank und der weiteren Seamounts.

Der Vergleich der Lage Südafrikas in Abb. 10.2 und Abb. 10.3 im Bereich des Explora-Escarpments zeigt deutlich, daß - nachdem sich in der N-S-Öffnung ein langgezogenes Becken gebildet hat - nun eine deutliche Ostkomponente in der Bewegungsrichtung Afrikas eine Transpressionszone entlang des Explora-Escarpments entstehen läßt. Die Vermutung, daß das Explora-Escarpment nicht durch einen einfachen Scherungsbruch an einem passiven Kontinentalrand entstanden ist, sondern durch eine transpressional / transpressive Blattverschiebung, äußerten bereits KRISTOFFERSEN UND HAUGLAND (1986). HENRIETT UND MILLER (1990) widersprechen der These von HINZ UND KRAUSE (1982), die Struktur des Explora-Escarpments sei durch ein Basementhoch begründet und vermuteten ebenfalls eine transpressionale Spannungszone während der Trennung von Afrika und der Ostantarktis als eine mögliche Ursache der Escarpmentstruktur.

Während des Aufbaus der Transpressionszone am Explora-Escarpment kann die Änderung der Bewegungsrichtung Afrikas auch das Maud-Rift angelegt haben. Ist dies der Fall, würde sich die Andenes-Anomalie aus der weiteren Driftgeschichte des Falkland-Plateaus ableiten. Die Prüfung dieser Alternative zum nördlichen Weddell-Rift verlangt eine detaillierte Rekonstruktion der Wanderung des Falkland-Plateaus und der damit entstandenen Krustenstrukturen. Diese Aufgabe ist zukünftigen Arbeiten vorbehalten.

Die Orion-Anomalie kann nach den Rekonstruktionen aus der Drift der Südflanke des Falkland-Plateaus entstanden sein. Ist dies der Fall, dann sollte sie als magnetisches Lineament älter sein als M25. Ihre über 700 km langgezogene Ausdehnung läßt jüngere Störungen zum Beispiel durch Driften von Mikroplatten vor dem Ronne-Schelf nicht zu. Wenn es derartige oder vergleichbare Bewegungen von Fragmenten gegeben hat, dann nur weit südlich des Ronne-Schelfs vor mehr als 155 Ma.

- 150 bis 130 Ma vor heute:

Die Gondwana-Rekonstruktion, die von KRISTOFFERSEN UND HINZ (1991) für das Modell des Explora-Andenes-Escarpments benutzt wurde, beruht auf MARTIN UND HARTNADY (1986). Martin und Hartnads Gondwana-Rekonstruktion für das Jura weicht von der von LAWVER ET AL. (1992) kaum ab, es zeigen sich jedoch in wesentlichen Details Unterschiede in den Rekonstruktionsstufen der Öffnung des Weddellmeeres. Hier scheint LAWVER ET AL. (1992) die bessere Datenbasis zu bieten, zudem werden hier alte geologische Formationen und die Sedimentalter aus ODP und DSDP Daten im Modell berücksichtigt. Das Modell von Martin und Hartnady für die Öffnungsstufe von 145 Ma vor heute ist in den Abb. 4.3 und 4.4 dargestellt.

Gegenüber dem frühen Jura haben sich Südamerika und Afrika gemeinsam von den Antarktis fortbewegt. Beschreibt man die Bewegungsrichtung relativ zur jetzigen Position der Antarktis, so ist die von MARTIN UND HARTNADY (1987) beschriebene Drift stärker in nordöstlicher Richtung ausgeprägt, als bei LAWVER ET AL. (1992). Die Anomalien M25 und M17 allein reichen zur Beschreibung der Driftrichtung nicht aus, dazu sind sie über eine zu kurze Strecke ausgeprägt (Abb. 5.4). Erst um M13 (138 Ma) setzt nach einer vorwiegend translatorischen Bewegung eine zusätzliche Rotation ein (vgl. Abb 8.4).

Aus der bisherigen Betrachtung leitet sich ab, daß das Explora-Escarpment kein einfaches Gegenstück zum Mozambique-Escarpments sein kann. Das Mozambique-Escarpment definiert den Südwestrand des Mozambique-Plateaus. Die Rekonstruktionen lassen keinen eindeutigen Schluß zu, ob das Mozambique-Plateau ozeanischen oder kontinentalen Ursprungs ist. Untersuchungen von BERGH (1991) leiten aus gravimetrischen Modellen einen kontinentalen Ursprung ab, ebenso MOUGENOT ET AL. (1991) aus Gesteinsproben. Ist dies der Fall, so muß bei Betrachtung der Rekonstruktionen von LAWVER (1992) sich das Mozambique-Plateau vor ca. 135 Ma vor

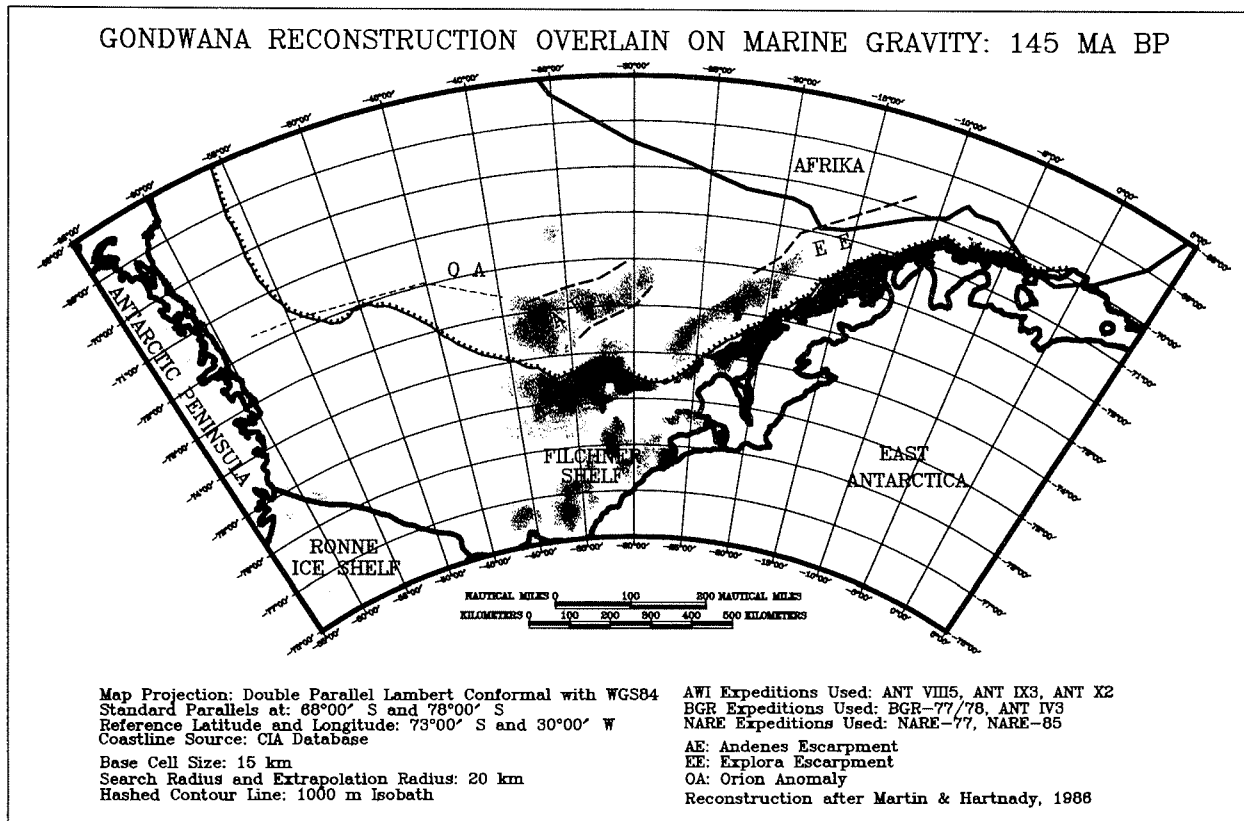


Abb. 10.3: Gondwana-Rekonstruktion nach MARTIN UND HARTNADY (1986)
 über der Gravimetrie des südlichen Weddellmeeres:
 145 Ma vor heute

heute gebildet und ab etwa dieser Zeit von der Antarktis getrennt haben. Eine solche Datierung fügt sich ein in die Vorstellung, daß mit dem Einsetzen einer Rotationsbewegung (M13 - 138Ma vor heute) die Transpressionsphase am Explora-Escarpment abgeschlossen ist und auch hier eine Öffnung zwischen den Kontinenten eingesetzt hat. Diese Öffnung würde den Raum für das Mozambique-Plateau bieten und die Bildung des Escarpments an seiner Südwestflanke durch die Bewegung am Explora-Escarpment vorbei erklären. Die Explora-Anomalie geht in ihrer nördlichen Begrenzung nur wenig über das Explora-Escarpment hinaus (vgl. Abb. 6.9) und beschreibt in dieser Richtung die maximale Ausdehnung des Escarpments. Mit der Anlage der Anomalie M13N, entsprechend 138 Ma vor heute (HARLAND ET AL., 1990) ändert sich die Gesamtsituation in der Plattenbewegung, zu dieser Zeit beginnt sich der Südatlantik zu öffnen (LABRECQUE UND BARKER, 1981). Die Plattenbewegungen verändern sich drastisch. Afrika und Südamerika bewegen sich nun in einer Rotationsbewegung von der Ostantarktis fort, die das 'fish-skeleton pattern' (Marks und McAdoo, 1992) erzeugt.

- 130 bis 120 Ma vor heute:

Ab etwa 120 Ma vor heute beginnt sich schließlich Südamerika von Afrika zu trennen (LAWVER ET AL. 1992). Damit setzt eine erneute Reorganisation in den Plattenbewegungen ein. Indien trennt sich von der Antarktis ab, damit setzt eine Beschleunigung in den Plattenbewegungen ein (LAWVER ET AL., 1992). Die schnellere Öffnung des Südatlantiks dokumentiert sich nach Small und Sandwell (1992a) in einer geringeren gravimetrischen Rauheit. Der nördliche Teil des 'fish-skeleton pattern' und die Ostküste Dronning Maud Lands zeichnen sich durch eine besonders geringe gravimetrische Rauheit aus (vgl. Abb. 6.4).

- 120 bis 80 Ma vor heute:

Die Anomalie 34N (83 Ma vor heute, CANDE UND KENT, 1992) dokumentiert das Ende der inagnetischen ruhigen Phase in der Kreide ('cretaceous quiet zone'), die über 40 Ma lang angedauert hatte. Die Antarktische Halbinsel driftet an der Westflanke Südamerikas nach Süden (DIVENERE ET AL., 1995).

- 80 Ma bis heute:

Die Antarktische Halbinsel bewegt sich ab etwa 84 Ma vor heute bis zum jetzigen Zeitpunkt im Uhrzeigersinn. Zwischen 80 und 40 Ma wandert sie an der Südspitze Südamerikas vorbei, dann öffnete sich die heutige Drake Passage zwischen der Antarktischen Halbinsel und Südamerika (CUNNINGHAM ET AL., 1995). Die Öffnung der Drake Passage dokumentiert sich in der Shackleton Fracture Zone. Der Scotia-Bogen im Norden des Weddellmeeres wurde ab 50 Ma vor heute aufgebaut, das südliche Scotia-Ridge ist seit etwa 20 Ma aktiv.

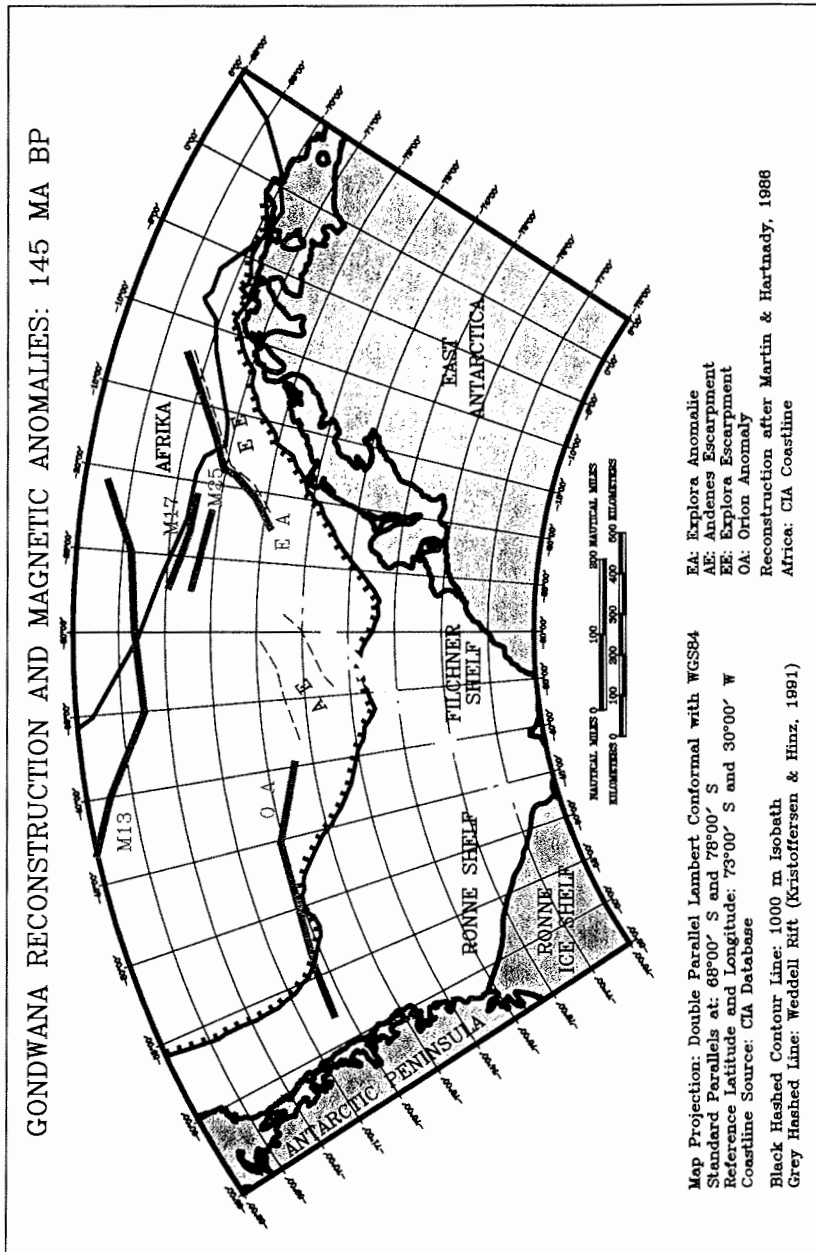


Abb. 10.4: Gondwana-Rekonstruktion nach MARTIN UND HARTNADY (1986) über den magnetischen Anomalien des südlichen Weddellmeeres: 145 Ma vor heute; M13 kartiert nach T-Anomaly aus Abb. 8.4, M17 und M25 kartiert nach Abb. 6.8

Eine weiterreichende Diskussion über den Vergleich von späten Gondwana-Rekonstruktionen und geophysikalischen Daten kann hier nicht erfolgen. Dies wird erst in nachfolgenden Arbeiten über das südliche Weddellmeer möglich sein, wenn die Kartierung der seismischen Strukturen, wie der des akustischen Basements, und die Kombination der Daten aus der Satellitenaltimetrie und der marinen Gravimetrie abgeschlossen vorliegen. Die wichtigste Grundlage zur Verifizierung aller Öffnungsszenarien bleibt jedoch eine geomagnetische Anomalienkarte des gesamten Weddellmeeres mit gesicherten Datierungen der ozeanischen Spreizungsanomalien. Eine solche Publikation ist aus der Zusammenarbeit von LaBrecque, Ghidella und Barker zu erwarten (vgl. Kapitel 6.3 und 6.4).

11 DISKUSSION

Die Diskussion der in dieser Arbeit vorgestellten Daten soll von den regionalen Strukturen des Weddellmeeres zu den einzelnen lokalen Strukturen führen.

Der Verlauf der Ozean-Kontinent-Grenze vor Dronning Maud Land ist vielfach diskutiert worden. Die bisherigen Datensätze erwiesen sich jedoch als zu lückenhaft, als daß der Grenzverlauf schlüssig belegbar gewesen wäre. Die Aeromagnetik-Kartierung von JOHNSON ET AL. (1992) und die nun vorliegende Kartierung der marinen Freiluftschwere bieten erstmalig einen Datensatz, der das betreffende Gebiet flächig überdeckt. Diese Überdeckung wird weiter mit Hilfe der Satellitenaltimetrie verbessert werden.

Aus den Ergebnissen der Modellierung der Freiluftschwere zwischen dem Andenes-Plateau und des Explora-Escarpmnts erschließt sich, daß die Ozean-Kontinent-Grenze vor Dronning Maud Land entlang der 1000 m Isobathen verläuft. Eine tektonisch-geologische Verbindung zwischen Explora-Escarpment und dem Andenes-Plateau läßt sich nicht herstellen. Sie sind im Gegenteil durch die Polarstern-Bank und deren südliche Seamount Ausläufer klar voneinander getrennt. Darüberhinaus lassen sich aus den Gondwana-Rekonstruktionen verschiedene Anlagen und Ursprünge für das Andenes-Plateau und das Explora-Escarpment ableiten. Verfolgt man die Ozean-Kontinent-Grenze weiter nach Westen, so deuten die Aeromagnetik wie auch die Gravimetrie an, daß sie dort etwa nördlich der 1000 m Isobathen verläuft.

Damit verläuft die Ozean-Kontinent-Grenze vor Dronning Maud Land wesentlich weiter südlich, als bisher angenommen.

Das von KRISTOFFERSEN UND HINZ (1991) postulierte Weddell-Rift verläuft demnach von Berkner Island in NNO-Richtung quer über die Ozean-Kontinent-Grenze. Das Teilstück des Weddell-Rift nördlich der Ozean-Kontinent-Grenze sollte aus den verhergegangenen Betrachtungen heraus besser als Maud-Rift bezeichnet werden, das südliche Gegenstück als Filchner-Ronne-Rift. Nach Norden hin wird das Maud-Rift deutlich durch die Polarstern-Bank begrenzt. Aus der Betrachtung der gravimetrischen Kartierung ist es möglich, beide Rifts verschiedenen Entwicklungsstadien des Kontinentalrandes zuzuordnen. Das Filchner-Ronne-Rift markiert die Grenze zum stabilen Kraton der Ostantarktis. Diese Folgerung ist konsistent mit den Ergebnissen von HÜBSCHER (1994). Das Maud-Rift kann wesentlich jünger sein als das Filchner-Ronne-Rift und erst um die Zeit der Transpressionsphase am Explora-Escarpment entstanden sein.

Die gravimetrische Ausprägung des Maudrifts kann nach dem gravimetrischen Modell keinesfalls allein durch einen Sedimentrücken in Fortsetzung des Crary Troughs erklärt werden.

Das Gebiet des Andenes-Escarpmments sollte besser als Andenes-Anomalie bezeichnet werden. Ob die Andenes-Anomalie die korrespondierende Riftschulter zum Weddell-Rift darstellt, kann nicht abschließend geklärt werden.

Das Explora-Escarpment ist deutlich von der Andenes-Anomalie getrennt. Es ist wahrscheinlich über eine Transpressionsbewegung der afrikanischen Platte gegen die antarktische Platte angelegt worden.

Die Polarstern-Bank und die sich südlich anschließenden Seamounts werden als vulkanische Krustenauflast gedeutet, die während der Nordbewegung des Falkland-Plateaus entstanden sein kann.

Das Filchner-Schelf und das Ronne Schelf sind durch ein altes Riftsystem voneinander getrennt und zeigen eine voneinander unterschiedlich gravimetrische Strukturen.

Eine deutliche Plattengrenze zur südlichen Antarktischen Halbinsel deutet sich im marin-gravimetrischen Datensatz an keiner Stelle an. Die Daten sind hier jedoch nur auf einen engen Streifen vor dem Filchner-Ronne-Schelfeis begrenzt. In der überarbeiteten Satellitenaltimetrie sollte an der Nordost-Seite der Antarktischen Halbinsel eine solche Grenze sichtbar werden, die dort dann auch gleichzeitig eine noch aktive Subduktionszone widerspiegeln muß.

12 AUSBLICK UND RÜCKBLICK

Diese Arbeit zeigt, wie wichtig die marin-magnetischen und marin-gravimetrischen Datensätze immer noch sind. Im meßtechnischen Teil taten sich dabei insbesondere bei der Seemagnetik größere und kleinere Probleme auf, die zum Beispiel lange Gradientenprofile kaum ermöglichten. Während der Arbeit wurde an Lösungen gearbeitet, die zum Teil schon in die Praxis umgesetzt werden konnten und sich durchaus bewährt haben. Diese neuen Daten sind jedoch Teil einer anderen Aufgabenstellung. Trotz der Verbesserungen wäre es wünschenswert, ein unproblematisches, einfach zu handhabendes Meßsystem permanent an Bord von FS Polarstern zu haben. Eine solche Festinstallation wird vorgeschlagen, konkrete Pläne dazu liegen vor.

Die Datenauswertung mit dem Programmpaket TerraTools erwies sich ebenfalls als problematisch. Hier wurden alternative Programme entwickelt, die an Bord auch weiterhin zur Verfügung stehen und stetig angepaßt und verbessert werden sollten. Um die interne Datenverarbeitung und den Austausch der Daten zu vereinfachen, wurde ein Standardformat für die Potentialfeldauswertungen eingeführt. Die so vorprozessierten Daten sollten in Zukunft in ein gemeinsames geophysikalisches Datenbanksystem einfließen, um eine integrierende Interpretation von mariner Seismik, Magnetik und Gravimetrie zu vereinfachen.

Zum Verständnis der Öffnung des Weddellmeeres ist die Kenntnis über die Lage, Ausdehnung und Datierung von ozeanischen Spreizungsanomalien von großer Bedeutung. Die Spreizungsanomalien nördlich der Polarstern-Bank sollten in einem langen N-S-Gradienten-Profil überprüft werden, da hier nur wenige und nicht vollständig gesicherte Daten vorliegen. Analoges gilt für die Spreizungsanomalien vor Dronning Maud Land. Hier werden für die kommende Saison 1995/96 mit der aeromagnetischen Meßausrüstung auf Polar-2 solche Überprüfungen angestrebt.

Es konnten längst nicht alle Fragestellungen angegangen werden, die mit dem nun vorliegenden marin-gravimetrischen Datensatz bearbeitet werden könnten. So wäre eine flächenhafte Modellierung des Andenes-Plateaus und seiner Umgebung (besonders der Anschluß an die Orion-Anomalie im Norden und an die Grenze zum Filchner-Schelf im Süden) außerordentlich hilfreich für eine weiterführende Arbeit. Gleiches gilt für das Gebiet des Filchner-Ronne-Rifts, dem Nordwestrand des Antarktischen Kratons und dem Übergang der Küstenanomalie vor Dronning Maud Land in das Filchner-Schwerehoch. Diese Modelle sowie ein W-O-Modellschnitt vor Berkner Island könnten viele Ungereimtheiten in der Evolution des Weddellmeeres klären helfen. Voraussetzung dafür ist der Zugriff auf die verbesserten Bathymetrie- und Seismikdaten. Dann kann auch das vorgestellte Modell für die Umgebung der Polarstern-Bank überarbeitet werden.

Eine Verbindung der Datensätze aus der Satellitenaltimetrie und der marinen Gravimetrie wird notwendig sein, um den Verlauf der Ozean-Kontinent-Grenze am Nordrand des Filchner-Ronne-Schelfs endgültig zu verifizieren.

Rückblickend hat sich die Drucklegung der Arbeit durch viele Expeditionen lange verzögert. 1998 hat Michael Studinger eine Dissertation vorgelegt in Berichte zur Polarforschung 276 mit dem Thema "Interpretation und Analyse von Potentialfelddaten im Weddellmeer, Antarktis: der Zerfall des Superkontinents Gondwana". Diese Arbeit schließt nahtlos an die hier vorgelegte an. Auch sie kann nicht alle Fragen des Gondwana Aufbruchs klären, Ende 1999 wird Johannes Rogenhagen eine weitere Arbeit zu diesem Thema als Dissertation veröffentlichen, die die neuesten Potentialfelddaten einbindet und zusammen mit seismischen Daten interpretiert. Auch diese Arbeit wird nicht die letzte zu diesem Thema sein.

13 LITERATURVERZEICHNIS

- Acton, G. D., Petronotis, K. E., (1994):** Studying Oceanic Plate Motions with Magnetic Data, EOS Transactions, AGU, Vol.75, No.5, Seite 49 - 52
- Allen, R. B. und Tucholke, B. E. (1981):** Petrography and implications of continental rocks from the Alghulas Plateau, southwest Indian Ocean, *Geology*, 9, Seite 463 - 468
- Barker, P. F. und Jahn, R. A. (1980):** A marine geophysical reconnaissance of the Weddell Sea, *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 63, Seite 271 - 283
- Barker, P. F. und Lawver, L. A. (1988):** South American - Antarctic plate motion over the past 50 Myr, and the evolution of the South American - Antarctic Ridge, *Geophysical Journal*, 94, Seite 377 - 386
- Barker, P. F. und Lonsdale, M. J. (1991):** A multichannel seismic profile across the Weddell Sea margin of the Antarctic Peninsula: regional tectonic implications, in: Thomson, M. R. A., Crame, J. A. und Thomson, J. W. (Herausgeber): *Geological Evolution of Antarctica*, Cambridge University Press, Seite 449 - 455
- Barracough, D. R. (1987):** International geomagnetic reference field: The fourth generation, *Phys. Earth Planet. Int.*, 48, Seite 279 - 292
- Bartels, J. (1949):** The standardized index Ks and the planetary index Kp, *IATME Bulletin (IUGG)*, 12b, Seite 97ff.
- Bathmann, U., Schulz-Baldes, M., Fahrbach, E., Smetacek, V., Hubberten, H.-W. (Herausgeber) (1992):** Die Expedition ANTARKTIS IX/1-4 des Forschungsschiffes Polarstern 1990/91, *Berichte zur Polarforschung*, Heft 100, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven
- Baumjohann, W. (1986):** Some Recent Progress in Substorm Studies, *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, 38, Seite 633 - 651
- Behrendt, J. C., Blankenship, D. F., Finn, C. A., Bell, R. E., Sweeny, R. E., Hodge, S. M., Brozena, J. M. (1994):** CASERTZ aeromagnetic data reveal late Cenozoic flood basalts (?) in the West Antarctic rift system, *Geology*, Vol.22 (6), Seite 527 - 530
- Behrendt, J. C., Cooper, A. K., Tessensohn, F., LeMasurier, W., Damaske, D. Trehu, A. (1991):** The West Antarctic rift system; a "captured" propagating rift ?, 6th Int. Symp. on Antarctic Earth Science, 6, Seite 41 - 44
- Berckhemer, H. (1990):** Grundlagen der Geophysik, Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt
- Bergh, H. und Norton, I. O. (1976):** Prince Edward fracture zone and the evolution of the Mozambique Basin, *J. Geophys. Res.*, Vol.81 (29), Seite 5221 - 5239
- Bergh, H. W. (1977):** Mesozoic sea floor off Dronning Maud Land, Antarctica, *Nature*, Vol.269, Seite 686 - 687
- Bergh, H. W. (1987):** Underlying fracture zone nature of Astrid Ridge off Antarctica's Dronning Maud Land, *J. Geophys. Res.*, Vol.92 (B1), Seite 475 - 484

- Bodenseewerk Gerätetechnik GmbH (1985):** Instruction Manual for Marine / Air Gravity Meter System KSS31: Description and Operation, Überlingen, Germany
- Bregman, M. L. und Frakes, L. A. (1970):** Magnetic anomalies in the Weddell Sea and vicinity, Antarctica, Earth planet. Sci. Lett., 9, Seite 322 - 326
- Brewer, T. S. und Clarkson, P. D. (1972):** Mesozoic magmatism in Greater Antarctica: implications for Precambrian plate tectonics, in: Adie, R.J. (Herausgeber): Antarctic Geology and Geophysics, Oslo, Universitetsforlaget, Seite 449 - 455
- Birch, F. (1961):** The velocity of compressional waves in rocks to 10 kilobars, Pt.2, J. Geophys. Res., Vol.66, Seite 2199 - 2224
- Brodsholl, A. L. und Macedo, R. (1988):** Seegravimetrie und marine Magnetik, in: Fütterer, D. K. (Herausgeber): Die Expedition ANTARKTIS-VI mit FS Polarstern 1987/88, Berichte zur Polarforschung, Heft 58, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, Seite 139 - 141
- Brodsholl, A. L., Herzfeld, U. C., Sandwell, D. T. (1992):** A comparison between satellite gravity data (GEOSAT) and marine gravity data measured in the Weddell Sea, Antarctica, in: Colombo, O. L. (Herausgeber): From Mars to Greenland: Charting Gravity with Space and Airborne Instruments - Fields, Tides, Methods, Results, Springer Verlag New York, Seite 129 - 138
- Bullard, E. C., Mason, R. G. (1960):** The magnetic field astern of a ship, Deep Sea Research, Vol.8, Seite 20 - 28
- Busse, F. H., Zhang, K.-H. (1988):** Dynamics of the Earth's Core and the Geodynamo, in: Smylie, D.E., Hide, R.: Structure and Dynamics of Earth's Deep Interior, Geophysical Monograph 46, IUGG, Vol.1, Seite 113 - 120
- Campbell, W. H. (1989):** Quiet Daily Geomagnetic Fields, Birkhäuser Verlag, Berlin
- Cande, S. C. und Kent, D. V. (1992):** A New Geomagnetic Polarity Time Scale for the Late Cretaceous and Cenozoic, J. Geophys. Res., Vol.97 (B10), Seite 13917 - 13951
- Cochran, J. R. (1988):** The Somali Basin, Chain Ridge and the origin of the northern Somali Basin gravity and geoid low, J. Geophys. Res., Vol.93 (B10), Seite 11985 - 2008
- Craddock, C. (1972):** Antarctic Tectonics, in: Adie, R.J. (Herausgeber): Antarctic Geology and Geophysics, Oslo, Universitetsforlaget, Seite 449 - 455
- Cunningham, W. D., Dalziel, I. W. D., Lee, T.-Y., Lawver, L. A. (1995):** Southermost South America-Antarctic relative plate motion since 84 Ma: Implications for the tectonic evolution of the Scotia Arc region, J. Geophys. Res., Vol. 100 (B5), Seite 8257 - 8266
- Dehlinger, P. (1978):** Marine Gravity, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam

- DiVenere, V. J., Kent, D. V., Dalziel, I. W. D. (1995):** Early Cretaceous paleomagnetic results from Marie Byrd Land, West Antarctica: Implications for the Weddellia collage of crustal blocks, *J. Geophys. Res.*, Vol. 100 (B5), Seite 8133 - 8151
- Doucoure, C. M., Bergh, H. W. (1992):** Continental Origin of the Mozambique Plateau, a Gravity Data Analysis, *Journal of African Earth Science, and the Middle-East*, Vol.15 (3-4), Seite 311 - 319
- DuToit, A. L. (1937):** Our wandering continents, Oliver and Boyd, Edinburgh
- EG&G Geometrics:** (keine Jahresangabe), Modell G 811 / G 813 Proton Magnetometer & G811 G Proton Gradiometer, Sunnyvale, California
- Eilers, G. et al. (1991):** Eigenschaften des marinen Gradiometers G 811 G, Fortschrittsbericht Nr. 6 des Förderungsvorhabens MFG 0094 7, Analyse und Synthese geophysikalischer und geologischer Daten aus dem Atlantik als Beitrag zum 'Global Change', Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover
- Elliot, D. H. (1991):** Triassic-Early Cretaceous evolution of Antarctica, in: Thomson, M. R. A., Crame, J. A. und Thomson, J. W. (Herausgeber): *Geological Evolution of Antarctica*, Cambridge University Press, Seite 541 - 547
- Fearn, D. R., Proctor, M. R. E. : (1989):** Earth's core boundary and geodynamos, *Glasgow, United-Kingdom*, 49 (1-4)
- Ford, A. B. (1972):** Weddell Orogeny - Latest Permian to Early Mesozoic Deformation at the Weddell Sea Margin of the Transatlantic Mountains, in: Adie, R.J. (Herausgeber): *Antarctic Geology and Geophysics*, Oslo, Universitetsforlaget, Seite 419 - 425
- Fütterer, D. K. und Melles, M. (1990):** Sediment Patterns in the Southern Weddell Sea: Filchner Shelf and Filchner Depression, in: Bleil, U., Thiede J. (Herausgeber): *Geologic history of the polar oceans: Arctic versus Antarctic*, Kluwer Academic Publications, Dordrecht, Seite 381 - 401
- Frisch, J. und Kewitsch, P. (1987):** Gravity Measurements, in: Fütterer, D. K. (Herausgeber): *Die Expedition ANTARKTIS-IV mit FS Polarstern 1985/86*, Berichte zur Polarforschung, Heft 33, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, Seite 66 - 77
- Frisch, J. und Kewitsch, P. (1991):** The gravimeter system / Interpretation and discussion of gravity measurements, in: Fütterer, D. K. und Schrems, O. (Herausgeber): *Die Expedition ANTARKTIS-VIII mit FS Polarstern 1989/90*, Berichte zur Polarforschung, Heft 90, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, Seite 25 - 28 / Seite 69 - 72
- Fullerton, L. G., Frey, H. V., Roark, J. H., Thomas, H. H. (1994):** Contributions of Cretaceous Quiet Zone natural remanent magnetization to Magsat anomalies in the Southwest Indian Ocean, *J. Geophys. Res.*, Vol.99 (B6), Seite 11923 - 11936

- Garrett, S. W. (1991):** Aeromagnetic studies of crustal blocks and basins in West Antarctica: a review, in: Thomson, M. R. A., Crame, J. A. und Thomson, J. W. (Herausgeber): Geological Evolution of Antarctica, Cambridge University Press, Seite 251 - 256
- Ghidella, M. E., Raymond, C. A., LaBreque, J. L. (1991):** Verification of crustal sources for satellite elevation magnetic anomalies in West Antarctica and the Weddell Sea and their regional tectonic implications, in: Thomson, M. R. A., Crame, J. A. und Thomson, J. W. (Herausgeber): Geological Evolution of Antarctica, Cambridge University Press, Seite 449 - 455
- Gilbert, W. (1600):** De Magnete, englische Übersetzung: Dover Publications, New York, 1958
- Götze, H.-J. (1978):** Ein numerisches Verfahren zur Berechnung der gravimetrischen Feldgrößen drei-dimensionaler Modellkörper, Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. A, Vol. 25, Seite 195 - 215
- Götze, H.-J. und Lahmeyer, B. (1988):** Application of three-dimensional interactive modeling in gravity and magnetics, Geophysics, Vol.53, No. 8, Seite 1096 - 1108
- Grindley, G. W. und McDougall, I. (1969):** Age and correlation of the Nimrod Group and other Precambrian rock units in the central Transantarctic Mountains, Antarctica., N. Z. Jl. Geol. Geophys., 12, Nos 2 und 3, Seite 391 ff.
- Grikurov, G.E., Ravich, M. G., Soloviev, D. S. (1972):** Tectonics of Antarctica, in: Adie, R. J. (Herausgeber): Antarctic Geology and Geophysics, Oslo, Universitetsforlaget, Seite 457 - 468
- Grunow, A. M., Kent, D. V. und Dalziel, I. W. D. (1987):** Mesozoic evolution of West Antarctica and the Weddell Sea Basin: new paleomagnetic constraints, Earth and Planetary Science Letters, 86(1), Seite 16 -26
- Grunow, A. M., Kent, D. V., Dalziel, I. W. D. (1991):** New Paleomagnetic Data From Thurston Island: Implications for the Tectonics of West Antarctica and Weddell Sea Opening, J. Geophys. Res., Vol.96 (B11), Seite 17935 - 17954
- Grunow, A. M. (1993):** Creation and destruction of Weddell Sea floor in the Jurassic, Geology, Vol. 21, Seite 647 - 650
- Hagen R. A., Hinze, H., Monk, J., Niederjasper, F., Schenke, H. W., Schöne, T. (1994):** Applied Marine Geodetic Research in Polar Regions, Marine Geodesy, Vol.17, Seite 81 - 94
- Harland, W. B., Armstrong, R. L., Cox, A. V., Craig, L. E., Smith, A. G., Smith, D. G. (1990):** A geologic time scale, Cambridge University Press, Cambridge
- Harrison, C. G. A. (1987):** The Crustal Field in: Jacobs, J. A. (Herausgeber): Geomagnetism, Band 1 Academic Press, London

- Haugland, K. (1982):** Seismic reconnaissance in the Weddell Sea, in: Craddock, C. (Herausgeber): Antarctic Geoscience, Univ. Wisconsin Press, Madison, Wisconsin, Vol.4, Seite 405 - 413
- Heidland, K. (1994):** Satellitenaltimetrie über Eis - Anwendung des GEOSAT-Altimeters über dem Ekströmisen, Antarktis, Dissertation, Berichte zur Polarforschung Heft Nr. 141, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven
- Heiskanen, W. A., Vening Meinesz, F. A. (1958):** The Earth and its Gravity Field, McGraw-Hill, New York
- Henriet, J. P. und Miller, H. (1990):** Some speculations regarding the nature of the Andenes-Explora Escarpment, in: Bleil, U., Thiede J. (Herausgeber): Geologic history of the polar oceans: Arctic versus Antarctic, Kluwer Academic Publications, Dordrecht, Seite 163 - 172
- Herzfeld, U. C. (1992a):** Das Schwerfeld im Bereich des Explora Escarpments (Weddellmeer, Antarktis) - ein Vergleich zwischen Schiffsmessungen und Satellitendaten (GEOSAT), Zeitschrift für Vermessungskunde, 8/9, Seite 532 - 542
- Herzfeld, U. C. (1992b):** Least-squares collocation, geophysical inverse theory and geostatistics: a bird's eye view, Geophys. J. Int., 111, Seite 237 - 249
- Herzfeld, U. C. und Brodscholl, A. L. (1994):** On the Geologic Structure of the Explora Escarpment (Weddell Sea, Antarctica) Revealed by Satellite and Shipboard Data Evaluation, Marine Geophysical Researches, 16, Seite 325 - 345
- Hill, I. A. und Barker P. F. (1980):** Evidence for Miocene back-arc spreading in the central Scotia Sea, Geophys. J. R. astr. Soc., 63, Seite 427 - 440
- Hinz, K. (1981):** A hypothesis of terrestrial catastrophes - wedges of very thick oceanward dipping layers beneath passive margins - their origin and paleoenvironmental significance, Geol. Jahrbuch, Reihe E, Heft 22, Seite 3 - 28
- Hinz, K. und Krause, W. (1982):** The continental margin of Dronning Maud Land, Antarctica: Seismic sequences, structural elements and geological development, Geol. Jahrbuch., Reihe E, Heft 23, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover
- Hinz, K. und Kristoffersen, Y. (1987):** Antarctica: Recent Advances in the Understanding of the Continental Shelf, Geol. Jahrbuch, Reihe E, Heft 37, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover
- Hinze, H. (1991):** Bathymetry and Sea Floor Mapping at the Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Geodetical Info Magazin, 11, Seite 44 - 50
- Hübscher, C. (1994):** Krustenstrukturen und Verlauf des Kontinentalrandes im Weddell-Meer/Antarktis, Dissertation, Berichte zur Polarforschung Heft No.147, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven
- International Association of Geodesy (1971):** Geodetic Reference System 1967, Bull. Géod., Publ. Spec. Nr.3, Paris

- Jacobs, J. A. (1970):** Geomagnetic Micropulsations, Springer Verlag, Berlin - Heidelberg
- Jacobs, J. (1991):** Strukturelle Entwicklung und Abkühlungsgeschichte der Heimefrontfjella (Westliches Dronning Maud Land,/ Antarktika), Berichte zur Polarforschung, Heft 97, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven
- Johnson A. C., Aleshkova, N. D., Barker, P. F., Golynsky, A. V., Masolov, V. N., Smith, A. M. (1992):** A preliminary aeromagnetic anomaly compilation map for the Weddell province of Antarctica, in: Yoshida, Y. et al. (Herausgeber): Recent Progress in Antarctic Earth Science, Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, Seite 545 - 553
- Johnson, A. C. und Smith, A. M. (1994):** New aeromagnetic map of West Antarctica (Weddell Sea Sector): introduction to important features, in: Yoshida, Y. et al. (Herausgeber): Recent Progress in Antarctic Earth Science, Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, Seite 555 - 562
- Johnson und Pariso (1993):** Variations in Oceanic Crustal Magnetization: Systematic Changes in the Last 160 Million Years, J. Geophys. Res., Vol.98 (B1), Seite 435 - 445
- Jokat, W., Uenzelmann, G., Miller, H., Brodscholl, A., Wüster, J. (1991):** Gravimetrie und Magnetik, in: Miller, H. und Oerter, H. (Herausgeber): Die Expedition ANTARKTIS-VIII 5 mit FS Polarstern 1989/90, Berichte zur Polarforschung, Heft 86, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, Seite 12
- Jokat, W., Hübscher, C., Meyer, U., Oszko, L., Schöne, T., Versteeg, W., Miller, H. (1995):** The continental margin off the East Antarctic between 10°W and 30°W, in: Geological Society Special Publication, Geological Society London (in press)
- Joselyn, J. A. (1989):** Geomagnetic quiet day selection, in: Campbell, W. H. (Herausgeber): Quiet Daily Geomagnetic Fields, Birkhäuser, Berlin
- Kamenev, E. V. und Ivanov V. L. (1983):** Structure and outline of geologic history of the southern Weddell Sea Basin, in: Oliver, R. L., James, P. R., Jago, J. B. (Herausgeber): Antarctic Earth Science, Austr. Acad. Sci., Canberra, Seite 194 - 196
- Kaul, N. (1991):** Detaillierte seismische Untersuchungen am östlichen Kontinentalrand des Weddell Meeres vor Kap Norwegia, Antarktis, Berichte zur Polarforschung Heft No. 89, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven
- Kertz, W (1969):** Einführung in die Geophysik, Band 1, Bibliographisches Institut Mannheim
- Kertz, W. (1983):** Potentialtheorie in der Geophysik, Institut für Geophysik und Meteorologie der Technischen Universität Braunschweig

- Kleinschmidt, G., Guggisch, W. und Floettmann, T. (1992):** Compressional causes for the early Paleozoic Ross Orogen - evidence from Victoria Land and the Shackleton Range in: Yoshida, Y. et al. (Herausgeber): Recent Progress in Antarctic Earth Science, Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, Seite 227 - 233
- Klimov, L. V., Ravich, M. G., Soloviev, D. S. (1964):** Geology of the Antarctic Platform, in: Adie, R. J. (Herausgeber): Antarctic Geology, Amsterdam, North Holland Publishing Company, Seite 681 - 691
- Krist, T. (1975):** Neue Internationale Einheiten der Technik und Physik - SI-Einheiten, Technik-Tabellen-Verlag Fikentscher & Co., Darmstadt
- Kristoffersen, Y. und Hinz, K. (1991):** Evolution of the Gondwana plate boundary in the Weddell Sea area, in: Thomson, M. R. A., Crame, J. A. und Thomson, J. W. (Herausgeber): Geological Evolution of Antarctica, Cambridge University Press, Seite 225 - 230
- Kristoffersen Y. und Haugland, K. (1986):** Geophysical evidence for the East Antarctic plate boundary in the Weddell sea, Nature, Vol.322, Seite 538 - 541
- Kumar, M. (1988):** World Geodetic System 1984: A Modern and Accurate Global Reference Frame, Marine Geodesy, Vol.12, Seite 117 - 126
- Kuvaas, B. und Kristoffersen, Y. (1991):** The Crary fan: A trough-mouth fan on the Weddell Sea continental margin, Antarctica, Marine Geology, 97, Seite 345 - 362
- Krylov, A. YA. (1972):** Antarctic Geochronology, in Adie, R. J. (Herausgeber): Antarctic Geology and Geophysics, Oslo, Universitetsforlaget, Seite 491 - 494
- LaBrecque, J. L. :** Bathymetry and Topography, South, Ocean Margin Drilling Program, Regional Data Synthesis Series, Atlas 13, South Atlantic Ocean and Adjacent Antarctic Continental Margin, Blatt 1
- LaBrecque, J., Cande, S., Bell, R. Raymond, C. (1986):** Aerogeophysical survey yields new data in the Weddell Sea, Antarctic Journal, Vol.21 (5), Seite 69 - 71
- LaBrecque, J. L. und Barker, P. (1981):** The age of the Weddell Basin, Nature, 290, Seite 498 - 455
- LaCoste & Romberg Inc.(1967):** Instruction Manual for LaCoste & Romberg, Inc. Model - G Land Gravity Meter, LaCoste & Romberg, Inc., Austin, Texas
- Langel, R. A. (1987)** The Main Field, in: Jacobs, J. A. (Herausgeber): Geomagnetism, Band 1, Academic Press, London
- Langel, R. A. (1992):** International Geomagnetic Reference Field, 1991 revision, Geophys. J. Int., 108, Seite 945 - 946
- Lawver, L. A. und Scotese C. R. (1987):** A revised reconstruction of Gondwanaland, in: McKenzie G. D. (Herausgeber): Gondwana Six; Structure, Tectonics and Geophysics, Geophysical Monograph, Vol. 40, American Geophysical Union, Washington D.C., Seite 17 - 23

- Lawver, L. A., Royer, J.-Y., Sandwell, D. T., Scotese, C. R. (1991):** Crustal development: Gondwana break-up - Evolution of the Antarctic continental margins, in: Thomson, M. R. A., Crame, J. A. und Thomson, J. W. (Herausgeber): Geological Evolution of Antarctica, Cambridge University Press, Seite 533 - 539
- Lawver, L. A., Gahagan, L. M., Coffin, M. F. (1992):** The Development of Paleoseaways Around Antarctica, in: The Antarctic Paleoenvironment: A Perspective on Global Change, Antarctic Research Series, Vol.56, Seite 7 - 30
- Leliak, P. (1961):** Identification and Evaluation of Magnetic Field Sources of Magnetic Airborne Detector Aircraft, IRE Transactions on Aerospace and Navigational Electronics, Vol.8, Seite 95 - 105
- Longman, I. M. (1959):** Formulas for Computing the Tidal Accelerations Due to the Moon and the Sun, Journal of Geophysics, Vol.64, No.12, Seite 2351 - 2355
- Marks, K. M., und McAdoo, D. (1992):** Gravity Atlas of the Southern Ocean, National Geophysical data Center, World Data Center-A for Marine Geology and Geophysics, Report MGG-7
- Marsh, P. D. (1991):** Major fracture trends near the western margin of East Antarctica, in: Thomson, M. R. A., Crame, J. A. und Thomson, J. W. (Herausgeber): Geological Evolution of Antarctica, Cambridge University Press, Seite 449 - 455
- Martin und Hartnady (1986):** Plate tectonic development of the South West Indian Ocean: a revised reconstruction of East Antarctica and Africa, J. Geophys. Res., Vol.91 (B5), Seite 4767 - 4786
- Maslanyi, M. P., Damaske, D. (1986):** Lessons regarding aeromagnetic surveying during magnetic disturbances in polar regions, British Antarctic Survey Bulletin, 73, Seite 9 - 17
- McAdoo, D. C. und Marks, K. M. (1992):** Gravity Fields of the Southern Ocean From GEOSAT Data, J. Geophys. Res., Vol.97 (B3), Seite 3247 - 3260
- Meneilly, A. W., Harrison, S. M., Piercy, B. A., Stroyer, B. C. (1987):** Structural Evolution of the magmatic arc in northern Palmer Land, Antarctic Peninsula, in McKenzie, G. D. (Herausgeber): Gondwana Six; Structure, Tectonics and Geophysics, Geophysical Monograph, Vol. 40, American Geophysical Union, Washington D.C., Seite 202 - 219
- Meyer, U. (1994):** Gravimetrie, in: Miller, H. (Herausgeber): Die Expedition ANTARKTIS-X mit FS Polarstern 1992, Berichte zur Polarforschung, Heft 152, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, Seite 109
- Miller, H., DeBatist, M., Jokat, W., Kaul, N., Steinmetz, St., Uenzelmann-Neben, G., Versteeg, W. (1990):** Revised Interpretation of Tectonic Features in the Southern Weddell Sea, Antarctica, from New Seismic Data, Polarforschung, 60 (1), Seite 33 - 38

- Mitchell, C., Taylor, G. K., Cox, K. G., Shaw, J. (1986):** Are the Falkland Islands a rotated microplate?, *Nature*, 319, Seite 131 - 133
- Moritz, H. (1984):** Geodetic Reference System 1980, in: Tscherning, C. C. (Herausgeber): *The Geodesists Handbook 1984*, *Bull. Géod.*, 58, Seite 388 - 398
- Mougenot, D., Gennesseaux, M., Hernandez, J., Lepvrier, C., Malod, J. A., Raillard, S., Vanney, J. R., Villeneuve, M. (1991):** La ridge du Mozambique (Océan Indien): un fragment continental individualisé lors du coulisement de l'Amérique et de l'Antarctique de long de l'Afrique de l'Est?, *C. R. Acad. Sci. Paris*, t.312, Série II, Seite 655 - 662
- Nishida, A. (1978):** *Geomagnetic Diagnosis of the Magnetosphere*, Springer Verlag, New York
- Norton, I. O. und Sclater, J. G. (1979):** A model for the evolution of the Indian Ocean and the breakup of Gondwanaland, *J. Geophys. Res.*, Vol.84, No. B12, Seite 6803 - 6830
- Oszko, L. (1995):** Dissertation (in prep.), Universität Bremen
- Paech, H. J., Laiba, A. A., Shulyatin, O. G., Aleksashin, N. D., Traube, V. D. (1991):** Contribution to the geology of western Dronning Maud Land; present knowledge, latest results and unsolved problems, *Zeitschrift für Geologische Wissenschaften*, Vol. 19 (2), Seite 127 - 143
- Rangajaran, G. K. (1989):** Indices of Geomagnetic Activity, in: Jacobs, J. A. (Herausgeber): *Geomagnetism*, Band 3, Academic Press, London
- Rao, D. G., Chaubey, A. K., Rampsarad, T. (1992):** The cretaceous-tertiary sea floor off Dronning Maud Land, Antarctica, *Tectonophysics*, 205, Seite 447 - 452
- Rapp, R. H. und Basic, T. (1992):** Oceanwide gravity anomalies from GEOS-3, SEASAT and GEOSAT altimeter data, *Geophys. Res. L.*, Vol.19 No.19, Seite 1979 - 1982
- Reigber, C. (1993):** Nutzung von GPS in den Geowissenschaften, *Die Geowissenschaften*, No. 5 - 6, Seite 187 - 190
- Renka (1984):** Algorithm 624: Triangulation and interpolation at arbitrarily distributed points in the plane, *ACM Trans. Math. Softw.*, Vol.4 (Dec), Seite 440 - 442
- Roeser, H. A. und Spieß, V. (1987):** Geomagnetic investigation and interpretation, in: Fütterer, D. K. (Herausgeber): *Die Expedition Antarktis IV mit FS Polarstern 1985/86*, *Berichte zur Polarforschung*, Vol. 33, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, Seite 64 - 66
- Roeser, H. A. et al. (1989):** Bericht über ein System zur digitalen Aufnahme, Verarbeitung, Interpretation und Darstellung seegeophysikalischer Meßdaten, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover
- Roeser, H. A. (1993):** Magnetische Messungen auf See, *DGG Mitteilungen*, 2, 1993, Seite 11 - 24

- Rodriguez, E. A., LaBrecque, J. L., Kristoffersen, Y. :** Gravity Anomalies from Shipboard Measurement, South, Ocean Margin Drilling Program, Regional Data Synthesis Series, Atlas 13, South Atlantic Ocean and Adjacent Antarctic Continental Margin, Blatt 6
- Sambursky, S. (1975):** Der Weg der Physik - 2500 Jahre physikalischen Denkens, Artemis Verlag, Zürich
- Sandwell, D. T. (1984):** A detailed view of the South Pacific from satellite altimetry, J. Geophys. Res., Vol.89, Seite 1089 - 1104
- Sandwell, D. T. und McAdoo, D. C. (1988):** Marine Gravity of the Southern Ocean and Antarctic Margin from GEOSAT, J. Geophys. Res., Vol.93 (B9), Seite 10389 - 10396
- Sandwell, D. T. (1992):** Antarctic marine gravity field from high-density satellite altimetry, Geophys. J. Int., Vol.109, Seite 437 - 448
- Sandwell, D. T., Smith, Yale (1994):** EOS trans. AGU, Fall 1994 AGU meeting supplement
- Schenke, H. W. (1990):** Die Fächersonaranlage Hydrosweep, Die Geowissenschaften, 6, Seite 161 - 169
- Schenke, H. W. (1992):** GPS und Fächersonarmessungen mit Hydrosweep auf FS Polarstern, Zeitschrift für Vermessungswesen, 8/9, Sonderheft zum 76. Deutschen Geodätentag, Seite 161 - 169
- Schmidt, S. und Götze, H.-J. (1993):** IGMAS 3-D Gravity Modelling Program Documentation, Version 1.0, Institut für Geophysik der Freien Universität Berlin
- Schöne, T. (1995):** Dissertation (in prep.), Universität Bremen
- Ségoufin, J. und Patriat, P. (1980):** Relations Afrique - Antarctique - Madagascar, Comptes rendus séances, Académie de sciences, 291B(2), Seite 85 - 88
- Sheridan, R. E., Grow, J. A., Klitgord, K. D. (1988):** Geophysical data, in: Sheridan, R. E., Grow, J. A. (Herausgeber): The Atlantic Continental margin: U.S., The geology of North America, Vol.I-2, Geological Society of North America, Boulder, Colorado, Seite 177 - 196
- Simpson, E. S. W., et al. (1979):** Mesozoic magnetic lineations in the Mozambique Basin, Earth and Planetary Science Letters, 43(2), Seite 260 - 264
- Small, C. und Sandwell, D. T. (1992a):** An Analysis of Ridge Axis Gravity Roughness and Spreading Rate, J. Geophys. Res., Vol.97 (B3), Seite 3235 - 3245
- Small, C. und Sandwell, D. T. (1992b):** A comparison of satellite and shipboard gravity measurements in the Gulf of Mexico, Geophysics, Vol.57, No.7, Seite 885 - 893
- Stiller, A. H. (1989):** Grundlagen der Satellitennavigation, Ortung und Navigation, 3/89, Verlag TÜV Rheinland, Seite 439 - 454
- Storey, B. C. (1991):** The crustal blocks of West Antarctica within Gondwana: reconstruction and break-up model, in: Thomson, M. R. A., Crame, J. A. und

- Thomson, J. W. (Herausgeber): Geological Evolution of Antarctica, Cambridge University Press, Seite 587 - 592
- Szeto, A. M. K. (1988):** An inclined $\alpha^2\omega$ dynamo, in: Smylie, D. E., Hide, R. : Structure and Dynamics of Earth's deep interior, Geophysical Monograph, Vol.46, Seite 121 -128
- Teisseyre R. (1989):** Gravity and Low-Frequency Geodynamics, Elsevier, Warschau
- Thompson, R. und Oldfield, F. (1986):** Environmental Magnetism, Allen & Unwill, London
- Torge, W. (1989):** Gravimetry, Walter de Gruyter, Berlin
- Tritton, D. (1989):** Deterministic chaos, geomagnetic reversals and the spherical pendulum, in: Lowes et al.: M. Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Geomagnetism and Paleomagnetism, NATO-Advanced Study Institutes Series C, Newcastle upon Tyne, Seite 215 - 226
- Tsuboi, C. T. (1981):** Gravity, George Allen & Unwin, London
- U.S. Department of Defense (1991):** DMA Technical Report 8350.2 - World Geodetic System 1984 - It's Definitions and Relationships with Local Geodetic Systems, NOAA reprint
- Watts, A. B., McKenzie, D. P., Parsons, B. E., Roufousse, M. (1985):** The relationship between gravity and bathymetry in the Pacific Ocean, Geophys. J. R. astr. Soc., 83, Seite 263 - 298
- Wegener, A. (1936):** Die Entstehung der Kontinente und Ozeane, Vieweg und Sohn, Braunschweig, in der Reihe: Westphal, W., (Herausgeber): Die Wissenschaft, Einzeldarstellungen aus der Naturwissenschaft und der Technik, Bd.66
- White, R. und McKenzie, D. (1989):** Magmatism at Rift Zones: The Generation of Volcanic Continental Margins and Flood Basalts, J. Geophys. Res., V 94 (B6), Seite 7685 - 7729
- Znachko-Yavorskiy, .G. A. (1972):** Main Features of Antarctic Neotectonics, in: Adie, R.J. (Herausgeber): Antarctic Geology and Geophysics, Oslo, Universitetsforlaget, Seite 469 - 472

14 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

1 KURZFASSUNG

Abb. 1.1: Übersichtskarte Antarktis	7
---	---

2 EINLEITUNG

Abb. 2.1: Übersichtskarte Weddellmeer.....	10
--	----

3 GRUNDLAGEN

Abb. 3.1: Geozentrisches und geodätisches Koordinatensystem nach Torge.....	13
Abb. 3.2: WGS-84 (entwickelt bis zum Grad 18) nach Kumar (1988)	18
Abb. 3.3: Dichte und Schwere im Erdinneren nach Tsuboi (1981)	20
Abb. 3.4: Variation der Eötvöskorrektur als Funktion von Geschwindigkeit und geographischer Breite nach Dehlinger (1978)	20
Abb. 3.5: Variation des Fehlers der Eötvöskorrektur als Funktion von Geschwindigkeit und Kurs nach Dehlinger (1978)	20
Abb. 3.6: Geometrie des Erde-Mond-Systems für die Gezeitenkorrektur.....	25
Abb. 3.7: Geomagnetisches Koordinatensystem.....	28

4 MESSTECHNIK UND DATENAUFNAHME

Abb. 4.1: Prinzipieller Aufbau eines LaCoste & Romberg Landgravimeters	34
Abb. 4.2: Aufbau des GSS 30 Schweresensors.....	36
Abb. 4.3: Schema der Gravimetersteuerung auf FS Polarstern.....	38
Abb. 4.4: LaCoste & Romberg axialsymmetrisches Gravimeter	40
Abb. 4.5: Schema des Gradientenmagnetometers	42
Abb. 4.6: Schema des Seabeamsystems.....	42
Abb. 4.7: Schema des Hydrosweepsystems	44
Abb. 4.8: Navigationssysteme, ihre Operationsreichweite und Genauigkeit nach Stiller (1988)	45

5 TEKTONISCH-GEOLOGISCHER RAHMEN

Abb. 5.1: Gondwana-Rekonstruktion nach Lawver und Scotese (1987)	49
Abb. 5.2: Die westantarktischen Krustenblöcke in der Gondwana-Rekonstruktion nach Storey (1991).....	49
Abb. 5.3: Die tektonischen Provinzen der Antarktis nach Craddock (1972).....	50
Abb. 5.4: Trends von Lineamenten und Strukturen der Kontinentgrenzen nach	

Marsh (1991)	54
Abb. 5.5: Riftsystem um die Ostantarktis nach Marsh (1991).....	55

6 DATENSÄTZE UND DATENVERARBEITUNG

Abb. 6.1: Bathymetrie und Topographie für das gebiet des Weddelmeeres nach LaBrecque (1984).....	58
Abb. 6.2: Bathymetrie des Weddellmeeres, kompiliert aus bathymetrischen und seismischen Profilen, Konturlinienabstand 100 m.....	59
Abb. 6.3: Bathymetrie (gepunktete Linien) und Gravimetrie (durchgezogene Linien) über der Polarstern-bank, aus Hinze (1991).....	60
Abb. 6.4: Globale Karte der gravimetrischen Rauheit nach Small und Sandwell (1992)	63
Abb. 6.5: Schwerekarte des Weddellmeeres nach McAdoo und marks (1992).....	64
Abb. 6.6: Schwerekarte des Weddellmeeres nach Rodriguez.....	65
Abb. 6.7a: Bathymetrie des Explora-Escarpments nach Herzfeld (1992)	66
Abb. 6.7b: Schwerekarte des Explora-Escarpments nach Herzfeld (1992).....	66
Abb. 6.8: Mesozoische Spreizungsanomalien im Weddellmeer und der Lazarevsee nach Elliot (1991).....	69
Abb. 6.9: Aeromagnetik-Karte für das Weddellmeer kompiliert aus russischen und britischen Daten nach Johnson (1992).....	72
Abb. 6.10: Verteilung und Lage der seismischen Profile im Weddellmeer	76
Abb. 6.11a: Geologisches Modell des südlichen Weddellmeeres nach Kristoffersen und Hinz (1991).....	77
Abb. 6.11b: Interpretation des seismischen Profils BGR-86-13 nach Kristoffersen und Hinz (1991).....	77
Abb. 6.11c: Modellierung des gravimetrischen Profils BGR-86-13 nach Kristoffersen und Hinz (1991)	77
Abb. 6.12: Tiefenlage des akustischen Basements nach Hübscher (1994)	78
Abb. 6.13: Interpretation des seismischen Profils AWI-90131 über der Polarstern-Bank nach Miller et al. (1990).....	79
Abb. 6.14: Verlauf des Kontinentalrandes im Weddellmeer nach Hübscher (1994)...	79

7 DATENSÄTZE UND DATENVERARBEITUNG

Abb. 7.1: Lage der Magnetikprofile aus ANT X/2.....	81
Abb. 7.2: kp-Werte für den Zeitraum der Magnetikmessungen während ANT X/2 .	82
Abb. 7.3: Lage und Verteilung der bearbeiteten Gravimeterprofile	88

8 KARTIERUNGEN UND PROFILE

Abb. 8.1: Vertrauensbereich der Schwerekarte in Abb. 8.2	92
--	----

Abb. 8.2: Kompilation der Freiluftschwere für das südliche Weddellmeer aus marinen Gravimeterprofilen.....	93
Abb. 8.3: Geologisch-tektonische Strukturen, abgeleitet aus der Freiluftschwere ...	94
Abb. 8.4: Freiluftschwere für das Gebiet des Weddellmeeres aus den Daten nach Sandwell et al. (1994).....	98
Abb. 8.5a: Freiluftschwere nach Sandwell et al. (1994) im Vergleichsgebiet und Datenverteilung.....	99
Abb. 8.5b: Marine Freiluftschwere im Vergleichsgebiet und Datenverteilung.....	99
Abb. 8.5c: Differenz zwischen Schiffs- und Satellitenmessungen.....	99
Abb. 8.6: Freiluftschwere für das südliche Weddellmeer nach einer Kompilation von Schöne (aus Jokat et al., 1995)	100
Abb. 8.7: Karte der Bouguerschwere für das südliche Weddellmeer.....	103
Abb. 8.8: Einfaches Modell der Krustendicke im südlichen Weddellmeer.....	104
Abb. 8.9: Magnetikanomalien im Bereich der Polarstern Bank nach LaBrecque und Barker (1981)	106
Abb. 8.10: Magnetikanomalien im Bereich der Polarstern Bank.....	106
Abb. 8.11: Magnetikanomalien vor der Küste von Coats Land	107
Abb. 8.12: Magnetikanomalien aus ANT X/2 vor dem Filchner Schelfeis	107

9 MODELLIERUNGEN

Abb. 9.1: Freiluftschwere für das Gebiet der Modellierung	110
Abb. 9.2: Bathymetrie für das Gebiet der Modellierung aus 'center beam' - Tiefen	111
Abb. 9.3: Sedimentmächtigkeit für das gebiet der Modellierung	112
Abb. 9.4: Tiefenlage des akustischen basements für das Gebiet der Modellierung	113
Abb. 9.5: Gravimetrisches Modell des Great meteor Seamount nach Dehlinger ...	114
Abb. 9.6: Gravimetrisches Modell des passiven Kontinentalrandes der Ostküste Noramerikas: Linie IPOD/USGS, Cape Hatteras	114
Abb. 9.7: Vergleich von modellierter und gemessener Freiluftschwere	116
Abb. 9.8: Abweichung und Gesamtstatistik für die Modellierungen.....	117
Abb. 9.9: Westlicher Rand des Modells, 5000 km Abstand zu 24°30'W	119
Abb. 9.10: Schnittebene des Modells bei 28°W	120
Abb. 9.11: Schnittebene des Modells bei 27°30'W	121
Abb. 9.12: Schnittebene des Modells bei 27°W	122
Abb. 9.13: Schnittebene des Modells bei 26°30'W	123
Abb. 9.14: Schnittebene des Modells bei 26°W	124
Abb. 9.15: Schnittebene des Modells bei 25°W	125
Abb. 9.16: Schnittebene des Modells bei 25°30'W	126
Abb. 9.17: Schnittebene des Modells bei 24°W	127
Abb. 9.18: Schnittebene des Modells bei 24°30'W	128
Abb. 9.19: Schnittebene des Modells bei 23°W	129
Abb. 9.20: Schnittebene des Modells bei 23°30'W	130

Abb. 9.21: Schnittebene des Modells bei 22°W	131
Abb. 9.22: Schnittebene des Modells bei 22°30'W	132
Abb. 9.23: Östlicher Rand des Modells, 5000 km Abstand zu 24°30'W.....	133

10 ÖFFNUNGSSZENARIEN

Abb. 10.1: Gondwana Rekonstruktion nach Lawver und Scotese (1987) in der Übersicht, frühes Jura.....	136
Abb. 10.2: Gondwana Rekonstruktion nach Lawver und Scotese (1987) über der Gravimetrie des südlichen Weddellmeeres: frühes Jura.....	138
Abb. 10.3: Gondwana Rekonstruktion nach Martin und Hartnady (1986) über der Gravimetrie des südlichen Weddellmeeres: 145 Ma vor heute.....	142
Abb. 10.4: Gondwana Rekonstruktion nach Martin und Hartnady (1986) über den magnetischen Anomalien des südlichen Weddellmeeres: 145 Ma vor heute.....	144

ANHANG

ANHANG A

PHYSIKALISCHE GRÖSSEN NACH DEM SYSTÈME INTERNATIONAL D'UNITÉS

1 Grundlegende Größen

Größe und Formelzeichen		phys. Einheit und Abkürzung		Relationen
Distanz, Länge, Radius	l, q, r, s	Meter	m	
Fläche	A	Quadratmeter	m ²	
Volumen	V, τ	Kubikmeter	m ³	
ebener Winkel	$\xi, \zeta, \alpha, \dots$	Radian	rad	1 rad = 180° π ⁻¹
räumlicher Winkel	Ω	Steradian	sr	
Masse	m, M	Kilogramm	kg	1 kg = 1000 g
spezifische Masse, Dichte ρ			kgm ⁻³	1000 kgm ⁻³ = 1 gcm ⁻³
Zeit	t, T	Sekunden	s	
		Stunden	h	
Frequenz	ν	Hertz	Hz	1 Hz = 1 s ⁻¹
Geschwindigkeit	v		ms ⁻¹	
Beschleunigung	a		ms ⁻²	
Fallbeschleunigung	g		ms ⁻²	10 ⁻² ms ⁻² = 1 Gal
Winkelgeschwindigkeit	ω		rads ⁻¹	
Winkelbeschleunigung	α		rads ⁻²	
Kraft	F	Newton	N	1 N = 1 kgms ⁻²
Gewichtskraft	G	Newton	N	
Druck	p	Pascal	Pa	1 Pa = 1 Nm ⁻² = 1 kgs ⁻² m ⁻¹
elektrische Spannung	U	Volt	V	
elektrischer Strom	I	Ampère	A	
elektrische Ladung	Q	Coulomb	C	1 C = 1 As
elektrischer Widerstand	R	Ohm	Ω	1 Ω = 1 VA ⁻¹
elektrischer Leitwert	G	Siemens	S	1 S = 1 Ω ⁻¹
elektrische Leitfähigkeit	σ		Sm ⁻¹	1 Sm ⁻¹ = 1 AV ⁻¹ m ⁻¹
elektrische Feldstärke	E		Vm ⁻¹	
elektrische Flußdichte	I		Cm ⁻²	
magnetische Feldstärke	H		Am ⁻¹	
magnetischer Fluß	Φ	Weber	Wb	
magnetische Flußdichte	B	Tesla	T	1 T = 10 ⁹ nT = 1 Wbm ⁻²
Induktivität	L	Henry	H	1 H = 1 VsA ⁻¹
magn. Feldkonstante	μ ₀		Hm ⁻¹	μ ₀ = 4π10 ⁻⁷ Hm ⁻¹
Permeabilität	μ			μ = BH ⁻¹
magnetisches Moment	M	Webermeter	Wbm	
magn. Suszeptibilität	χ			χ = MH ⁻¹ = μ _r - 1

ANHANG A

2 Abgeleitete Größen

2.1 Marine Navigation und Bathymetrie

Größe und Formelzeichen	Einheit und Abkürzung	Relationen, Konventionen	
astronomischer Azimut	AZ	rechtweisender Winkel °	
astronomische Länge	L	Längengrad °	
astronomische Breite	Φ	Breitengrad °	
geographischer Azimut	AZ	rechtweisender Winkel °	gegen geographisch Nord
geographische Länge	λ	Längengrad °	Nord positiv, Süd negativ
geographische Breite	ϕ	Breitengrad °	Ost positiv, West negativ
geozentrische Breite	ϕ_{gc}	Winkelgrad °	
Schiffsweglänge	l _S	nautische Meile nm	1 nM = 1853.13 m
Schiffsgeschwindigkeit	v _S	Knoten kts	1 kts = 1 nmh ⁻¹
Schiffskurs	Az _S	Grad °	gegen geographisch Nord
bathymetrische Tiefe	T	Metre m	

2.2 Marine Gravimetrie

Größe und Formelzeichen	Einheit und Abkürzung	Relationen, Konventionen	
absolute Schwere	g _{abs}	mGal	10 ⁻² ms ⁻² = 1 mGal
Normalschwere	g _n	mGal	
gemessene Schwere	g _{obs}	mGal	
unskalierte Schwere	g _u	Skalenteil Skt	
Schwereskalierungsfaktor k _g		mGalSkt ⁻¹	
Eötvoes Korrektur	C _e	mGal	
Eötvoes korr. Schwere	g _e	mGal	
Freiluftreduktion	G _f	mGal	
Freiluft red. Schwere	g _f	mGal	
Bouguerreduktion	G _b	mGal	
Bouguer red. Schwere	g _b	mGal	
Freiluft Anomalie	Δg_f	mGal	
Bouguer Anomalie	Δg_b	mGal	
Dichtekontrast	$\Delta \rho$	gcm ⁻³	

2.3 Marine Magnetik

Größe und Formelzeichen	Einheit und Abkürzung	Relationen, Konventionen	
magnetische Inklination	I _m	Grad °	gegen die Normale
magnetische Deklination	D _m	Grad °	gegen geographisch Nord
unkorr. Magnetfeld	m _u	nT	
zeitkorr. Magnetfeld	m _t	nT	
Magnetfelddifferenz	Δm	nT	
Magnetfeldgradient	δm	nTm ⁻¹	
integriertes Magnetfeld	U _m	nT	
Magnetfeldanomalie	m _a	nT	

ANHANG A

2.3 Marine Magnetik (Fortsetzung)

Größe und Formelzeichen	Einheit und Abkürzung	Relationen, Konventionen
elektr. Leitfähigkeitskontrast $\Delta\sigma$ magn. Suszeptibilitätskontrast $\Delta\chi$	Sm^{-1}	$1 \text{ Sm}^{-1} = 1 \text{ AV}^{-1}\text{m}^{-1}$

2.4 Allgemeines

Größe und Formelzeichen	Einheit und Abkürzung	Relationen, Konventionen
große Halbachse einer Ellipse r_a	Meter m	
kleine Halbachse einer Ellipse r_b	Meter m	
Abflachung f		$f = \frac{r_a - r_b}{r_a}$
Elliptizität e		$e = \frac{r_a^2 - r_b^2}{r_a^2}$
Schwere am Pol g_{pol}	mgal	
Schwere am Äquator g_{equ}	mgal	
Schwereabflachung f_g		$f_g = \frac{g_{\text{equ}} - g_{\text{pol}}}{g_{\text{equ}}}$

3. Formelschreibweisen

Symbol und Interpretation	Definition
r Skalar	
\mathbf{r} Vektor	$\mathbf{r} = (x, y, z)$
Δ Differenz	$\Delta m = m_1 - m_2$
δ Gradient $\text{grad}\mathbf{x}$ Vektorgradient	
$\text{rot}\mathbf{v}$ Rotation	
$\int dx$ Linienintegral	
$\int_F dF$ Flächenintegral	
$\int_V dV$ Volumenintegral	
$\int_M dM$ Massenintegral	
P_V Potential der Erdanziehung	
P_Z Potential der Zentrifugalkraft	
P_W Schwerepotential	

ANHANG B

NUMERISCHE GRÖSSEN

1 ALLGEMEINES

Größe und numerischer Wert	Erläuterung	Quelle
$r_{\text{eq}} = 6378.139 \text{ km}$	äquatorialer Erdradius	Dehlinger (1978)
$r_{\text{pol}} = 6356.75 \text{ km}$	polarer Erdradius	Dehlinger (1978)
$r_e = 6370.8 \text{ km}$	mittlerer Erdradius	Dehlinger (1978)
$V_e = 1.0832 \cdot 10^{21} \text{ m}^3$	Erdvolumen	Dehlinger (1978)
$M_e = 5.973 \cdot 10^{24} \text{ kg}$	Erdmasse	Dehlinger (1978)
$M_s = 332946.8 M_e$	Sonnenmasse	Dehlinger (1978)
$M_m = \frac{1}{81.3} M_e$	Mondmasse	Dehlinger (1978)

2 GRAVIMETRIE

Größe und numerischer Wert	Erläuterung	Quelle
$G = 6.637 \cdot 10^{-8} \text{ gcm}^3\text{s}^{-2}$ $= 6.637 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$	Gravitationskonstante	Dehlinger (1978)
$f = 3.352811 \cdot 10^{-3}$	geometrische Abflachung	Torge (1989), GRS80
$e = 6.694380 \cdot 10^{-3}$	geometrische Elliptizität	Torge (1989), GRS80
$f_g = 5.302440 \cdot 10^{-3}$	gravimetrische Abflachung	Torge (1989), GRS80
$g_{\text{equ}} = 978032.68 \text{ mGal}$	Schwere am Äquator	Torge (1989), GRS80
$g_{\text{pol}} = 983218.64 \text{ mGal}$	Schwere am Pol	Torge (1989), GRS80
$g_m = 979764.5 \text{ mGal}$	mittlere Schwere	Torge (1989), GRS80
$\omega_e = 7.292115 \text{ rads}^{-1}$	Winkelgeschwindigkeit der Erde	Torge (1989), GRS80
$\rho_e = 5.515 \text{ gcm}^{-3}$	mittlere Dichte der Erde	Dehlinger (1978)

ANHANG C

HAFENANSCHLÜSSE UND AWI ABSOLUTPUNKT

1 AWI ABSOLUTPUNKT

Im Gebäude D des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung wurde ein Hilfspunkt zur Anbindung an das internationale Schwerenetz eingemessen. Der Punkt befindet sich in Raum 0082 und ist durch eine Bodenmarkierung gekennzeichnet.

Der absolute Schwerewert wurde an dieser Stelle bestimmt zu:

$$981356.72 \text{ mGal } (+/- 0.01 \text{ mGal}) .$$

Dieser Wert wurde zuletzt im November 1994 durch eine Schleifenmessung verifiziert. Die Meßschleife beinhaltete unter anderen die Absolutpunkte der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig und des Geodätischen Institutes der Universität Hannover.

Bei allen Hafenananschlußmessungen in Bremerhaven wurde der AWI Hilfspunkt zur Kontrolle aufgesucht.

2 HAFENANSCHLÜSSE DER AWI EXPEDITIONEN MIT DEM KSS 31 SEEGRAVIMETER

2.1 Expedition ANT X 2

Bremerhaven: Punkt in AWI-D, 15.10.1991

L&R G877: 4992.03 mGal entsprechend 981356.72 (+/- 0.01 mGal)

Punta Arenas (Chile): Punkt vor den Eingangstufen der Hafenbehörde, 03.01.1992

L&R G877: 981321.14 (+/- 0.1 mGal) (Übertragung aus Bremerhaven)
981932.30 (+/- 0.1 mGal) (nach Wollard, G. P und Rose, J. C.:
International Gravity Measurements, University of Wisconsin,
Geophysical and Polar Research Center, 1963 -
nach Korrektur um den Potsdamfehler von 14 mGal))

Dieser Punkt dient nur zur indirekten Überprüfung, FS Polarstern lag auf Reede.

Kapstadt (Südafrika): Duncan Pier, Punkt am Kopfende des Trockendocks, 25.03.1992

L&R G877: 979640.90 (+/- 0.1 mGal) (Übertragung aus Bremerhaven)
979638.62 (+/- 0.02 mGal) (ISGN 71 Netz)

Zum Hafenananschluß wurde der ISGN 71 Wert verwendet.

2.2 Expedition ANT IX 2

Bremerhaven: Punkt in AWI-D, 31.12.1990

L&R G744: 4907.25 mGal entsprechend 981356.72 (+/- 0.01 mGal)

Kapstadt (Südafrika): Duncan Pier, Punkt am Kopfende des Trockendocks, 02.01.1991

L&R G744: 979639.98 (+/- 0.1 mGal) (Übertragung aus Bremerhaven)
979638.62 (+/- 0.02 mGal) (ISGN 71 Netz)

Kapstadt (Südafrika): Duncan Pier, Punkt am Kopfende des Trockendocks, 25.03.1992

L&R G744: 979638.45 (+/- 0.1 mGal) (Übertragung aus Bremerhaven)
979638.62 (+/- 0.02 mGal) (ISGN 71 Netz)

Zum Hafenananschluß wurde der ISGN 71 Wert verwendet.

ANHANG C

HAFENANSCHLÜSSE UND AWI ABSOLUTPUNKT

2.3 Expedition ANT VIII 5

Bremerhaven: Punkt in AWI-D

L&R G877: 4985.32 mGal entsprechend 981356.72 (+/- 0.01 mGal), 14.12.1989

L&R G744: 4982.77 mGal entsprechend 981356.72 (+/- 0.01 mGal), 08.08.1990

Ushuaya (Argentinien): Punkt am Denkmal im Hafbereich, 16.12.1989

L&R G877: 981468.63 (+/- 0.1 mGal) (Übertragung aus Bremerhaven)
981470.50 (+/- 0.1 mGal) (nach Wollard, G. P und Rose, J. C:
International Gravity Measurements, University of Wisconsin,
Geophysical and Polar Research Center, 1963 -
nach Korrektur um den Potsdamfehler von 14 mGal))

Dieser Punkt dient nur zur indirekten Überprüfung, FS Polarstern lag auf Reede.

Kapstadt: Duncan Pier, Punkt am Kopfende des Trockendocks, 12.03.1990

L&R G744: 979639.42 (+/- 0.1 mGal) (Übertragung aus Bremerhaven)

979638.62 (+/- 0.02 mGal) (ISGN 71 Netz)

Zum Hafenschluß wurde der ISGN 71 Wert verwendet.

ANHANG D

DATENFORMATE

1 MARINE GRAVIMETRIE

THE AWI INTERNAL POTENTIAL FIELD DATA FORMAT FOR MARINE GRAVITY IS:

	VARIABLE	FORMAT	EXAMPLE
1)	line no. or profile name	a8 x	gp22nord
2)	acquisition date	i2.2(, '- ', i2) x	24-12-91
3)	... in julian date	i3.3 x	348
4)	acquisition time	i2.2(':', i2), '.', i4 x	16:54:33.3333
5)	... in decimal hours	f13.10 x	16.8924367832
6)	latitude in dec. degrees	f10.5 x	+088.12345
7)	longitude in dec. degrees	f10.5 x	-064.67890
8)	bathymetric depth in meters	f7.1 x	09778.1
9)	course in dec. degrees	f10.5 x	+071.23455
10)	speed in knots	f6.2 x	004.99
11)	no. of sensors	i1.1 x	1
12)	scaled raw gravity in mgal	f9.2 x	002345.34
13)	tied absolute gravity in mgal	f9.2 x	980987.34
14)	lat. corr. gravity in mgal	f9.2 x	004567.98
15)	eot. corr. gravity in mgal	f9.2 x	004576.22
16)	bouguer gravity in mgal	f9.2 x	003456.12
17)	user defined decoding character	a1	D
18)	shotpoint number or fiducial carriage return	i8.8 1	00000345 <CR>

TOTAL 160 CHARACTERS PER RECORD

CONVENTION:

- 13) - 14) = normal gravity
- 14) - 15) = eotvoes correction
- 15) - 16) = bouguer correction

READ / WRITE FORMAT

```

a_profile,
& i_grvday, i_grvmonth, i_grvyear,
& i_grvjulianday,
& i_grvhour, i_grvminute, i_grvsecond, i_fracsecond,
& f_grvtime,
& f_latitude, f_longitude,
& f_depth, f_course, f_speed,
& i_sensor,
& f_rawgrav, f_absgrav, f_latcorr, f_eotcorr, f_bgrcorr,
& a_decode, i_shotpt

format(a8, x, i2.2(, '- ', i2.2), x, i3.3, x, i2.2((':', i2.2), '.', i4.4,
& x, f13.10, 2(x, f10.5), x,
& f7.1, x, f10.5, x, f6.2, x, i1.1.5(x, f9.2), x, a1, i8.8)

```

ANHANG D

DATENFORMATE

1 MARINE MAGNETIK

THE AWI INTERNAL POTENTIAL FIELD DATA FORMAT FOR MARINE MAGNETICS IS:
(SINGLE SENSOR)

	VARIABLE	FORMAT	EXAMPLE
1)	line no. or profile name	a8 x	gp22nord
2)	acquisition date	i2,2(, '-', i2) x	24-12-00
3)	... in julian date	i3.3 x	348
4)	acquisition time	i2,2(':', i2), '.', i4 x	16:54:33.3333
5)	... in decimal hours	f13.10 x	16.8924367832
6)	latitude in dec.degrees	f10.5 x	+088.12345
7)	longitude in dec. degrees	f10.5 x	-064.67890
8)	bathymetric depth in meters	f7.1 x	09778.1
9)	course in dec.degrees	f10.5 x	+071.23455
10)	speed in knots	f6.2 x	004.99
11)	no. of sensors	i1.1 x	1
12)	raw magnetic readings in nT	f9.2 x	042345.34
13)	basestation readings in nT	f9.2 x	040987.00
14)	compensated readings in nT	f9.2 x	041234.56
15)	diurnal reduced readings in nT	f9.2 x	-03332.66
16)	igrf reduced readings in nT	f9.2 x	-03329.67
17)	user defined decoding character	a1	D
18)	shotpoint number or fiducial carriage return	i8.8 1	00000345 <CR>

TOTAL 160 CHARACTERS per record

CONVENTION:

- 12) - 14) = compensated maneuver effect
- 14) - 15) = filtered diurnal
- 15) - 16) = igrf

READ / WRITE FORMAT

```

a_profile,
& i_magday, i_magmonth, i_magyear,
& i_julianday,
& i_maghour, i_magminute, i_magsecond, i_fracsecond,
& f_magtime,
& f_latitude, f_longitude,
& f_depth, f_course, f_speed,
& i_sensor,
& f_rawmag, f_basmag, f_bascor, f_igrfcor, f_compmag,
& a_decode, i_shotpt

format(a8,x,i2.2,2(, '-', i2.2),x,i3.3,x,i2.2,2(':', i2.2), '.', i4.4,
& x,f13.10,2(x,f10.5),x,
& f7.1,x,f10.5,x,f6.2,x,i1.1,5(x,f9.2),x,a1,i8.8)

```

**Folgende Hefte der Reihe „Berichte zur Polarforschung“
sind bisher erschienen:**

- **Sonderheft Nr. 1/1981** – „Die Antarktis und ihr Lebensraum“
Eine Einführung für Besucher – Herausgegeben im Auftrag von SCAR
Heft Nr. 1/1982 – „Die Filchner-Schelfeis-Expedition 1980/81“
zusammengestellt von Heinz Köhnen
- **Heft Nr. 2/1982** – „Deutsche Antarktis-Expedition 1980/81 mit FS ‚Meteor‘“
First International BIOMASS Experiment (FIBEX) – Liste der Zooplankton- und Mikronektonnetzfüge
zusammengestellt von Norbert Klages
Heft Nr. 3/1982 – „Digitale und analoge Krill-Echolot-Rohdatenerfassung an Bord des Forschungs-
schiffes ‚Meteor‘“ (im Rahmen von FIBEX 1980/81, Fahrtabschnitt ANT III), von Bodo Morgenstern
Heft Nr. 4/1982 – „Filchner-Schelfeis-Expedition 1980/81“
Liste der Planktonfänge und Lichtstärkemessungen
zusammengestellt von Gerd Hubold und H. Eberhard Drescher
- **Heft Nr. 5/1982** – „Joint Biological Expedition on RRS ‚John Biscoe‘, February 1982“
by G. Hempel and R. B. Heywood
- **Heft Nr. 6/1982** – „Antarktis-Expedition 1981/82 (Unternehmen ‚Eiswarte‘)“
zusammengestellt von Gode Gravenhorst
Heft Nr. 7/1982 – „Marin-Biologisches Begleitprogramm zur Standorterkundung 1979/80 mit MS ‚Polar-
sirke!‘ (Pre-Site Survey)“ – Stationslisten der Mikronekton- und Zooplanktonfänge sowie der Bodenfischerei
zusammengestellt von R. Schneppenheim
Heft Nr. 8/1983 – „The Post-Fibex Data Interpretation Workshop“
by D. L. Cram and J.-C. Freytag with the collaboration of J. W. Schmidt, M. Mail, R. Kresse, T. Schwinghammer
- **Heft Nr. 9/1983** – „Distribution of some groups of zooplankton in the inner Weddell Sea in summer 1979/80“
by I. Hempel, G. Hubold, B. Kaczmaruk, R. Keller, R. Weigmann-Haass
Heft Nr. 10/1983 – „Fluor im antarktischen Ökosystem“ – DFG-Symposium November 1982
zusammengestellt von Dieter Adeling
Heft Nr. 11/1983 – „Joint Biological Expedition on RRS ‚John Biscoe‘, February 1982 (II)“
Data of micronekton and zooplankton hauls, by Uwe Piatkowski
Heft Nr. 12/1983 – „Das biologische Programm der ANTARKTIS-I-Expedition 1983 mit FS ‚Polarstern‘“
Stationslisten der Plankton-, Benthos- und Grundscheppnetzfüge und Liste der Probennahme an Robben
und Vögeln, von H. E. Drescher, G. Hubold, U. Piatkowski, J. Plötz und J. Voß
- **Heft Nr. 13/1983** – „Die Antarktis-Expedition von MS ‚Polarbjörn‘ 1982/83“ (Sommerkampagne zur
Atka-Bucht und zu den Krauf-Bergen), zusammengestellt von Heinz Köhnen
- **Sonderheft Nr. 2/1983** – „Die erste Antarktis-Expedition von FS ‚Polarstern‘ (Kapstadt, 20. Januar 1983 –
Rio de Janeiro, 25. März 1983)“, Bericht des Fahrtleiters Prof. Dr. Gotthilf Hempel
Sonderheft Nr. 3/1983 – „Sicherheit und Überleben bei Polarexpeditionen“
zusammengestellt von Heinz Köhnen
- **Heft Nr. 14/1983** – „Die erste Antarktis-Expedition (ANTARKTIS I) von FS ‚Polarstern‘ 1982/83“
herausgegeben von Gotthilf Hempel
Sonderheft Nr. 4/1983 – „On the Biology of Krill *Euphausia superba*“ – Proceedings of the Seminar
and Report of the Krill Ecology Group, Bremerhaven 12. - 16. May 1983, edited by S. B. Schnack
Heft Nr. 15/1983 – „German Antarctic Expedition 1980/81 with FRV ‚Walther Herwig‘ and RV ‚Meteor‘“ –
First International BIOMASS Experiment (FIBEX) – Data of micronekton and zooplankton hauls
by Uwe Piatkowski and Norbert Klages
Sonderheft Nr. 5/1984 – „The observatories of the Georg von Neumayer Station“, by Ernst Augstein
Heft Nr. 16/1984 – „FIBEX cruise zooplankton data“
by U. Piatkowski, I. Hempel and S. Rakusa-Suszczewski
Heft Nr. 17/1984 – Fahrtbericht (cruise report) der ‚Polarstern‘-Reise ARKTIS I, 1983“
von E. Augstein, G. Hempel und J. Thiede
Heft Nr. 18/1984 – „Die Expedition ANTARKTIS II mit FS ‚Polarstern‘ 1983/84“,
Bericht von den Fahrtabschnitten 1, 2 und 3, herausgegeben von D. Fütterer
Heft Nr. 19/1984 – „Die Expedition ANTARKTIS II mit FS ‚Polarstern‘ 1983/84“,
Bericht vom Fahrtabschnitt 4, Punta Arenas-Kapstadt (Ant-II/4), herausgegeben von H. Köhnen
Heft Nr. 20/1984 – „Die Expedition ARKTIS II des FS ‚Polarstern‘ 1984, mit Beiträgen des FS ‚Valdivia‘
und des Forschungsflugzeuges ‚Falcon 20‘ zum Marginal Ice Zone Experiment 1984 (MIZEX)“
von E. Augstein, G. Hempel, J. Schwarz, J. Thiede und W. Weigel
Heft Nr. 21/1985 – „Euphausiid larvae in plankton from the vicinity of the Antarctic Peninsula,
February 1982“ by Sigrd Marschall and Elke Mizdalski
Heft Nr. 22/1985 – „Maps of the geographical distribution of macrozooplankton in the Atlantic sector of
the Southern Ocean“ by Uwe Piatkowski
Heft Nr. 23/1985 – „Untersuchungen zur Funktionsmorphologie und Nahrungsaufnahme der Larven
des Antarktischen Krills *Euphausia superba* Dana“ von Hans-Peter Marschall

- Heft Nr. 24/1985** – „Untersuchungen zum Periglazial auf der König-Georg-Insel Südshetlandinseln/ Antarktika. Deutsche physiogeographische Forschungen in der Antarktis. – Bericht über die Kampagne 1983/84“ von Dietrich Barsch, Wolf-Dieter Blümel, Wolfgang Flügel, Roland Mäusbacher, Gerhard Stäblein, Wolfgang Zick
- **Heft Nr. 25/1985** – „Die Expedition ANTARKTIS III mit FS ‚Polarstern‘ 1984/1985“ herausgegeben von Gotthilf Hempel.
 - **Heft Nr. 26/1985** – „The Southern Ocean“; A survey of oceanographic and marine meteorological research work by Hellmer et al.
 - Heft Nr. 27/1986** – „Spätpleistozäne Sedimentationsprozesse am antarktischen Kontinentalhang vor Kapp Norvegia, östliche Weddell-See“ von Hannes Grobe
 - Heft Nr. 28/1986** – „Die Expedition ARKTIS III mit ‚Polarstern‘ 1985 mit Beiträgen der Fahrteilnehmer, herausgegeben von Rainer Gersonde
 - **Heft Nr. 29/1986** – „5 Jahre Schwerpunktprogramm ‚Antarktisforschung‘ der Deutschen Forschungsgemeinschaft.“ Rückblick und Ausblick. Zusammenge stellt von Gotthilf Hempel, Sprecher des Schwerpunktprogramms
 - Heft Nr. 30/1986** – „The Meteorological Data of the Georg-von-Neumayer-Station for 1981 and 1982“ by Marianne Gube and Friedrich Obleitner
 - Heft Nr. 31/1986** – „Zur Biologie der Jugendstadien der Notothenioidei (Pisces) an der Antarktischen Halbinsel“ von A. Kellermann
 - Heft Nr. 32/1986** – „Die Expedition ANTARKTIS IV mit FS ‚Polarstern‘ 1985/86“ mit Beiträgen der Fahrteilnehmer, herausgegeben von Dieter Fütterer
 - Heft Nr. 33/1987** – „Die Expedition ANTARKTIS-IV mit FS ‚Polarstern‘ 1985/86 – Bericht zu den Fahrabschnitten ANT-IV/3-4“ von Dieter Karl Fütterer
 - Heft Nr. 34/1987** – „Zoogeographische Untersuchungen und Gemeinschaftsanalysen an antarktischen Makroplankton“ von U. Piatkowski
 - Heft Nr. 35/1987** – „Zur Verbreitung des Meso- und Makrozooplanktons in Oberflächenwasser der Weddell See (Antarktis)“ von E. Boysen-Ennen
 - Heft Nr. 36/1987** – „Zur Nahrungs- und Bewegungsphysiologie von *Salpa thompsoni* und *Salpa fusiformis*“ von M. Reinke
 - Heft Nr. 37/1987** – „The Eastern Weddell Sea Drifting Buoy Data Set of the Winter Weddell Sea Project (WWSP)“ 1986 by Heinrich Hoerber und Marianne Gube-Lehnhardt
 - Heft Nr. 38/1987** – „The Meteorological Data of the Georg von Neumayer Station for 1983 and 1984“ by M. Gube-Lehnhardt
 - Heft Nr. 39/1987** – „Die Winter-Expedition mit FS ‚Polarstern‘ in die Antarktis (ANT V/1-3)“ herausgegeben von Sigrid Schnack-Schiel
 - Heft Nr. 40/1987** – „Weather and Synoptic Situation during Winter Weddell Sea Project 1986 (ANT V/2) July 16 - September 10, 1986“ by Werner Rabe
 - Heft Nr. 41/1988** – „Zur Verbreitung und Ökologie der Seegurken im Weddellmeer (Antarktis)“ von Julian Gutt
 - Heft Nr. 42/1988** – „The zooplankton community in the deep bathyal and abyssal zones of the eastern North Atlantic“ by Werner Beckmann
 - Heft Nr. 43/1988** – „Scientific cruise report of Arctic Expedition ARK IV/3“ Wissenschaftlicher Fahrtbericht der Arktis-Expedition ARK IV/3, compiled by Jörn Thiede
 - Heft Nr. 44/1988** – „Data Report for FV ‚Polarstern‘ Cruise ARK IV/1, 1987 to the Arctic and Polar Fronts“ by Hans-Jürgen Hirche
 - Heft Nr. 45/1988** – „Zoogeographie und Gemeinschaftsanalyse des Makrozoobenthos des Weddellmeeres (Antarktis)“ von Joachim Voß
 - Heft Nr. 46/1988** – „Meteorological and Oceanographic Data of the Winter-Weddell-Sea Project 1986 (ANT V/3)“ by Eberhard Fahrbach
 - Heft Nr. 47/1988** – „Verteilung und Herkunft glazial-mariner Gerölle am Antarktischen Kontinentalrand des östlichen Weddellmeeres“ von Wolfgang Oskierski
 - Heft Nr. 48/1988** – „Variationen des Erdmagnetfeldes an der GvN-Station“ von Arnold Brodscholl
 - **Heft Nr. 49/1988** – „Zur Bedeutung der Lipide im antarktischen Zooplankton“ von Wilhelm Hagen
 - Heft Nr. 50/1988** – „Die gezeitenbedingte Dynamik des Ekström-Schelfeises, Antarktis“ von Wolfgang Kobarg
 - Heft Nr. 51/1988** – „Ökomorphologie nototheniider Fische aus dem Weddellmeer, Antarktis“ von Werner Ekau
 - Heft Nr. 52/1988** – „Zusammensetzung der Bodenfauna in der westlichen Fram-Straße“ von Dieter Piepenburg
 - **Heft Nr. 53/1988** – „Untersuchungen zur Ökologie des Phytoplanktons im südöstlichen Weddellmeer (Antarktis) im Jan./Febr. 1985“ von Eva-Maria Nöthig
 - Heft Nr. 54/1988** – „Die Fischfauna des östlichen und südlichen Weddellmeeres: geographische Verbreitung, Nahrung und trophische Stellung der Fischarten“ von Wiebke Schwarzbach
 - Heft Nr. 55/1988** – „Weight and length data of zooplankton in the Weddell Sea in austral spring 1986 (Ant. V/3)“ by Elke Mizdalski
 - Heft Nr. 56/1989** – „Scientific cruise report of Arctic expeditions ARK IV/1, 2 & 3“ by G. Krause, J. Meinke und J. Thiede

- Heft Nr. 57/1989** – „Die Expedition ANTARKTIS V mit FS ‚Polarstern‘ 1986/87“
Bericht von den Fahrtabschnitten ANT V/4-5 von H. Miller und H. Oerter
- **Heft Nr. 58/1989** – „Die Expedition ANTARKTIS VI mit FS ‚Polarstern‘ 1987/88“
von D. K. Fütterer
 - Heft Nr. 59/1989** – „Die Expedition ARKTIS V/1a, 1b und 2 mit FS ‚Polarstern‘ 1988“
von M. Spindler
 - Heft Nr. 60/1989** – „Ein zweidimensionales Modell zur thermohalinen Zirkulation unter dem Schelfeis“
von H. H. Hellmer
 - Heft Nr. 61/1989** – „Die Vulkanite im westlichen und mittleren Neuschwabenland,
Vestfjella und Ahlmannryggen, Antarktika“ von M. Peters
 - **Heft Nr. 62/1989** – „The Expedition ANTARKTIS VII/1 and 2 (EPOS I) of RV ‚Polarstern‘
in 1988/89“, by I. Hempel
 - Heft Nr. 63/1989** – „Die Eisalgenflora des Weddellmeeres (Antarktis): Artenzusammensetzung und Biomasse
sowie Ökophysiologie ausgewählter Arten“ von Annette Bartsch
 - Heft Nr. 64/1989** – „Meteorological Data of the G.-v.-Neumayer-Station (Antarctica)“ by L. Helmes
 - Heft Nr. 65/1989** – „Expedition Antarktis VII/3 in 1988/89“ by I. Hempel, P. H. Schalk, V. Smetacek
 - Heft Nr. 66/1989** – „Geomorphologisch-glaziologische Detailkartierung
des arid-hochpolaren Borgmassivet, Neuschwabenland, Antarktika“ von Karsten Brunk
 - Heft Nr. 67/1990** – „Identification key and catalogue of larval Antarctic fishes“,
edited by Adolf Kellermann
 - Heft Nr. 68/1990** – „The Expedition Antarktis VII/4 (Epos leg 3) and VII/5 of RV ‚Polarstern‘ in 1989“,
edited by W. Arntz, W. Ernst, I. Hempel
 - Heft Nr. 69/1990** – „Abhängigkeiten elastischer und rheologischer Eigenschaften des Meereises vom
Eisgefüge“, von Harald Hellmann
 - Heft Nr. 70/1990** – „Die beschalten benthischen Mollusken (Gastropoda und Bivalvia) des
Weddellmeeres, Antarktis“, von Stefan Hain
 - Heft Nr. 71/1990** – „Sedimentologie und Paläomagnetik an Sedimenten der Maudkuppe (Nordöstliches
Weddellmeer)“, von Dieter Cordes
 - Heft Nr. 72/1990** – „Distribution and abundance of planktonic copepods (Crustacea) in the Weddell Sea
in summer 1980/81“, by F. Kurbjeweit and S. Ali-Khan
 - Heft Nr. 73/1990** – „Zur Frühdiagenese von organischem Kohlenstoff und Opal in Sedimenten des südlichen
und östlichen Weddellmeeres“, von M. Schlüter
 - Heft Nr. 74/1990** – „Expeditionen ANTARKTIS-VIII/3 und VIII/4 mit FS ‚Polarstern‘ 1989“
von Rainer Gersonde und Gotthilf Hempel
 - Heft Nr. 75/1991** – „Quartäre Sedimentationsprozesse am Kontinentalhang des Süd-Orkey-Plateaus im
nordwestlichen Weddellmeer (Antarktis)“, von Sigrun Grünig
 - Heft Nr. 76/1990** – „Ergebnisse der faunistischen Arbeiten im Benthal von King George Island
(Südshetlandinseln, Antarktis)“, von Martin Rauschert
 - Heft Nr. 77/1990** – „Verteilung von Mikroplankton-Organismen nordwestlich der Antarktischen Halbinsel
unter dem Einfluß sich ändernder Umweltbedingungen im Herbst“, von Heinz Klöser
 - Heft Nr. 78/1991** – „Hochauflösende Magnetostratigraphie spätquartärer Sedimente arktischer
Meeresgebiete“, von Norbert R. Nowaczyk
 - Heft Nr. 79/1991** – „Ökophysiologische Untersuchungen zur Salinitäts- und Temperaturtoleranz
antarktischer Grünalgen unter besonderer Berücksichtigung des β -Dimethylsulfoniumpropionat
(DMSP) - Stoffwechsels“, von Ulf Karsten
 - Heft Nr. 80/1991** – „Die Expedition ARKTIS VII/1 mit FS ‚Polarstern‘ 1990“,
herausgegeben von Jörn Thiede und Gotthilf Hempel
 - Heft Nr. 81/1991** – „Paläoglaziologie und Paläozeanographie im Spätquartär am Kontinentalrand des
südlichen Weddellmeeres, Antarktis“, von Martin Melles
 - Heft Nr. 82/1991** – „Quantifizierung von Meereseigenschaften: Automatische Bildanalyse von
Dünnschnitten und Parametrisierung von Chlorophyll- und Salzgehaltsverteilungen“, von Hajo Eicken
 - Heft Nr. 83/1991** – „Das Fließen von Schelfeisen - numerische Simulationen
mit der Methode der finiten Differenzen“, von Jürgen Determann
 - Heft Nr. 84/1991** – „Die Expedition ANTARKTIS-VIII/1-2, 1989 mit der Winter Weddell Gyre Study
der Forschungsschiffe ‚Polarstern‘ und ‚Akademik Fedorov‘“, von Ernst Augstein,
Nikolai Bagriantsev und Hans Werner Schenke
 - Heft Nr. 85/1991** – „Zur Entstehung von Unterwassereis und das Wachstum und die Energiebilanz
des Meereises in der Atka Bucht, Antarktis“, von Josef Kipfstuhl
 - Heft Nr. 86/1991** – „Die Expedition ANTARKTIS-VIII mit FS ‚Polarstern‘ 1989/90. Bericht vom
Fahrtabschnitt ANT-VIII/5“, von Heinz Miller und Hans Oerter
 - Heft Nr. 87/1991** – „Scientific cruise reports of Arctic expeditions ARK VII/1-4 of RV ‚Polarstern‘
in 1989“, edited by G. Krause, J. Meincke & H. J. Schwarz
 - Heft Nr. 88/1991** – „Zur Lebensgeschichte dominanter Copepodenarten (*Calanus finmarchicus*,
C. glacialis, *C. hyperboreus*, *Metridia longa*) in der Framstraße“, von Sabine Diehl

- Heft Nr. 89/1991** – „Detaillierte seismische Untersuchungen am östlichen Kontinentalrand des Weddell-Meeress vor Kapp Norvegia, Antarktis“, von Norbert E. Kaul
- Heft Nr. 90/1991** – „Die Expedition ANTARKTIS-VIII mit FS ‚Polarstern‘ 1989/90. Bericht von den Fahrabschnitten ANT-VIII/6-7“, herausgegeben von Dieter Karl Fütterer und Otto Schrems
- Heft Nr. 91/1991** – „Blood physiology and ecological consequences in Weddell Sea fishes (Antarctica)“, by Andreas Kunzmann
- Heft Nr. 92/1991** – „Zur sommerlichen Verteilung des Mesozooplanktons im Nansen-Becken, Nordpolarmeer“, von Nicolai Mumm
- Heft Nr. 93/1991** – „Die Expedition ARKTIS VII mit FS ‚Polarstern‘, 1990. Bericht vom Fahrabschnitt ARK VII/2“, herausgegeben von Gunther Krause
- Heft Nr. 94/1991** – „Die Entwicklung des Phytoplanktons im östlichen Weddellmeer (Antarktis) beim Übergang vom Spätwinter zum Frühjahr“, von Renate Scharek
- Heft Nr. 95/1991** – „Radioisotopenstratigraphie, Sedimentologie und Geochemie jungquartärer Sedimente des östlichen Arktischen Ozeans“, von Horst Bohrmann
- Heft Nr. 96/1991** – „Holozäne Sedimentationsentwicklung im Scoresby Sund, Ost-Grönland“, von Peter Marienfeld
- Heft Nr. 97/1991** – „Strukturelle Entwicklung und Abkühlungsgeschichte von Heimelfrontfjella (Westliches Dronning Maud Land/Antarktika)“, von Joachim Jacobs
- Heft Nr. 98/1991** – „Zur Besiedlungsgeschichte des antarktischen Schelfeis am Beispiel der Isopoda (Crustacea, Malacostraca)“, von Angelika Brandt
- Heft Nr. 99/1992** – „The Antarctic ice sheet and environmental change: a three-dimensional modelling study“, by Philippe Huybrechts
- **Heft Nr. 100/1992** – „Die Expeditionen ANTARKTIS IX/1-4 des Forschungsschiffes ‚Polarstern‘ 1990/91“ herausgegeben von Ulrich Bathmann, Meinhard Schulz-Baldes, Eberhard Fahrbach, Victor Smetacek und Hans-Wolfgang Hubberten
 - Heft Nr. 101/1992** – „Wechselbeziehungen zwischen Schwermetallkonzentrationen (Cd, Cu, Pb, Zn) im Meerwasser und in Zooplanktonorganismen (Copepoda) der Arktis und des Atlantiks“, von Christa Pohl
 - Heft Nr. 102/1992** – „Physiologie und Ultrastruktur der antarktischen Grünalge *Prasiola crassa* ssp. *antarctica* unter osmotischem Stress und Austrocknung“, von Andreas Jacob
 - Heft Nr. 103/1992** – „Zur Ökologie der Fische im Weddellmeer“, von Gerd Hubold
 - Heft Nr. 104/1992** – „Mehrkanaulige adaptive Filter für die Unterdrückung von multiplen Reflexionen in Verbindung mit der freien Oberfläche in marinen Seismogrammen“, von Andreas Rosenberger
 - Heft Nr. 105/1992** – „Radiation and Eddy Flux Experiment 1991 (REFLEX I)“, von Jörg Hartmann, Christoph Koltmeier und Christian Wamser
 - Heft Nr. 106/1992** – „Ostracoden im Epipelagial vor der Antarktischen Halbinsel - ein Beitrag zur Systematik sowie zur Verbreitung und Populationsstruktur unter Berücksichtigung der Saisonalität“, von Rüdiger Kock
 - Heft Nr. 107/1992** – „ARCTIC '91: Die Expedition ARK-VIII/3 mit FS ‚Polarstern‘ 1991“, von Dieter K. Fütterer
 - Heft Nr. 108/1992** – „Dehnungsbeben an einer Störungszone im Ekström-Schelfeis nördlich der Georg-von-Neumayer-Station, Antarktis. – Eine Untersuchung mit seismologischen und geodätischen Methoden“, von Uwe Nixdorf.
 - Heft Nr. 109/1992** – „Spätquartäre Sedimentation am Kontinentalrand des südöstlichen Weddellmeeres, Antarktis“, von Michael Weber.
 - Heft Nr. 110/1992** – „Sedimentfazies und Bodenwasserstrom am Kontinentalhang des norwestlichen Weddellmeeres“, von Isa Brehme.
 - Heft Nr. 111/1992** – „Die Lebensbedingungen in den Solekanälchen des antarktischen Meerereises“, von Jürgen Weissenberger.
 - Heft Nr. 112/1992** – „Zur Taxonomie von rezenten benthischen Foraminiferen aus dem Nansen Becken, Arktischer Ozean“, von Jutta Wollenburg.
 - Heft Nr. 113/1992** – „Die Expedition ARKTIS VIII/1 mit FS ‚Polarstern‘ 1991“, herausgegeben von Gerhard Kattner.
 - **Heft Nr. 114/1992** – „Die Gründungsphase deutscher Polarforschung, 1865 - 1875“, von Reinhard A. Krause.
 - Heft Nr. 115/1992** – „Scientific Cruise Report of the 1991 Arctic Expedition ARK VIII/2 of RV ‚Polarstern‘ (EPOS II)“, by Eike Racher.
 - Heft Nr. 116/1992** – „The Meteorological Data of the Georg-von-Neumayer-Station (Antarctica) for 1988, 1989, 1990 and 1991“, by Gert König-Langlo.
 - Heft Nr. 117/1992** – „Petrogenese des metamorphen Grundgebirges der zentralen Heimelfrontfjella (westliches Dronning Maud Land / Antarktis)“, von Peter Schulze.
 - Heft Nr. 118/1993** – „Die mafischen Gänge der Shackleton Range / Antarktika: Petrographie, Geochemie, Isotopengeochemie und Paläomagnetik“, von Rüdiger Hotten.
 - **Heft Nr. 119/1993** – „Gefrierschutz bei Fischen der Polarmeere“, von Andreas P. A. Wöhrmann.
 - **Heft Nr. 120/1993** – „East Siberian Arctic Region Expedition '92: The Laptev Sea - its Significance for Arctic Sea-Ice Formation and Transpolar Sediment Flux“, by D. Dethleff, D. Nürnberg, E. Reimnitz, M. Saarlo and Y. P. Sacchenko. – „Expedition to Novaja Zemlja and Franz Josef Land with RV ‚Dalnie Zelentsy‘“, by D. Nürnberg and E. Groth.

- **Heft Nr. 121/1993** – „Die Expedition ANTARKTIS X/3 mit FS ‚Polarstern‘ 1992“, herausgegeben von Michael Spindler, Gerhard Dieckmann und David Thomas
- Heft Nr. 122/1993** – „Die Beschreibung der Korngestalt mit Hilfe der Fourier-Analyse: Parametrisierung der morphologischen Eigenschaften von Sedimentpartikeln“, von Michael Diepenbroek
- **Heft Nr. 123/1993** – „Zerstörungsfreie hochauflösende Dichteuntersuchungen mariner Sedimente“, von Sebastian Gerland
- Heft Nr. 124/1993** – „Umsatz und Verteilung von Lipiden in arktischen marinen Organismen unter besonderer Berücksichtigung unterer trophischer Stufen“, von Martin Graeve
- Heft Nr. 125/1993** – „Ökologie und Respiration ausgewählter arktischer Bodenfischarten“, von Christian F. von Dorrien
- Heft Nr. 126/1993** – „Quantitative Bestimmung von Paläoumweltparametern des Antarktischen Oberflächenwassers im Spätquartier anhand von Transferfunktionen mit Diatomeen“, von Ulrich Zielinski
- Heft Nr. 127/1993** – „Sedimenttransport durch das arktische Meereis: Die rezente lithogene und biogene Materialfracht“, von Ingo Wollenburg
- Heft Nr. 128/1993** – „Cruise ANTARKTIS X/3 of RV ‚Polarstern‘: CTD-Report“, von Marek Zwierz
- Heft Nr. 129/1993** – „Reproduktion und Lebenszyklen dominanter Copepodenarten aus dem Weddellmeer, Antarktis“, von Frank Kurbjeweit
- Heft Nr. 130/1993** – „Untersuchungen zu Temperaturregime und Massenhaushalt des Filchner-Ronne-Schelfeises, Antarktis, unter besonderer Berücksichtigung von Anfrrier- und Abschmelzprozessen“, von Klaus Grosfeld
- Heft Nr. 131/1993** – „Die Expedition ANTARKTIS X/5 mit FS ‚Polarstern‘ 1992“, herausgegeben von Rainer Gersonde
- Heft Nr. 132/1993** – „Bildung und Abgabe kurzketziger halogenierter Kohlenwasserstoffe durch Makroalgen der Polarregionen“, von Frank Laturnus
- Heft Nr. 133/1994** – „Radiation and Eddy Flux Experiment 1993 (REFLEX II)“, by Christoph Koltmeier, Jörg Hartmann, Christian Wamser, Axel Bocherl, Christof Lüpkes, Dietmar Freese and Wolfgang Cohrs
- **Heft Nr. 134/1994** – „The Expedition ARKTIS-IX/1“, edited by Hajo Eicken and Jens Meincke
- Heft Nr. 135/1994** – „Die Expeditionen ANTARKTIS X/6-8“, herausgegeben von Ulrich Bathmann, Victor Smetacek, Hein de Baar, Eberhard Fahrbach und Gunter Krause
- Heft Nr. 136/1994** – „Untersuchungen zur Ernährungsökologie von Kaiserpinguinen (*Aptenodytes forsteri*) und Königspinguinen (*Aptenodytes patagonicus*)“, von Klemens Pütz
- **Heft Nr. 137/1994** – „Die kanozoische Vereisungsgeschichte der Antarktis“, von Werner U. Ehrmann
- Heft Nr. 138/1994** – „Untersuchungen stratosphärischer Aerosole vulkanischen Ursprungs und polarer stratosphärischer Wolken mit einem Mehrwellenlängen-Lidar auf Spitzbergen (79° N, 12° E)“, von Georg Beyerle
- Heft Nr. 139/1994** – „Charakterisierung der Isopodenfauna (Crustacea, Malacostraca) des Scotia-Bogens aus biogeographischer Sicht: Ein multivariater Ansatz“, von Holger Winkler
- Heft Nr. 140/1994** – „Die Expedition ANTARKTIS X/4 mit FS ‚Polarstern‘ 1992“, herausgegeben von Peter Lemke
- Heft Nr. 141/1994** – „Satellitenaltimetrie über Eis – Anwendung des GEOSAT-Altimeters über dem Ekströmisen, Antarktis“, von Clemens Heidland
- Heft Nr. 142/1994** – „The 1993 Northeast Water Expedition. Scientific cruise report of RV ‚Polarstern‘ Arctic cruises ARK IX/2 and 3, USCG ‚Polar Bear‘ cruise NEWP and the NEWLAND expedition“, edited by Hans-Jürgen Hirche and Gerhard Kattner
- Heft Nr. 143/1994** – „Detaillierte refraktionsseismische Untersuchungen im inneren Scoresby Sund Ost-Grönland“, von Notker Fechner
- Heft Nr. 144/1994** – „Russian-German Cooperation in the Siberian Shelf Seas: Geo-System Laptev Sea“, edited by Heidemarie Kassens, Hans-Wolfgang Hubberten, Sergey M. Pryamikov and Rüdiger Stein
- **Heft Nr. 145/1994** – „The 1993 Northeast Water Expedition. Data Report of RV ‚Polarstern‘ Arctic Cruises IX/2 and 3“, edited by Gerhard Kattner and Hans-Jürgen Hirche
- Heft Nr. 146/1994** – „Radiation Measurements at the German Antarctic Station Neumayer 1982 - 1992“, by Torsten Schmidt and Gerd König-Langlo
- Heft Nr. 147/1994** – „Krustenstrukturen und Verlauf des Kontinentalrandes im Weddell-See / Antarktis“, von Christian Hübscher
- Heft Nr. 148/1994** – „The expeditions NORILSK/TAYMYR 1993 and BUNGER OASIS 1993/94 of the AWI Research Unit Potsdam“, edited by Martin Melles
- **Heft Nr. 149/1994** – „Die Expedition ARCTIC '93. Der Fahrtabschnitt ARK-IX/4 mit FS ‚Polarstern‘ 1993“, herausgegeben von Dieter K. Fütterer
- Heft Nr. 150/1994** – „Der Energiebedarf der Pygoscelis-Pinguine: eine Synopse“, von Boris M. Culik
- Heft Nr. 151/1994** – „Russian-German Cooperation: The Transdrift 1 Expedition to the Laptev Sea“, edited by Heidemarie Kassens and Valeriy Y. Karpiy
- Heft Nr. 152/1994** – „Die Expedition ANTARKTIS-X mit FS ‚Polarstern‘ 1992. Bericht von den Fahrtabschnitten / ANT-X / 1a und 2“, herausgegeben von Heinz Miller
- Heft Nr. 153/1994** – „Aminosäuren und Huminstoffe im Stickstoffkreislauf polarer Meere“, von Ulrike Hubberten
- Heft Nr. 154/1994** – „Regional and seasonal variability in the vertical distribution of mesozooplankton in the Greenland Sea“, by Claudio Richter

- Heft Nr. 155/1995** – „Benthos in polaren Gewässern“, herausgegeben von Christian Wiencke und Wolf Arntz.
- Heft Nr. 156/1995** – „An adjoint model for the determination of the mean oceanic circulation, air-sea fluxes and mixing coefficients“, by Reiner Schlitzer.
- Heft Nr. 157/1995** – „Biochemische Untersuchungen zum Lipidstoffwechsel antarktischer Copepoden“, von Kirsten Fahl.
- **Heft Nr. 158/1995** – „Die Deutsche Polarforschung seit der Jahrhundertwende und der Einfluß Erich von Drygalskis“, von Cornelia Lüdecke.
- Heft Nr. 159/1995** – „The distribution of $\delta^{18}\text{O}$ in the Arctic Ocean: Implications for the freshwater balance of the halocline and the sources of deep and bottom waters“, by Dorothea Bauch.
- **Heft Nr. 160/1995** – „Rekonstruktion der spätquartären Tiefenwasserzirkulation und Produktivität im östlichen Südatlantik anhand von benthischen Foraminiferenvergesellschaftungen“, von Gerhard Schmiedl.
- Heft Nr. 161/1995** – „Der Einfluß von Salinität und Lichtintensität auf die Osmolytkonzentrationen, die Zellvolumina und die Wachstumsraten der antarktischen Eisdiatomeen *Chaetoceros sp.* und *Navicula sp.* unter besonderer Berücksichtigung der Aminosäure Prolin“, von Jürgen Nothnagel.
- Heft Nr. 162/1995** – „Meerestransportiertes lithogenes Feinmaterial in spätquartären Tiefseesedimenten des zentralen östlichen Arktischen Ozeans und der Framstraße“, von Thomas Letzig.
- Heft Nr. 163/1995** – „Die Expedition ANTARKTIS-XI/2 mit FS ‚Polarstern‘ 1993/94“, herausgegeben von Rainer Gersonde.
- Heft Nr. 164/1995** – „Regionale und altersabhängige Variation gesteinsmagnetischer Parameter in marinen Sedimenten der Arktis“, von Thomas Frederichs.
- Heft Nr. 165/1995** – „Vorkommen, Verteilung und Umsatz biogener organischer Spurenstoffe: Sterole in antarktischen Gewässern“, von Georg Hanke.
- Heft Nr. 166/1995** – „Vergleichende Untersuchungen eines optimierten dynamisch-thermodynamischen Meereismodells mit Beobachtungen im Weddellmeer“, von Holger Fischer.
- Heft Nr. 167/1995** – „Rekonstruktionen von Paläo-Umweltparametern anhand von stabilen Isotopen und Faunen-Vergesellschaftungen planktischer Foraminiferen im Südatlantik“, von Hans-Stefan Niebler
- Heft Nr. 168/1995** – „Die Expedition ANTARKTIS XII mit FS ‚Polarstern‘ 1993/94. Bericht von den Fahrtabschnitten ANT XII/1 und 2“, herausgegeben von Gerhard Kattner und Dieter Karl Fütterer
- Heft Nr. 169/1995** – „Medizinische Untersuchung zur Circadianrhythmik und zum Verhalten bei Überwinterern auf einer antarktischen Forschungsstation“, von Hans Wortmann
- Heft-Nr. 170/1995** – DFG-Kolloquium: Terrestrische Geowissenschaften – Geologie und Geophysik der Antarktis.
- Heft Nr. 171/1995** – „Strukturentwicklung und Petrogenese des metamorphen Grundgebirges der nördlichen Heimfrontjella (westliches Dronning Maud Land/Antarktika)“, von Wilfried Bauer.
- Heft Nr. 172/1995** – „Die Struktur der Erdkruste im Bereich des Scoresby Sund, Ostgrönland: Ergebnisse refraktionsseismischer und gravimetrischer Untersuchungen“, von Holger Mandler.
- Heft Nr. 173/1995** – „Paläozoische Akkretion am paläopazifischen Kontinentalrand der Antarktis in Nordvictorialand – P-T-D-Geschichte und Deformationsmechanismen im Bowers Terrane“, von Stefan Matzer.
- Heft Nr. 174/1995** – „The Expedition ARKTIS-X/2 of RV ‚Polarstern‘ in 1994“, edited by Hans-W. Hubberten
- Heft Nr. 175/1995** – „Russian-German Cooperation: The Expedition TAYMYR 1994“, edited by Christine Slegert and Gmitry Bolshiyayov.
- Heft Nr. 176/1995** – „Russian-German Cooperation: Laptev Sea System“, edited by Heidemarie Kassens, Dieter Piepenburg, Jörn Thiede, Leonid Timokhov, Hans-Wolfgang Hubberten and Sergey M. Priamikov.
- Heft Nr. 177/1995** – „Organischer Kohlenstoff in spätquartären Sedimenten des Arktischen Ozeans: Terrigener Eintrag und marine Produktivität“, von Carsten J. Schubert
- Heft Nr. 178/1995** – „Cruise ANTARKTIS XII/4 of RV ‚Polarstern‘ in 1995: CTD-Report“, by Jüri Sildam.
- Heft Nr. 179/1995** – „Benthische Foraminiferenfaunen als Wassermassen-, Produktions- und Eisdriftanzeiger im Arktischen Ozean“, von Jutta Wollenburg.
- Heft Nr. 180/1995** – „Biogenopal und biogenes Barium als Indikatoren für spätquartäre Produktivitätsänderungen am antarktischen Kontinentalhang, atlantischer Sektor“, von Wolfgang J. Bonn.
- Heft Nr. 181/1995** – „Die Expedition ARKTIS X/1 des Forschungsschiffes ‚Polarstern‘ 1994“, herausgegeben von Eberhard Fahrbach.
- Heft Nr. 182/1995** – „Laptev Sea System: Expeditions in 1994“, edited by Heidemarie Kassens.
- Heft Nr. 183/1996** – „Interpretation digitaler Parasound Echolotaufzeichnungen im östlichen Arktischen Ozean auf der Grundlage physikalischer Sedimenteigenschaften“, von Uwe Bergmann.
- Heft Nr. 184/1996** – „Distribution and dynamics of inorganic nitrogen compounds in the troposphere of continental, coastal, marine and Arctic areas“, by Maria Dolores Andrés Hernández.
- Heft Nr. 185/1996** – „Verbreitung und Lebensweise der Aphroditen und Polynoiden (Polychaeta) im östlichen Weddellmeer und im Lazarevmeer (Antarktis)“, von Michael Stiller.
- Heft Nr. 186/1996** – „Reconstruction of Late Quaternary environmental conditions applying the natural radionuclides ^{232}Th , ^{10}Be , ^{231}Pa and ^{238}U : A study of deep-sea sediments from the eastern sector of the Antarctic Circumpolar Current System“, by Martin Frank.
- Heft Nr. 187/1996** – „The Meteorological Data of the Neumayer Station (Antarctica) for 1992, 1993 and 1994“, by Gert König-Langlo and Andreas Herber.
- Heft Nr. 188/1996** – „Die Expedition ANTARKTIS-XI/3 mit FS ‚Polarstern‘ 1994“, herausgegeben von Heinz Miller und Hannes Grobe.
- Heft Nr. 189/1996** – „Die Expedition ARKTIS-VII/3 mit FS ‚Polarstern‘ 1990“, herausgegeben von Heinz Miller und Hannes Grobe

- Heft Nr. 190/1996** – "Cruise report of the Joint Chilean-German-Italian Magellan 'Victor Hensen' Campaign in 1994", edited by Wolf Arntz and Matthias Gorny.
- Heft Nr. 191/1996** – „Leitfähigkeits- und Dichtemessung an Eisbohrkernen“, von Frank Wilhelms.
- Heft Nr. 192/1996** – „Photosynthese-Charakteristika und Lebensstrategie antarktischer Makroalgen“, von Gabriele Weykam.
- Heft Nr. 193/1996** – „Heterogene Reaktionen von N_2O_5 und HBr und ihr Einfluß auf den Ozonabbau in der polaren Stratosphäre“, von Sabine Seisel.
- Heft Nr. 194/1996** – „Ökologie und Populationsdynamik antarktischer Ophiuroiden (Echinodermata)“, von Corinna Dahm.
- Heft Nr. 195/1996** – „Die planktische Foraminifere *Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg) im Weddellmeer, Antarktis“, von Doris Berberich.
- Heft Nr. 196/1996** – „Untersuchungen zum Beitrag chemischer und dynamischer Prozesse zur Variabilität des stratosphärischen Ozons über der Arktis“, von Birgit Heese.
- Heft Nr. 197/1996** – "The Expedition ARKTIS-XI/2 of 'Polarstern' in 1995", edited by Gunther Krause.
- Heft Nr. 198/1996** – „Geodynamik des Westantarktischen Riftsystems basierend auf Apatit-Spaltspuranalysen“, von Frank Lisker.
- Heft Nr. 199/1996** – "The 1993 Northeast Water Expedition. Data Report on CTD Measurements of RV 'Polarstern' Cruises ARKTIS IX/2 and 3", by Gerion Budéus and Wolfgang Schneider.
- Heft Nr. 200/1996** – "Stability of the Thermohaline Circulation in analytical and numerical models", by Gerrit Lohmann.
- Heft Nr. 201/1996** – „Trophische Beziehungen zwischen Makroalgen und Herbivoren in der Potter Cove (King George-Insel, Antarktis)“, von Katrin Iken.
- Heft Nr. 202/1996** – „Zur Verbreitung und Respiration ökologisch wichtiger Bodentiere in den Gewässern um Svalbard (Arktis)“, von Michael K. Schmid.
- Heft Nr. 203/1996** – „Dynamik, Rauigkeit und Alter des Meereises in der Arktis – Numerische Untersuchungen mit einem großskaligen Modell“, von Markus Harder.
- Heft Nr. 204/1996** – „Zur Parametrisierung der stabilen atmosphärischen Grenzschicht über einem antarktischen Schelfeis“, von Dörthe Handorf.
- Heft Nr. 205/1996** – "Textures and fabrics in the GRIP ice core, in relation to climate history and ice deformation", by Thorsteinn Thorsteinsson.
- Heft Nr. 206/1996** – „Der Ozean als Teil des gekoppelten Klimasystems: Versuch der Rekonstruktion der glazialen Zirkulation mit verschiedenen komplexen Atmosphärenkomponenten“, von Kerstin Fieg.
- Heft Nr. 207/1996** – „Lebensstrategien dominanter antarktischer Oithonidae (Cyclopoida, Copepoda) und Oncaeidae (Poecilostomatoida, Copepoda) im Bellingshausenmeer“, von Cornelia Metz.
- Heft Nr. 208/1996** – „Atmosphäreneinfluß bei der Fernerkundung von Meereis mit passiven Mikrowellenradiometern“, von Christoph Oelke.
- Heft Nr. 209/1996** – „Klassifikation von Radarsatellitendaten zur Meereiserkennung mit Hilfe von Line-Scanner-Messungen“, von Axel Bochert.
- Heft Nr. 210/1996** – „Die mit ausgewählten Schwämmen (Hexactinellida und Demospongiae) aus dem Weddellmeer, Antarktis, vergesellschaftete Fauna“, von Kathrin Kunzmann.
- Heft Nr. 211/1996** – "Russian-German Cooperation: The Expedition TAYMYR 1995 and the Expedition KOLYMA 1995", by Dima Yu. Bolshiyarov and Hans-W. Hubberten.
- Heft Nr. 212/1996** – "Surface-sediment composition and sedimentary processes in the central Arctic Ocean and along the Eurasian Continental Margin", by Ruediger Stein, Gennadij I. Ivanov, Michael A. Levitan, and Kirsten Fahl.
- Heft Nr. 213/1996** – „Gonadenentwicklung und Eiproduktion dreier *Calanus*-Arten (Copepoda): Freilandbeobachtungen, Histologie und Experimente“, von Barbara Niehoff.
- Heft Nr. 214/1996** – „Numerische Modellierung der Übergangszone zwischen Eisschild und Eisschelf“, von Christoph Mayer.
- Heft Nr. 215/1996** – „Arbeiten der AWI-Forschungsstelle Potsdam in Antarktika, 1994/95“, herausgegeben von Ulrich Wand.
- Heft Nr. 216/1996** – „Rekonstruktion quartärer Klimaänderungen im atlantischen Sektor des Südpolarmeeres anhand von Radiolarien“, von Uta Brathauer.
- Heft Nr. 217/1996** – „Adaptive Semi-Lagrange-Finite-Elemente-Methode zur Lösung der Flachwassergleichungen: Implementierung und Parallelisierung“, von Jörn Behrens.
- Heft Nr. 218/1997** – "Radiation and Eddy Flux Experiment 1995 (REFLEX III)", by Jörg Hartmann, Axel Bochert, Dietmar Freese, Christoph Kottmeier, Dagmar Nagel and Andreas Reuter.
- Heft Nr. 219/1997** – „Die Expedition ANTARKTIS-XII mit FS 'Polarstern' 1995. Bericht vom Fahrtabschnitt ANT-XII/3, herausgegeben von Wilfried Jokat und Hans Oerter.
- Heft Nr. 220/1997** – „Ein Beitrag zum Schwerefeld im Bereich des Weddellmeeres, Antarktis. Nutzung von Altimetermessungen des GEOSAT und ERS-1“, von Tilo Schöne.
- Heft Nr. 221/1997** – „Die Expeditionen ANTARKTIS-XIII/1-2 des Forschungsschiffes 'Polarstern' 1995/96“, herausgegeben von Ulrich Bathmann, Mike Lukas und Victor Smetacek.
- Heft Nr. 222/1997** – "Tectonic Structures and Glaciomarine Sedimentation in the South-Eastern Weddell Sea from Seismic Reflection Data", by László Oszkó.

Heft Nr. 223/1997 – „Bestimmung der Meereisdicke mit seismischen und elektromagnetisch-induktiven Verfahren“, von Christian Haas.

Heft Nr. 224/1997 – „Troposphärische Ozonvariationen in Polarregionen“, von Silke Wessel.

Heft Nr. 225/1997 – „Biologische und ökologische Untersuchungen zur kryptelagischen Amphipodenfauna des arktischen Meereises“, von Michael Poltermann.

Heft Nr. 226/1997 – „Scientific Cruise Report of the Arctic Expedition ARK-XI/1 of RV 'Polarstern' in 1995“, edited by Eike Rachor.

Heft Nr. 227/1997 – „Der Einfluß kompatibler Substanzen und Kryoprotektoren auf die Enzyme Malatdehydrogenase (MDH) und Glucose-6-phosphat-Dehydrogenase (G6P-DH) aus *Acrosiphonia arcta* (Chlorophyta) der Arktis“, von Katharina Kück.

Heft Nr. 228/1997 – „Die Verbreitung epibenthischer Mollusken im chilenischen Beagle-Kanal“, von Katrin Linse.

Heft Nr. 229/1997 – „Das Mesozooplankton im Laptevmeer und östlichen Nansen-Becken - Verteilung und Gemeinschaftsstrukturen im Spätsommer“, von Hinrich Hanssen.

Heft Nr. 230/1997 – „Modell eines adaptierbaren, rechnergestützten, wissenschaftlichen Arbeitsplatzes am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung“, von Lutz-Peter Kurdelski.

Heft Nr. 231/1997 – „Zur Ökologie arktischer und antarktischer Fische: Aktivität, Sinnesleistungen und Verhalten“, von Christopher Zimmermann.

Heft Nr. 232/1997 – „Persistente chlororganische Verbindungen in hochantarktischen Fischen“, von Stephan Zimmermann.

Heft Nr. 233/1997 – „Zur Ökologie des Dimethylsulfoniumpropionat (DMSP)-Gehaltes temperierter und polarer Phytoplanktongemeinschaften im Vergleich mit Laborkulturen der Coccolithophoride *Emiliania huxleyi* und der antarktischen Diatomee *Nitzschia lecontei*“, von Doris Meyerdieter.

Heft Nr. 234/1997 – „Die Expedition ARCTIC '96 des FS 'Polarstern' (ARK XIII) mit der Arctic Climate System Study (ACSYS)“, von Ernst Augstein und den Fahrteilnehmern.

Heft Nr. 235/1997 – „Polonium-210 und Blei-210 im Südpolarmeer: Natürliche Tracer für biologische und hydrographische Prozesse im Oberflächenwasser des Antarktischen Zirkumpolarstroms und des Weddellmeeres“, von Jana Friedrich.

Heft Nr. 236/1997 – „Determination of atmospheric trace gas amounts and corresponding natural isotopic ratios by means of ground-based FTIR spectroscopy in the high Arctic“, by Arndt Meier.

Heft Nr. 237/1997 – „Russian-German Cooperation: The Expedition TAYMYR/SEVERNAYA ZEMLYA 1996“, edited by Martin Melles, Birgit Hagedorn and Dmitri Yu. Bolshiyonov.

Heft Nr. 238/1997 – „Life strategy and ecophysiology of Antarctic macroalgae“, by Iván M. Gómez.

Heft Nr. 239/1997 – „Die Expedition ANTARKTIS XIII/4-5 des Forschungsschiffes 'Polarstern' 1996“, herausgegeben von Eberhard Fahrback und Dieter Gerdes.

Heft Nr. 240/1997 – „Untersuchungen zur Chrom-Speziation in Meerwasser, Meereis und Schnee aus ausgewählten Gebieten der Arktis“, von Heide Giese.

Heft Nr. 241/1997 – „Late Quaternary glacial history and paleoceanographic reconstructions along the East Greenland continental margin: Evidence from high-resolution records of stable isotopes and ice-rafted debris“, by Seung-Il Nam.

Heft Nr. 242/1997 – „Thermal, hydrological and geochemical dynamics of the active layer at a continuous permafrost site, Taymyr Peninsula, Siberia“, by Julia Boike.

Heft Nr. 243/1997 – „Zur Paläoozeanographie hoher Breiten: Stellvertreterdaten aus Foraminiferen“, von Andreas Mackensen.

Heft Nr. 244/1997 – „The Geophysical Observatory at Neumayer Station, Antarctica, Geomagnetic and seismological observations in 1995 and 1996“, by Alfons Eckstaller, Thomas Schmidt, Viola Graw, Christian Müller and Johannes Rogenhagen.

Heft Nr. 245/1997 – „Temperaturbedarf und Biogeographie mariner Makroalgen - Anpassung mariner Makroalgen an tiefe Temperaturen“, von Bettina Bischoff-Bäsmann.

Heft Nr. 246/1997 – „Ökologische Untersuchungen zur Fauna des arktischen Meereises“, von Christine Friedrich.

Heft Nr. 247/1997 – „Entstehung und Modifizierung von marinen gelösten organischen Substanzen“, von Berit Kirchoff.

Heft Nr. 248/1997 – „Laptev Sea System: Expeditions in 1995“, edited by Heidemarie Kassens.

Heft Nr. 249/1997 – „The Expedition ANTARKTIS XIII/3 (EASIZ I) of RV 'Polarstern' to the eastern Weddell Sea in 1996“, edited by Wolf Arntz and Julian Gutt.

Heft Nr. 250/1997 – „Vergleichende Untersuchungen zur Ökologie und Biodiversität des Mega-Epibenthos der Arktis und Antarktis“, von Adreas Starmans.

Heft Nr. 251/1997 – „Zeitliche und räumliche Verteilung von Mineralvergesellschaftungen in spätquartären Sedimenten des Arktischen Ozeans und ihre Nützlichkeit als Klimaindikatoren während der Glazial/Interglazial-Wechsel“, von Christoph Vogt.

Heft Nr. 252/1997 – „Solitäre Ascidien in der Potter Cove (King George Island, Antarktis). Ihre ökologische Bedeutung und Populationsdynamik“, von Stephan Kühne.

Heft Nr. 253/1997 – „Distribution and role of microprotozoa in the Southern Ocean“, by Christine Klaas.

Heft Nr. 254/1997 – „Die spätquartäre Klima- und Umweltgeschichte der Bungee-Oase, Ostantarktis“, von Thomas Kulbe.

- Heft Nr. 255/1997** – "Scientific Cruise Report of the Arctic Expedition ARK-XIII/2 of RV 'Polarstern' in 1997", edited by Ruediger Stein and Kirsten Fahl.
- Heft Nr. 256/1998** – „Das Radionuklid Tritium im Ozean: Meßverfahren und Verteilung von Tritium im Südatlantik und im Weddellmeer“, von Jürgen Sültenfuß.
- Heft Nr. 257/1998** – „Untersuchungen der Saisonalität von atmosphärischem Dimethylsulfid in der Arktis und Antarktis“, von Christoph Kleefeld.
- Heft Nr. 258/1998** – „Bellingshausen- und Amundsenmeer: Entwicklung eines Sedimentationsmodells“, von Frank-Oliver Nitsche.
- Heft Nr. 259/1998** – "The Expedition ANTARKTIS-XIV/4 of RV 'Polarstern' in 1997", by Dieter K. Fütterer.
- Heft Nr. 260/1998** – „Die Diatomeen der Laptevsee (Arktischer Ozean): Taxonomie und biogeographische Verbreitung“, von Holger Cremer.
- Heft Nr. 261/1998** – „Die Krustenstruktur und Sedimentdecke des Eurasischen Beckens, Arktischer Ozean: Resultate aus seismischen und gravimetrischen Untersuchungen“, von Estella Weigelt.
- Heft Nr. 262/1998** – "The Expedition ARKTIS-XIII/3 of RV 'Polarstern' in 1997", by Gunther Krause.
- Heft Nr. 263/1998** – „Thermo-tektonische Entwicklung von Oates Land und der Shackleton Range (Antarktis) basierend auf Spaltspuranalysen“, von Thorsten Schäfer.
- Heft Nr. 264/1998** – „Messungen der stratosphärischen Spurengase ClO, HCl, O₃, N₂O, H₂O und OH mittels flugzeuggetragener Submillimeterwellen-Radiometrie“, von Joachim Urban.
- Heft Nr. 265/1998** – „Untersuchungen zu Massenhaushalt und Dynamik des Ronne Ice Shelves, Antarktis“, von Astrid Lambrecht.
- Heft Nr. 266/1998** – "Scientific Cruise Report of the Kara Sea Expedition of RV 'Akademic Boris Petrov' in 1997", edited by Jens Matthiessen and Oleg Stepanets.
- Heft Nr. 267/1998** – „Die Expedition ANTARKTIS-XIV mit FS ‚Polarstern‘ 1997. Bericht vom Fahrtabschnitt ANT-XIV/3“, herausgegeben von Wilfried Jokat und Hans Oerter.
- Heft Nr. 268/1998** – „Numerische Modellierung der Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Meereis in der arktischen Eisrandzone“, von Gerit Birnbaum.
- Heft Nr. 269/1998** – "Katabatic wind and Boundary Layer Front Experiment around Greenland (KABEG '97)", by Günther Heinemann.
- Heft Nr. 270/1998** – "Architecture and evolution of the continental crust of East Greenland from integrated geophysical studies", by Vera Schlindwein.
- Heft Nr. 271/1998** – "Winter Expedition to the Southwestern Kara Sea - Investigations on Formation and Transport of Turbid Sea-Ice", by Dirk Dethleff, Per Loewe, Dominik Weiel, Hartmut Nies, Gesa Kuhlmann, Christian Bahe and Gennady Tarasov.
- Heft Nr. 272/1998** – „FTIR-Emissionsspektroskopische Untersuchungen der arktischen Atmosphäre“, von Edo Becker.
- Heft Nr. 273/1998** – „Sedimentation und Tektonik im Gebiet des Agulhas Rückens und des Agulhas Plateaus („SETA-RAP“)“, von Gabriele Uenzelmann-Neben.
- Heft Nr. 274/1998** – "The Expedition ANTARKTIS XIV/2", by Gerhard Kattner.
- Heft Nr. 275/1998** – „Die Auswirkung der ‚NorthEastWater‘-Polynya auf die Sedimentation von NO-Grönland und Untersuchungen zur Paläo-Ozeanographie seit dem Mittelweichsel“, von Hanne Notholt.
- Heft Nr. 276/1998** – „Interpretation und Analyse von Potentialfelddaten im Weddellmeer, Antarktis: der Zerfall des Superkontinents Gondwana“, von Michael Studinger.
- Heft Nr. 277/1998** – „Koordiniertes Programm Antarktisforschung“. Berichtskolloquium im Rahmen des Koordinierten Programms „Antarktisforschung mit vergleichenden Untersuchungen in arktischen Eisgebieten“, herausgegeben von Hubert Miller.
- Heft Nr. 278/1998** – „Messung stratosphärischer Spurengase über Ny-Ålesund, Spitzbergen, mit Hilfe eines bodengebundenen Mikrowellen-Radiometers“, von Uwe Raffalski.
- Heft Nr. 279/1998** – "Arctic Paleo-River Discharge (APARD). A New Research Programme of the Arctic Ocean Science Board (AOSB)", edited by Ruediger Stein.
- Heft Nr. 280/1998** – „Fernerkundungs- und GIS-Studien in Nordostgrönland“ von Friedrich Jung-Rothenhäusler.
- Heft Nr. 281/1998** – „Rekonstruktion der Oberflächenwassermassen der östlichen Laptevsee im Holozän anhand von aquatischen Palynomorphen“, von Martina Kunz-Pirrung.
- Heft Nr. 282/1998** – "Scavenging of ²³¹Pa and ²³⁰Th in the South Atlantic: Implications for the use of the ²³¹Pa/²³⁰Th ratio as a paleoproductivity proxy", by Hans-Jürgen Walter.
- Heft Nr. 283/1998** – „Sedimente im arktischen Meereis - Eintrag, Charakterisierung und Quantifizierung“, von Frank Lindemann.
- Heft Nr. 284/1998** – „Langzeitanalyse der antarktischen Meereisbedeckung aus passiven Mikrowellendaten“, von Christian H. Thomas.
- Heft Nr. 285/1998** – „Mechanismen und Grenzen der Temperaturanpassung beim Pierwurm *Arenicola marina* (L.)“, von Angela Sommer.
- Heft Nr. 286/1998** – „Energieumsätze benthischer Filtrierer der Potter Cove (King George Island, Antarktis)“, von Jens Kowalke.
- Heft Nr. 287/1998** – "Scientific Cooperation in the Russian Arctic: Research from the Barents Sea up to the Laptev Sea", edited by Eike Rachor.

- Heft Nr. 288/1998** – „Alfred Wegener. Kommentiertes Verzeichnis der schriftlichen Dokumente seines Lebens und Wirkens“, von Ulrich Wutzke.
- Heft Nr. 289/1998** – „Retrieval of Atmospheric Water Vapor Content in Polar Regions Using Spaceborne Microwave Radiometry“, by Jungang Miao.
- Heft Nr. 290/1998** – „Strukturelle Entwicklung und Petrogenese des nördlichen Kristallingürtels der Shackleton Range, Antarktis: Proterozoische und Ross-orogene Krustendynamik am Rand des Ostantarktischen Kratons“, von Axel Brommer.
- Heft Nr. 291/1998** – „Dynamik des arktischen Meereises - Validierung verschiedener Rheologieansätze für die Anwendung in Klimamodellen“, von Martin Kreyscher.
- Heft Nr. 292/1998** – „Anthropogene organische Spurenstoffe im Arktischen Ozean, Untersuchungen chlorierter Biphenyle und Pestizide in der Laptevsee, technische und methodische Entwicklungen zur Probenahme in der Arktis und zur Spurenstoffanalyse“, von Sven Utschakowski.
- Heft Nr. 293/1998** – „Rekonstruktion der spätquartären Klima- und Umweltgeschichte der Schirmacher Oase und des Wohlthat Massivs (Ostantarktika)“, von Markus Julius Schwab.
- Heft Nr. 294/1998** – „Besiedlungsmuster der benthischen Makrofauna auf dem ostgrönländischen Kontinentalhang“, von Klaus Schnack.
- Heft Nr. 295/1998** – „Gehäuseuntersuchungen an planktischen Foraminiferen hoher Breiten: Hinweise auf Umweltveränderungen während der letzten 140.000 Jahre“, von Harald Hommers.
- Heft Nr. 296/1998** – „Scientific Cruise Report of the Arctic Expedition ARK-XIII/1 of RV 'Polarstern' in 1997“, edited by Michael Spindler, Wilhelm Hagen and Dorothea Stübing.
- Heft Nr. 297/1998** – „Radiometrische Messungen im arktischen Ozean - Vergleich von Theorie und Experiment“, von Klaus-Peter Johnsen.
- Heft Nr. 298/1998** – „Patterns and Controls of CO₂ Fluxes in Wet Tundra Types of the Taimyr Peninsula, Siberia - the Contribution of Soils and Mosses“, by Martin Sömmern.
- Heft Nr. 299/1998** – „The Potter Cove coastal ecosystem, Antarctica. Synopsis of research performed within the frame of the Argentinean-German Cooperation at the Dalmann Laboratory and Jubany Station (King George Island, Antarctica, 1991 - 1997)“, by Christian Wiencke, Gustavo Ferreyra, Wolf Arntz & Carlos Rinaldi.
- Heft Nr. 300/1999** – „The Kara Sea Expedition of RV 'Akademik Boris Petrov' 1997: First Results of a Joint Russian-German Pilot Study“, edited by Jens Matthiessen, Oleg V. Stepanets, Ruediger Stein, Dieter K. Fütterer, and Eric M. Galimov.
- Heft Nr. 301/1999** – „The Expedition ANTARKTIS XV/3 (EASIZ II)“, edited by Wolf E. Arntz and Julian Gutt.
- Heft Nr. 302/1999** – „Sterole im herbstlichen Weddellmeer (Antarktis): Großräumige Verteilung, Vorkommen und Umsatz“, von Anneke Mühlebach.
- Heft Nr. 303/1999** – „Polare stratosphärische Wolken: Lidar-Beobachtungen, Charakterisierung von Entstehung und Entwicklung“, von Jens Biele.
- Heft Nr. 304/1999** – „Spätquartäre Paläoumweltbedingungen am nördlichen Kontinentalrand der Barents- und Kara-See. Eine Multi-Parameter-Analyse“, von Jochen Knies.
- Heft Nr. 305/1999** – „Arctic Radiation and Turbulence Interaction Study (ARTIST)“, by Jörg Hartmann, Frank Albers, Stefania Argentini, Axel Bocherl, Ubaldo Bonafé, Wolfgang Cohrs, Alessandro Conidi, Dietmar Freese, Teodoro Georgiadis, Alessandro Ippoliti, Lars Kaleschke, Christof Lüpkes, Uwe Maixner, Giangiuseppe Mastrantonio, Fabrizio Ravegnani, Andreas Reuter, Giuliano Trivellone and Angelo Viola.
- Heft Nr. 306/1999** – „German-Russian Cooperation: Biogeographic and biostratigraphic investigations on selected sediment cores from the Eurasian continental margin and marginal seas to analyze the Late Quaternary climatic variability“, edited by Robert R. Spielhagen, Max S. Barash, Gennady I. Ivanov, and Jörn Thiede.
- Heft Nr. 307/1999** – „Struktur und Kohlenstoffbedarf des Makrobenthos am Kontinentalhang Ostgrönlands“, von Dan Seiler.
- Heft Nr. 308/1999** – „ARCTIC '98: The Expedition ARK-XIV/1a of RV 'Polarstern' in 1998“, edited by Wilfried Jokat.
- Heft Nr. 309/1999** – „Variabilität der arktischen Ozonschicht: Analyse und Interpretation bodengebundener Millimeterwellenmessungen“, von Björn-Martin Sinnhuber.
- Heft Nr. 310/1999** – „Rekonstruktion von Meereisdrift und terrigenem Sedimenteintrag im Spätquartär: Schwermineralassoziationen in Sedimenten des Laptev-See-Kontinentalrandes und des zentralen Arktischen Ozeans“, von Marion Behrends.
- Heft Nr. 311/1999** – „Parameterisierung atmosphärischer Grenzschichtprozesse in einem regionalen Klimamodell der Arktis“, von Christoph Abegg.
- Heft Nr. 312/1999** – „Solare und terrestrische Strahlungswechselwirkung zwischen arktischen Eisflächen und Wolken“, von Dietmar Freese.
- Heft Nr. 313/1999** – „Snow accumulation on Ekströmsen, Antarctica“, by Elisabeth Schlosser, Hans Oerter and Wolfgang Graf.
- Heft Nr. 314/1999** – „Die Expedition ANTARKTIS XV/4 des Forschungsschiffes ‚Polarstern‘ 1998“, herausgegeben von Eberhard Fahrbach.
- Heft Nr. 315/1999** – „Expeditions in Siberia in 1998“, edited by Volker Rachold.
- Heft Nr. 316/1999** – „Die postglaziale Sedimentationsgeschichte der Laptevsee: schwermineralogische und sedimentpetrographische Untersuchungen“, von Bernhard Peregovich.
- Heft-Nr. 317/1999** – „Adaption an niedrige Temperaturen: Lipide in Eisdiatomeen“, von Heidi Lehmal.
- Heft-Nr. 318/1999** – „Effiziente parallele Lösungsverfahren für elliptische partielle Differentialgleichungen in der numerischen Ozeanmodellierung“, von Natalja Rakowsky.

Heft-Nr. 319/1999 – „The Ecology of Arctic Deep-Sea Copepods (Euchaetidae and Aetideidae). Aspects of their Distribution, Trophodynamics and Effect on the Carbon Flux“, by Holger Auel.

Heft-Nr. 320/1999 – „Modellstudien zur arktischen stratosphärischen Chemie im Vergleich mit Meßdaten“, von Veronika Eyring.

Heft-Nr. 321/1999 – „Analyse der optischen Eigenschaften des arktischen Aerosols“, von Dagmar Nagel.

Heft-Nr. 322/1999 – „Messungen des arktischen stratosphärischen Ozons: Vergleich der Ozonmessungen in Ny-Ålesund, Spitzbergen, 1997 und 1998“, von Jens Langer

Heft-Nr. 323/1999 – „Untersuchung struktureller Elemente des südöstlichen Weddellmeeres / Antarktis auf der Basis mariner Potentialfelddaten“, von Uwe F. Meyer.

* vergriffen/out of print.

** nur noch beim Autor/only from the author.