

# **DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT**

Vortragsskizzen

Kolloquium im Schwerpunkt  
„Antarktisforschung mit vergleichenden Untersuchungen  
in arktischen Eisgebieten“

**Terrestrische Geowissenschaften  
Geologie und Geophysik**

Frankfurt am Main, 4. und 5. November 1994

Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung

**Ber. Polarforsch. 170 (1995)  
ISSN 0176 - 5027**

*"Nur wer Vergangenheit und  
Gegenwart versteht, kann es  
wagen, in die Zukunft zu  
schauen"*

Eugen Seibold, Juli 1994

## Inhaltverzeichnis

Vorwort.....	5
--------------	---

### Übersicht und Einführung

Georg Kleinschmidt	Die terrestrischen Geowissenschaften im Antarktis-Schwerpunkt -Erreichtes und künftige Ziele -.....	6
--------------------	---	---

### **ANTARKTIS - Herzstück des südlichen Superkontinents, seine Bildungs und Zerfallsphasen -**

#### Bildung des südlichen Superkontinents vor 1,1 Ga

Paech, H.-J.	Belege zur Frühgeschichte Gondwanas aus dem Hinterland des Weddell-Meeres: Shackleton Range bis Dronning Maud Land .....	14
Schubert, W.	P-T-Pfade in den Granuliten der Shackleton Rand - Prozesse der frühen Krustenentwicklung.....	18
Weber, K., Bauer, W., Jacobs, J., Patzelt, G., Siegesmund, F., Spaeth, G. & Thomas, R.J.	Geologische Kartierungen der Heimefrontfjella .....	21
Bauer, W. & Spaeth, G.	Zur Geologie der nördlichen Heimefrontfjella, westliches Neuschwabenland/Antarktika.....	29
Jacobs, J., Thomas, R.J. & Weber, K.	Korrelation kibarisch-grenvillischer und pan-afrikanischer Strukturen zwischen Dronning Maud Land und Südafrika .....	34

#### Bildung des südlichen Superkontinents vor 0,5 Ga (die "Ross-Orogenese")

Roland, N.W. & Kleinschmidt, G.	Krustenentwicklung am mobilen pazifischen Rand der Antarktis - Erkenntnisse und offene Fragen zur Ross-Orogenese - .....	40
Schüßler, U.	Metamorphite im NW-Teil des Wilson Terranes, Oates Coast, Antarktis .....	45
Klee, S.	Altersbestimmung hochmetamorpher Gesteine des südlichen Wilson-Terranes, Nord-Victorialand, Antarktis.....	50

Henjes-Kunst, F.	Geochemische, isotopechemische und geochronologische Untersuchungen an klastischen Meta-Sedimenten Nordvictorialands: Ein Schlüssel zum besseren Verständnis der Terrane-Entwicklung während der Ross Orogenese.....	57
Pauli, C.	Granitgefüge in Nordvictorialand.....	61
Matzer, S.	Altpaläozoischer Akkretionsmechanismus in Nordvictorialand, Antarktis.....	67
Buggisch, W.	Zeitmarken zum Zerfall von Antarctica und Laurentia und zur Bildung des Ross-Orogens.....	72
Weber, B.	Mikrofossilien und Biostratigraphie jungproterozoischer und altpaläozoischer Sedimente der Shackleton Range.....	74
Loske, W. & Miller H.	U-Pb-Datierungen an Zirkonen aus Gesteinen der Antarktischen Halbinsel im Bereich der Marguerite Bay und Bellingshausen See .....	80
	<u>Zerfallsprozesse des südlichen Superkontinents (Gondwana) und rezente Krustenstruktur</u>	
	- Lambert-Rift -	
Hofmann, J.	Fragmente intragondwanischer Riffe als Werkzeug der Gondwana-Rekonstruktion - das Beispiel des Lambert-Mahanadi Riftes (Ostantarktika-Peninsular Indien).....	86
	- Ross-Meer-Bereich -	
Tessensohn, F.	Rift-Prozesse im Ross-Meer-Gebiet der Antarktis und ihre Ursachen: Ein Beitrag zur Lithosphärenforschung in interdisziplinärer und internationaler Zusammenarbeit .....	96
Molzahn, M. Wörner, G.	Isotopenanalysen und Spurenelemente in Ferrar-Basalten: Wieviel Assimilation? .....	100
Olesch, M.	Was bedeuten die 100 Ma - Spaltspurenalter in der Antarktis? .....	104
Lisker, F. & Olesch, M.	Apatit-Spaltspurendatierung in Marie Byrd Land.....	108

Damaske, D.	Geophysikalische Untersuchungen zum Aufbau und zur Entwicklung des Westantarktischen Riftsystems..	112
Makris, I. & Trey, H.	LIRA - Geotraverse - Krustenstruktur des Rossmeeres.....	118
Reitmayr, G. & Damm, V.	Ergebnisse gravimetrischer Untersuchungen und begleitender Eisdickenmessungen im Nord-Viktoria-Land.....	122
Delisle, G.	Wärmeflußmessungen: Erste Ergebnisse aus Victoria Land und Folgerungen für Vorhaben in Dronning Maud Land ("GEOMAUD").....	127
	- Weddell-Meer-Bereich -	
Jacobs, J., Kaul, N. & Weber, K.	Tektono-thermische Entwicklung des Kontinentalrands im Bereich der östlichen Weddell See .....	133
Jokat, W. & Miller, H.	Tektonische Entwicklung des Weddellmeeres - Neue geophysikalische Ergebnisse.....	139
Boldt, G., Degutsch, M. & Kösters, M.	Reflexionsseismik sowie hochauflösende seismische Verfahren zur Untersuchung von Krustenstrukturen in Polarregionen: Ergebnisse aus dem westlichen Neuschwabenland (Antarktis) methodische Weiterentwicklungen und Perspektiven.....	143

### **Spezielle Themen**

#### Meteoritenforschung

Schultz, L.	Antarktische Meteorite: Ihre Bedeutung für die Kosmochemie .....	150
-------------	--	-----

#### Paläontologie (in ausländischem Programm)

Bengtson, P.	Biostratigraphie und Paläontologie des James-Ross-Beckens, Antarktische Halbinsel.....	153
--------------	--	-----

#### Tonmineralogie (in ausländischem Programm)

Bausch, W.M.	Geochemisch-mineralogische Untersuchungen am Ostrand der Antarktischen Halbinsel.....	157
--------------	---	-----

- Physische Geographie -

Krause, W.E., Krbetschek, M.R., Krüger, W. & Knothe, D.	Radiolumineszenzdatierungen an quartären Sedimenten des Periglazials der Schirmacher Oase (Ostantarktis).....	159
---	---	-----

Übergeordnete Schlußbetrachtungen

Miller, Hubert	Deutsche geowissenschaftliche Forschungsziele in der Antarktis und ihre internationale Einbindung - Chance und Verpflichtung .....	163
Teilnehmerliste	.....	168

## Vorwort

Im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms "Antarktisforschung mit vergleichenden Untersuchungen in arktischen Eisgebieten" fand am 4. und 5. November 1994 in Frankfurt am Main ein Kolloquium "Terrestrische Geowissenschaften - Geologie und Geophysik" statt.

Das Kolloquium hatte knapp 50 Teilnehmer, über 30 Vorträge wurden gehalten. Im vorliegenden Bericht sind die erweiterten Kurzfassungen der meisten Vorträge zusammengestellt.

Die Vorträge betreffen in erster Linie die terrestrischen Geowissenschaften Geologie und Geophysik, d.h. die Erforschung der antarktischen Erdkruste an Land (20). Eine Reihe von Beiträgen war deutlich fachübergreifend, nämlich zum einen mit deutlichem Bezug zur Glaziologie/Glazialgeologie (2), zum andern die "Grenze" marin/terrestrisch bewußt überschreitend (5). Als willkommene "Gäste" war die Meteoritenforschung und die physische Geographie mit je einem Beitrag vertreten. Ein Übersichtsreferat beleuchtete die internationale Verflechtung und die vielfältigen auswärtigen Beziehungen der deutschen geowissenschaftlichen Antarktisprojekte.

22 der vorgestellten Einzelprojekte sind DFG-gefördert, 6 werden bzw. wurden von der BGR, 1 vom AWI, 4 von anderen Institutionen getragen. Jedoch ist hierbei zu berücksichtigen, daß ein großer Teil der Einzelprojekte in Unternehmen der BGR (GANOVEX: 15; dazu Projekt GEOMAUD), des AWI (8) und anderer (3) eingebettet sind und daß die Logistik fast ausschließlich von AWI und/oder BGR gestellt wurde/wird. Zwei Beiträge zehrten noch von Unternehmen der DDR. Von den Teilnehmern stammen 34 aus dem Universitätsbereich, und 7 sind Wissenschaftler der BGR, 4 des AWI, 3 anderer Institutionen.

Der Kreis der teilnehmenden Wissenschaftler umfaßte Mineralogen, Geochronologen, Kosmochemiker, Petrologen, Geophysiker, Strukturgeologen, Stratigraphen, Paläontologen, Sedimentologen und Geographen, dazu als Gast die Geodäsie.

Die nahezu komplette Beteiligung aller terrestrischen Antarktis-Geowissenschaftler unterschiedlichster Disziplinen am Kolloquium und die Anwesenheit des Hauptkoordinators des Schwerpunktes (Prof. Spindler, Kiel) und des Prüfungsgruppenvorsitzenden (Prof. Wohlenberg, Aachen) sorgten für anregende Diskussionen - auch am Abend des 4. November in den Räumen des Geologisch-Paläontologischen Instituts.

Dem Gastgeber, das Frankfurter Senckenbergmuseum, sei für Räumlichkeiten, Hilfestellungen und fachlich angemessenes Umfeld herzlich gedankt, den Mitarbeitern des Geologisch-Paläontologischen Instituts Frankfurt für großartigen Einsatz.

Prof. Dr. Georg Kleinschmidt  
Geologisch-Paläontologisches  
der J.W. Goethe-Universität  
Frankfurt am Main

Prof. Dr. Dieter K. Fütterer  
Alfred-Wegener-Institut für  
Polar- und Meeresforschung  
Bremerhaven

## Die terrestrischen Geowissenschaften im Antarktis-Schwerpunkt

### Erreichtes und künftige Ziele

Georg Kleinschmidt

Geologisch-Paläontologisches Institut, Universität Frankfurt am Main

Unter "terrestrischen Geowissenschaften in der Antarktis" wird hier in erster Linie terrestrische Geophysik und terrestrische Geologie zusammengefaßt, angeschlossen sind einige Spezialthemen wie z.B. die Meteoritenforschung. Glaziologie, Glazialgeologie und -geographie werden daher hier nicht angesprochen, jedoch sind Verbindungen und Überschneidungen vorhanden, besonders zu bestimmten Aspekten der Glazialgeologie. Terrestrische Geophysik und Geologie behandeln nicht die heutige Antarktis und ihre gegenwärtigen - rezenten bis subrezentem - Vereisungszustände, d.h. nicht den Themenkreis "Global Change" im engeren Sinne und nicht im Sinne von "Global Change" durch menschlichen Einfluß, sondern sie behandeln "Global Change" höchstens in dem sehr weiten Sinne, daß sie zahlreiche, gesetzmäßige, abgelaufene oder ablaufende, langfristige bzw. langfristig angelegte Entwicklungen und Prozesse der gesamten erdgeschichtlichen Vergangenheit untersuchen und als Voraussetzung dafür ansehen, gegenwärtig ablaufende Prozesse richtig zu beurteilen und in die Zukunft zu projizieren.

Die terrestrischen Geowissenschaften sind an der Erforschung der Antarktis interessiert, nicht weil sie heute von Eis bedeckt ist, sondern weil die Erforschung des *Kontinents* erst in jüngster Zeit begonnen hat und weil er in früheren geologischen Zeitabschnitten eine ausgesprochen zentrale Lage hatte (Abb. 1 u. 3). Die Eisbedeckung der Antarktis ist für die terrestrischen Geowissenschaften eher lästig, denn sie behindert den Zugang zu ihrem Forschungsziel, der festen Erdkruste.

Die Entwicklung der Erdkruste ist mindestens seit dem Proterozoikum durch einen ständigen, auffälligen Trendwechsel gekennzeichnet: Der Bildung von Superkontinenten folgt jeweils eine Zerfallsphase. Dieser Prozeß, Superkontinentbildung -> Superkontinentzerfall -> Superkontinentbildung -> usw., hat sich nach derzeitigem Kenntnisstand mindestens zweimal nachweislich und vollständig in der Erdgeschichte abgespielt

- 1. vor ca. 1100 - 1000 Ma (Bildung) bzw. ca. 700 - 600 Ma (Zerfall),
- 2. vor ca. 500 Ma (Bildung) bzw. seit rd. 200 Ma. (Zerfall).

Der erste Superkontinentzyklus ist erst in Ansätzen erforscht, zeitlicher Ablauf und viele großregionale Zuordnungen z.Zt. heftig umstritten. Der zweite Zyklus ist zwar im Prinzip bekannt, in Einzelheiten - besonders in weniger gut untersuchten Regionen (wie z.B. weiten Teilen der Antarktis) - jedoch noch nicht.

Die Erforschung der Bildungs- und Zerfallsprozesse der Superkontinente gelingt aus folgenden Gründen nur unter Einbeziehung der Antarktis:

1. Die Antarktis bildete das Kernstück des älteren Superkontinents I (Bildung vor 1100 bis 1000 Ma)(Abb. 1). Sie hat zu nahezu allen späteren Teilstücken Verbindung gehabt. Die Rekonstruktion dieses Superkontinentes ist noch weitgehend Hypothese; eine derzeit besonders diskutierte läuft unter dem Stichwort "SWEAT" und fügt Nordamerika direkt an die Antarktis (DALZIEL 1991, HOFFMANN 1991,



MOORES 1991, MURPHY & NANCE 1991). Der Zerfall dieses Kontinents muß deutlich vor 500 Ma Jahren eingesetzt haben. Der zeitliche Rahmen und die räumliche Verteilung des Zerfallsablaufs sind ebenfalls derzeit Gegenstand heftiger und zugleich anregender, internationaler Debatten. Eine Möglichkeit zeigt die Abb. 2 (n. DALZIEL 1992), wobei neben der Bildung des Paläo-Pazifik ein in dieser Form sehr hypothetischer Süd-Iapetus-Ozean gefordert wird.

2. Der jüngere Superkontinent bildete sich vor rd. 500 Ma und ist unter dem Namen Gondwana bekannt. Das Herzstück von Gondwana ist wiederum die Antarktis (Abb. 3). Zur Rekonstruktion von Gondwana dienen u.a. Strukturen, die bei der Bildungsphase angelegt wurden, die den späteren Zerfall überlebten und die quer zu den späteren Grenzen der Gondwanabruchstücke verlaufen (Abb. 3). Eine solche Rekonstruktion ist naturgemäß nur bei hinreichender Kenntnis über das Herzstück Antarktis möglich. Seit 200 Ma zerfällt Gondwana. Ausgangsstadium und ein Zwischenstadium mit der Frühanlage der heutigen Ozeane und dem Abdriften der Gondwanabruchstücke *von der Antarktis* zeigt Abb. 4 (n. LAWVER et al. 1994).

3. Diese weltweiten Prozesse müssen sich naturgemäß auch in der Antarktis selbst, dem jeweiligen Herzstück der betreffenden Superkontinente, ausgewirkt haben, müssen dort dokumentiert sein:

- Die Superkontinentbildungen als Gebirgsbildungsprozesse (Orogenesen) mit zugehörigen Gesteinen und Strukturen,
- die Zerfallsprozesse als Rifting mit entsprechenden Gesteinen und Strukturen.

Abb. 5 zeigt - soweit bekannt - den Hauptwirkungsbereich der zur Superkontinentbildung I gehörigen Orogenese vor 1100 bis 1000 Ma (kibarische Orogenese), reichend von der Ostbegrenzung des Weddell-Meeres (Shackleton Range [?], westliches Neuschwabenland) bis mindestens ins östliche Dronning-Maud-Land.

Im Zusammenhang mit der Gondwanabildung bzw. -komplettierung (Superkontinent II) fand vor etwa 500 Ma die Ross-Orogenese statt (Abb. 5). Sie betraf in erster Linie den Bereich des Transantarktischen Gebirges von Victoria Land über das zentrale Transantarktische Gebirge, weiter mit unklarem Verlauf bis zur Shackleton Range.

Geologische Dokumente des Superkontinent-I-Zerfalls sind natürlich zu fordern, jedoch bis jetzt in der Antarktis nicht nachgewiesen bzw. erkannt worden. Der seit rund 200 Ma einsetzende Gondwana-Zerfall (Superkontinent-II-Zerfall) äußert sich dagegen vielfältig: u.a. früh in weit verbreitetem jurassischem Vulkanismus ("Ferrar-Vulkanite" u.a.m.), schließlich in Riftsystemen (Abb. 6; Lambert-Rift, Ross-Meer-Rift). Das Ross-Meer-Rift ist noch heute aktiv (rezenter Vulkanismus!).

**Daraus folgt, daß Forschung im Problemkreis der Superkontinentbildung und der Zerfallsprozesse die Berücksichtigung und intensive Bearbeitung des zentral gelegenen Bausteins *Antarktis* erfordert.**

Die deutschen terrestrischen Geowissenschaften beschäftigen sich seit dem Beginn ihrer Nachkriegsaktivitäten mit dieser Thematik, zunächst nicht besonders pointiert, im Laufe des Antarktisschwerpunktes mit sich stets wandelnder Akzentsetzung, eigenen Ergebnissen und Anregungen von außen entsprechend.

Das Gesamtthema der terrestrischen Geowissenschaften ist daher im Prinzip seit Einrichtung des DFG-Schwerpunktes Antarktischforschung:

### **"Bildungs- und Zerfallsprozesse der südlichen Superkontinente"**

Die Akzente haben sich im Laufe der deutschen Antarktischforschung verschoben und verschieben sich auch derzeit:

Zuerst (seit Ende der 70er bis in die Mitte der 80er Jahre) stand nahezu allein das 500-Ma-Ereignis (*Ross-Orogenese*) im Blickfeld. Gerade von deutscher Seite wurden viele wichtige Entdeckungen und Forschungsergebnisse für ein klareres Bild der Ross-Orogenese am *paläopazifischen Rand der Antarktis* (etwa so im Titel eines Oberprogramms der vorletzten Schwerpunktsperiode) und für ihre Bedeutung innerhalb Gondwanas geliefert. Aber so, wie z.B. die Erforschung der alpidischen Orogenese in den Alpen bereits Generationen von Geowissenschaftlern fasziniert hat und dennoch nicht abgeschlossen ist, so ist das Ross-Orogen längst nicht erschöpfend untersucht und bekannt. Dies wurde soeben besonders deutlich beim internationalen, von deutscher Seite angeregten "LIRA-Workshop" über die Ross-Orogenese (Dallas/USA, November 1994).

Etwa seit Beginn der letzten Schwerpunktsperiode zog der *Zerfallsprozeß von Gondwana* bzw. seine Auswirkungen in der Antarktis bis hin zur riftbedingten gegenwärtigen *Krustenstruktur* das Hauptinteresse auf sich.

Derzeit gerät zusätzlich der 1000-Ma-Bildungsprozeß von *Superkontinent I* und dessen Zerfall ab vielleicht 700 Ma in den Brennpunkt des Interesses der Antarktischgeowissenschaftler - national wie international, angeregt vor allem durch die genannte SWEAT-Hypothese.

Aus logistischen und wirtschaftlichen Gründen haben sich die deutschen terrestrischen Geowissenschaften thematisch und regional auf besonders interessante *Schlüsselregionen im Herzstück Antarktis* der genannten Superkontinente konzentriert. Bisher waren dies (Abb. 5, Punkte):

- für die Ross-Orogenese (Komplettierung von Gondwana/Superkontinent II):

- (1) der Ross-Meer-Bereich mit Nord- und Zentralvictorialand, Oates-Land, Marie-Byrd-Land,
- (2) die Shackleton Range,
- (3) der Halbinselbereich;

- für den Zerfall von Gondwana:

- (1) der Ross-Meer-Bereich (Nord- und Zentralvictorialand, Marie-Byrd-Land),
- (2) der Halbinselbereich für erste Arbeiten zur Bildung des Superkontinents I (inkl. Bildung von Superkontinent II u. Gondwanazerfall!);
- (1) der Weddell-Meer-Bereich (westliches Dronning-Maud-Land / Neuschwabenland mit Heimefrontfjella etc.)
- (2) Schirmacher-Oase samt Hinterland (östliches Neuschwabenland).

Dieser gesamte Projektkomplex der terrestrischen Geowissenschaften ist nicht disziplinär angelegt, sondern themengebunden und umfaßt z. T. Geophysik, Petrologie, zahlreiche Geologieteildisziplinen von der Stratigraphie bis zur Strukturgeologie.

Unabhängig von dem dargestellten Rahmen sind folgende Forschungsgebiete den terrestrischen Geowissenschaften (Geologie und Geophysik) angeschlossen:

- (I) Meteoritenforschung, (II) einige Zweige der Paläontologie und Mineralogie, (III) Physische Geographie.

(I) Meteoritenforschung

Aus unterschiedlichen Gründen bietet die Antarktis geowissenschaftliche Einmaligkeiten oder Vorkommen in besonders hervorragender Ausbildung.

Dazu gehören Meteoriten. Sie sind in der Antarktis im Zusammenhang mit der Vereisung zum einen an bestimmten Stellen extrem angereichert, zum andern besonders leicht auffindbar. Dies hat die Antarktis zu einem Eldorado der Meteoritenforschung - auch der deutschen - gemacht.

Weitere Einmaligkeiten und Besonderheiten, an denen z.T. von deutscher Seite gearbeitet wird oder wurde, sind die Anorthosite in Neuschwabenland (größter best aufgeschlossener Anorthositkomplex der Erde), die Bransfield-Straße als bestes Beispiel eines *aktiven* Back-Arc-Beckens und das exzeptionelle Großriftsystem des Ross-Meeres.

(II) Zweige der Paläontologie und Mineralogie

Deutsche Geowissenschaftler werden über den oben abgesteckten Rahmen hinaus gelegentlich zu ausländischen Schwerpunktprogrammen eingeladen. Dies betrifft derzeit die Untersuchungen an und mit kretazischen Ammoniten (Halbinselbereich, Einladung durch Großbritannien/BAS) und spezielle Teile der Mineralogie (Tone, Vulkanite im Halbinselbereich, Einladung durch Argentinien).

(III) Physische Geographie

Da für die physische Geographie kein eigenes DFG-Kolloquium vorgesehen war, sollte sie im Rahmen dieses Kolloquiums zu Worte kommen.

Beispiele von Ergebnissen der letzten Antragsperiode:

Bisher unbekannte, große Überschiebungssysteme (mehrere 10er bis mehrere 100 km Länge, Mächtigkeiten im 10er- bis 100-m-Bereich) und die Identifizierung einer 350 km langen Geo-Sutur konnten das plattentektonische Bild für die Ross-Orogenese in Victorialand entscheidend verbessern. Ihr tektonischer Transportsinn verläuft senkrecht zum Streichen, d.h. zeigt orthogonale Konvergenz an. U.a. damit konnten durch die GANOVEX-Unternehmen ältere Modelle, die von einer "Strike-Slip-Akkretion" ausgingen, widerlegt werden.

Eine von anderen postulierte 350 Ma alte "Borchgrevink-Orogenese" im Raume Victorialands existiert nicht.

In der Shackleton Range wurde die Ross-Orogenese erstmals als bedeutendes Ereignis nachgewiesen. Durch Fossilfunde ließ sich das Alter der intensiven Kompressionstektonik (mit kratonwärtigem Deckenbau!) belegen.

Überraschenderweise wurden auch im Halbinselbereich granitische Intrusionen von ross-orogenetischem Alter gefunden, obwohl dort vieles durch jüngere Ereignisse "vernebelt" wurde.

Im Bereich der kibarischen Orogenese (ca. 1000 Ma) Neuschwabenlands (Heimefrontjella) konnte eine geologische Kartierung abgeschlossen werden (z.T. erschienen [JACOBS & WEBER 1993], z.T. im Druck). Kibarisches Alter besitzt dort ein SSW - NNE verlaufender, auf über 90 km Länge nachweisbarer, mehrere km breiter Mylonitzug mit dextralem Schersinn. Spätere Überschiebungen sind gegen NW gerichtet und wurden als "panafrikanisch" eingestuft, d.h. entsprechen der Ross-Orogenese.

Im Ross-Meer-Sektor wurde für die jurassischen Flutbasalte, die den Gondwanazerfall einleiten, ein Re-Os-Gesamtgesteinsalter von  $184 \pm 15$  Ma ermittelt - die erste derartige Datierung an irdischen Gesteinen überhaupt! Das Ross-Meer-Rift-System entwickelt sich zunehmend zu einem Modellfall für Riftgenese: Die ausgesprochene Asymmetrie äußert sich nicht nur darin, daß die östliche Schulter (in Marie-Byrd-Land) unbedeutender erscheint, die westliche in Victorialand extrem hoch ist und direkt neben dem tiefsten Riftbecken aufsteigt, sondern auch darin, daß die Hebung im Westen (Victorialand) spätkretazisch *und* känozoisch, im Osten (Marie-Byrd-Land) *nur* spätkretazisch ist. Die zugehörige Krustenstruktur wurde in enger Verflechtung von terrestrischer wie mariner Geologie und Geophysik ermittelt: Besonders spektakulär ein über 300 km langes seismisches Profil aus dem Ross-Meer bis ins Transantarktische Gebirge und eine international sehr beachtete aeromagnetische Befliegung (Victorialand, Marie-Byrd-Land, große Teile des Ross-Meeres; erste Kartenteile erschienen [BOSUM et al., 1989]).

Künftige Ziele im abgesteckten Rahmen:

Belege und Untersuchungen zur *Superkontinentbildung I* (1000-Ma-Orogenese) sind im von der SWEAT-Hypothese geforderten Antarktisanteil bisher unvollständig und fehlen im östlichen Neuschwabenland bzw. Dronning-Maud-Land. Daher ist eines der künftigen Hauptprojekte diesem Problemkreis gewidmet, u.a. durch das Unternehmen "GEOMAUD" nach Dronning-Maud-Land, in fester Planung für 1995/96. Neben der älteren Orogenese ist zu klären, was die Ross-Alter (Ereignisse) in der Domäne viel älteren Geschehens, z.B. in der Schirmacher-Oase und deren Hinterland bedeuten.

Für die deutsche wie internationale Meteoritenforschung wäre außerdem ein "Meteoritennachschub" wünschenswert. GEOMAUD böte hierzu die Gelegenheit, da die Suche auf den Blaueisfeldern im Bereich des Wohlthatmassivs erfolgversprechend ist.

Obwohl über die *Ross-Orogenese* in Victorialand viel bekannt ist, ist - analog zum Fall Alpen (s.o.) - eine Fülle von Fragen offen, und neue haben sich aufgetan.

- Unsere existierenden plattentektonischen Modelle sind noch zu simpel und bedürfen der Modifizierung. Dies zeigen erste Ergebnisse von geochemischen und geochronologischen Untersuchungen von klastischen Metasedimenten Victorialands.

- Ein geforderter Inselbogen basiert auf zu wenig Daten.

- Für Granulit-Relikte in verschiedenen, höher metamorphen Anteilen des Ross-Orogens Victorialands ist zu entscheiden, ob es um Reste des eingearbeiteten Kartons handelt oder um tiefkrustale Anteile des Ross-Orogens selbst.

- Die nachgewiesene orthogonale Konvergenz Nordvictorialands scheint sich in Südvictorialand völlig zu ändern oder von einem viel komplizierteren Bewegungsablauf abgelöst zu werden. Es erhebt sich die Frage: Ist Ross-Orogen einheitlich oder in seinem Verlauf verschieden ausgebildet? Und ist es überhaupt ein Orogen, oder besteht es vielmehr aus völlig verschiedenen Orogenen, die heute so gelegen, daß eine Einheitlichkeit  $\pm$  vorgetäuscht wird?

- Die unmittelbare *Vorgeschichte* der Ross-Orogenese ist fast völlig offen.

Zukunftsprojekte - etwa im Rahmen von GANOVEX - müssen sich daher von Nord-victorialand südwärts und kratonwärts entwickeln. Die Fülle offener Fragen ist dort am ehesten mit radiometrischen Datierungen, geophysikalischen Untersuchungen und Strukturanalysen lösbar. Wünschenswert ist darüber hinaus der Anschluß an weiter südlich gelegene amerikanische Untersuchungsgebiete. Der weitere Verlauf des Orogens und die Verbindung zur Shackleton Range ist unbekannt und muß unter Berücksichtigung bekannter Daten aus den Thiel- und Pensacola-Mountains modelliert werden.

In der Shackleton Range ist das Ross-Orogen erst "zur Hälfte" erkannt worden. Es fehlt der Nachweis des zugehörigen Magmatismus, eines zweiten Überschiebungsgürtels und eine Analyse der komplexen Mischung verschiedener metamorpher Gesteinsserien.

Schließlich ist zu klären, welche Bedeutung die wenigen ross-orogenetischen Alter im Halbinselbereich haben und wie sich diese Vorkommen in den Superkontinent II einzufügen.

Zum *Gondwana-Zerfall* gibt es für den *atlantischen Sektor* erste Vorstellungen über die Zerfallsgeschichte im Streifen Heimfrontfjella-Weddellmeer. Dort lassen sich durch Zusammenwirken von Sedimentologie, Geophysik und Spaltspurenmethodik vermutlich mehrere Riftphasen unterscheiden (1. Jura, 2. Unterkreide). Ein zweites Transekt aus dem Hinterland der Schirmacher-Oase bis in den SÜDATLANTIK bietet zugleich die Möglichkeit, Kontinentalrandbildung mit Implikationen für die Klimaentwicklung zu untersuchen, wiederum durch Kooperation mariner und terrestrischer Geowissenschaften.

Für das *Ross-Meer-Rift* bestehen noch große Lücken für die zeitliche Abfolge der Riftvorgänge. Insbesondere die älteren Abschnitte der Riftbildung sind nicht belegt. Hier soll die geplante internationale Forschungsbohrung Cape Roberts im südlichen Ross-Meer, an der Deutschland wissenschaftlich und logistisch beteiligt ist, die Situation verbessern. Die weiteren Arbeiten am Ross-Meer-Rift sind nicht nur regional für die Antarktis, sondern auch global und prinzipiell für die Entwicklung kontinentaler Riftsysteme und die Antriebsmechanismen der Plattentektonik von Bedeutung.

Für die Zukunft ergeben sich somit folgende Schwerpunkte (Abb. 5, Kreise):

(1) Dronning-Maud-Land:

u.a. "GEOMAUD" (1995/96): 1000-Ma-Orogenese, 500-Ma -Ereignis, 180-Ma-Zerfall, Meteoritensuche, terrestrische (+ marine) Geowissenschaften.

(2) Shackleton Range:

"EUROSHACK" (1994/95) und Auswertung dazu: Versuch, die 1000-Ma-Orogenese zu belegen, Komplettierung des Ross-Orogens.

(3) Ross-Meer-Raum:

z.B. im Rahmen von GANOVEX: Ross-Meer (Beteiligung an internationaler Bohrung Cape Roberts); südliches Victorialand; kratonwärtige Arbeiten (vor allem Geophysik): Verhältnis Ross-Orogen zu Kraton, Südfortsetzung des Orogens kontinuierlich?, Riftprozeß.

(4) Halbinselbereich:

Bedeutung des Grundgebirges.

Wissenschaftlicher Träger der meisten dieser Vorhaben ist voraussichtlich - wie bisher - außer den Universitäten vor allem die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).

Die große Chance zur internationalen und interdisziplinären Interaktion war bisher automatisch gegeben und intensiv genutzt worden. Dies ist nach meiner Überzeugung auch in Zukunft so und hat bereits begonnen sich zu verstärken.

Genauere Angaben zu einer größeren Zahl von Einzelergebnissen der letzten 5 a und darauf aufbauende künftige Projekte sind in den folgenden Einzelbeiträgen enthalten.

#### Angeführte Schriften

- BOSUM, W., DAMASKE, D., ROLAND, N.W., BEHRENDT, J. & SALTUS, R. (1989): The GANOVEX IV Victoria Land/Ross Sea aeromagnetic survey: Interpretation of anomalies.-- *Geol. Jb.* **E38**: 153-230.
- DALZIEL, I.W.D. (1991): Pacific margins of Laurentia and East Antarctica-Australia as a conjugate rift pair: Evidence and implications for an Eocambrian supercontinent.-- *Geology* **19**: 598-601.
- DALZIEL, I.W.D. (1992): Antarctica: a tale of two supercontinents?-- *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* **20**: 501-526.
- HOFFMANN, P.F. (1991): Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside-out?-- *Science* **252**: 1409-1412.
- JACOBS, J. & WEBER, K. (1993): Geologische Karte (Luftbildkarte) Scharffenbergbotnen, Heimfrontfjella, Antarkits, 1:25000.-- (IfAG) Frankfurt am Main.
- [KLEINSCHMIDT, G. & BRADSHAW, J.D.](1991): Active Pacific Gondwana margin.-- Antarctic global concerns, Bremen 1991, Progr., Lect. Abstr., SCAR-Poster Abstr.: 60.
- LAWVER, L.A., GAHAGAN, L.M. & COFFIN, M.F. (1992): The development of paleoseaways around Antarctica.-- *Antarct. Res. Ser.* **56**: 7-30.
- MOORES, E.M. (1991): Southwest U.S.-East Antarctic (SWEAT) connection: A hypothesis.- *Geology* **19**: 425-429.
- MURPHY, J.B. & NANCE, R.D. (1991) Supercontinent model for the contrasting character of Late Proterozoic orogenic belts.-- *Geology* **19**: 469-472.
- TESSENSOHN, F., KLEINSCHMIDT, G. & THOMSON, M.R.A. (1994): EUROSHACK - An example of practised European cooperation in Antarctica.-- *Europ. Conf. Grand Challenges in Ocean and Polar Sci.*, Bremen 1994.
- TESSENSOHN, F. & WÖRNER, G. (1991): The Ross Sea rift system, Antarctica: structure, evolution and analogues.- In: Thomson, M.R.A., Crame, J.A. & Thomson, J.W. (Eds.): *Geological evolution of Antarctica*: 273-277.

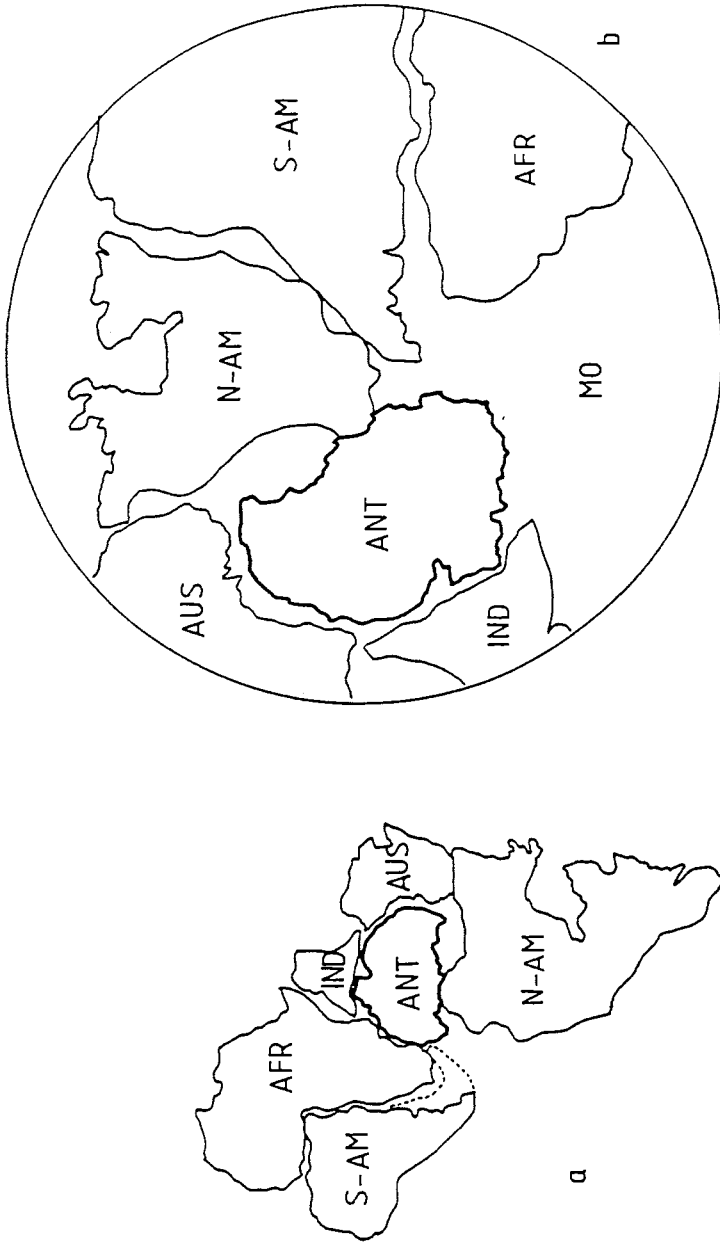


Abb. 1. Zwei Situationen des prä-gondwanischen Superkontinents nach DALZIEL (1991).  
(Superkontinent I, Hauptbildungsprozess: kibarische bzw. Grenville-Orogenese).  
a) Spätproterozoikum; b) Basis "Kambrium" (570 Ma) mit Mozambique-Ozean (=MO).  
S-AM = Südamerika; N-AM = Nordamerika; AUS = Australien; IND = Indien;  
AFR = Afrika; ANT = Ostantarktis.

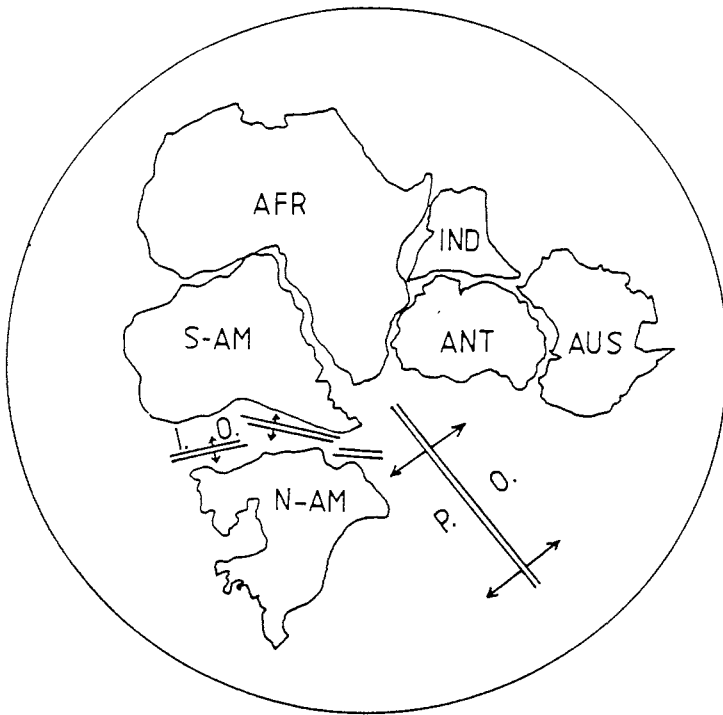


Abb. 2. Zerfall des Superkontinents I nach DALZIEL (1992).

Situation am Ende des Kambriums (500 Ma).

P.O. Pazifischer Ozean,

I.O. Iapetus-Ozean;

übrigen Abkürzungen wie Abb. 1.



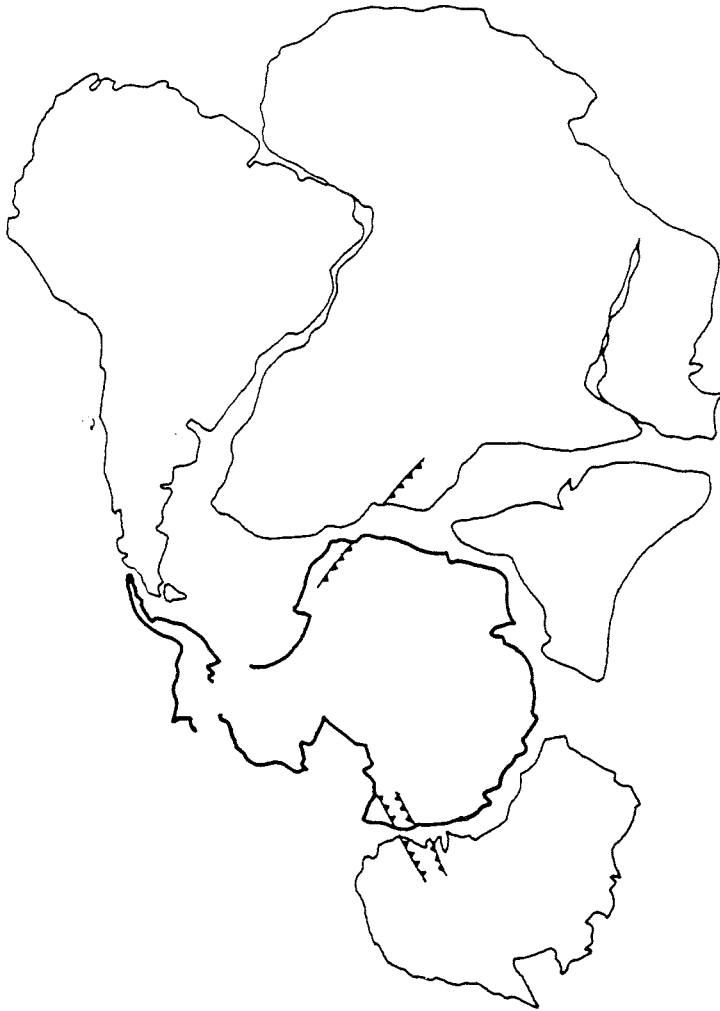


Abb. 3. Superkontinent II (Gondwana), Situation vor mehr als 200 Ma  
(nach KLEINSCHMIDT & BRADSHAW 1991).  
Hauptbildungsprozeß ist die Ross-Orogenese vor rd. 500 Ma.  
U.a. dienen ross-orogenetische Strukturen (gezähgelt) zur  
Rekonstruktion.

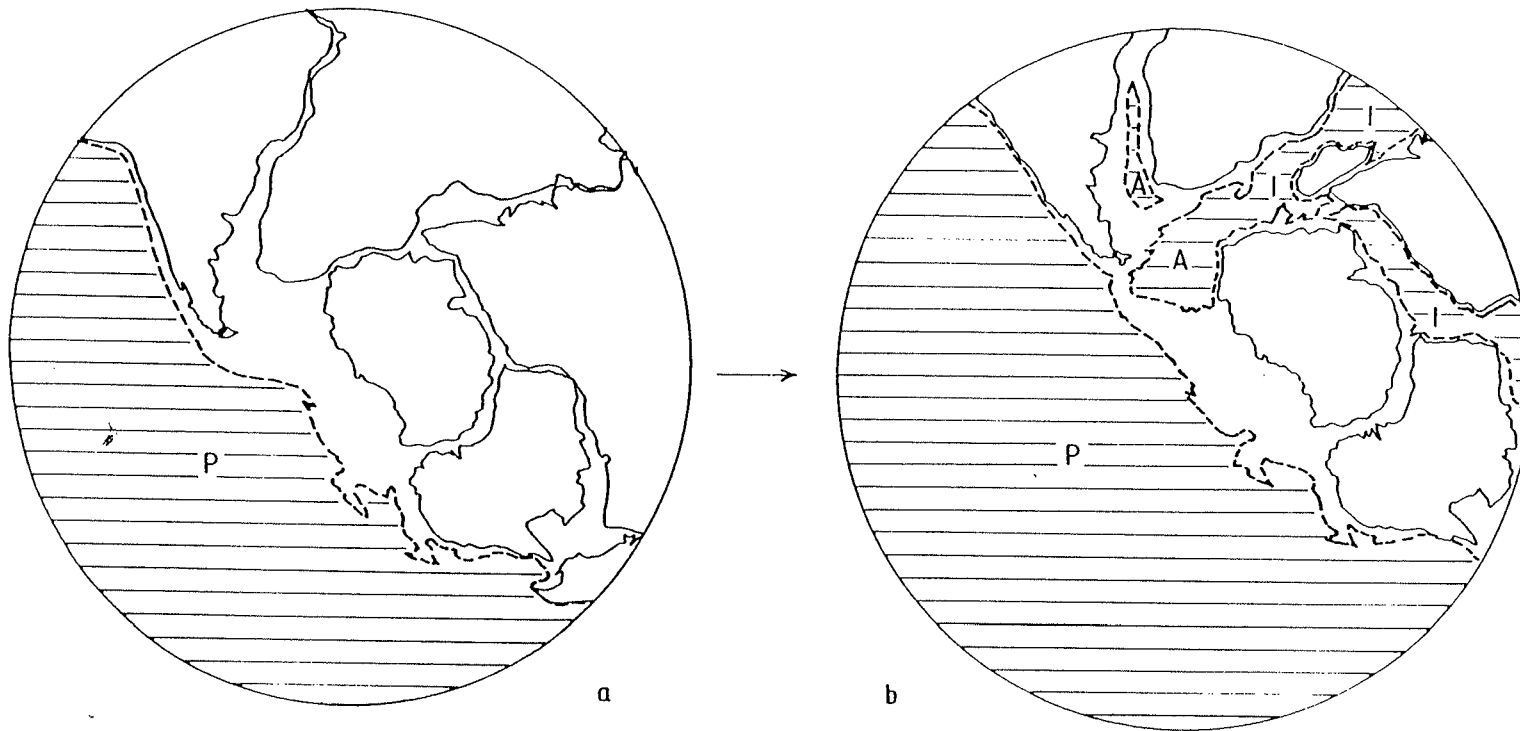


Abb. 4: Zerfall des Superkontinents II (Gondwana) nach LAWVER, GAHAGAN & COFFIN (1992).  
 a) vor 200 Ma; b) vor 120 Ma.  
 Gerissene Linie: Schelfrand, Schraffur: Ozeanischer Bereich. P = Pazifik; A = beginnender Atlantik;  
 I = beginnender Indik.

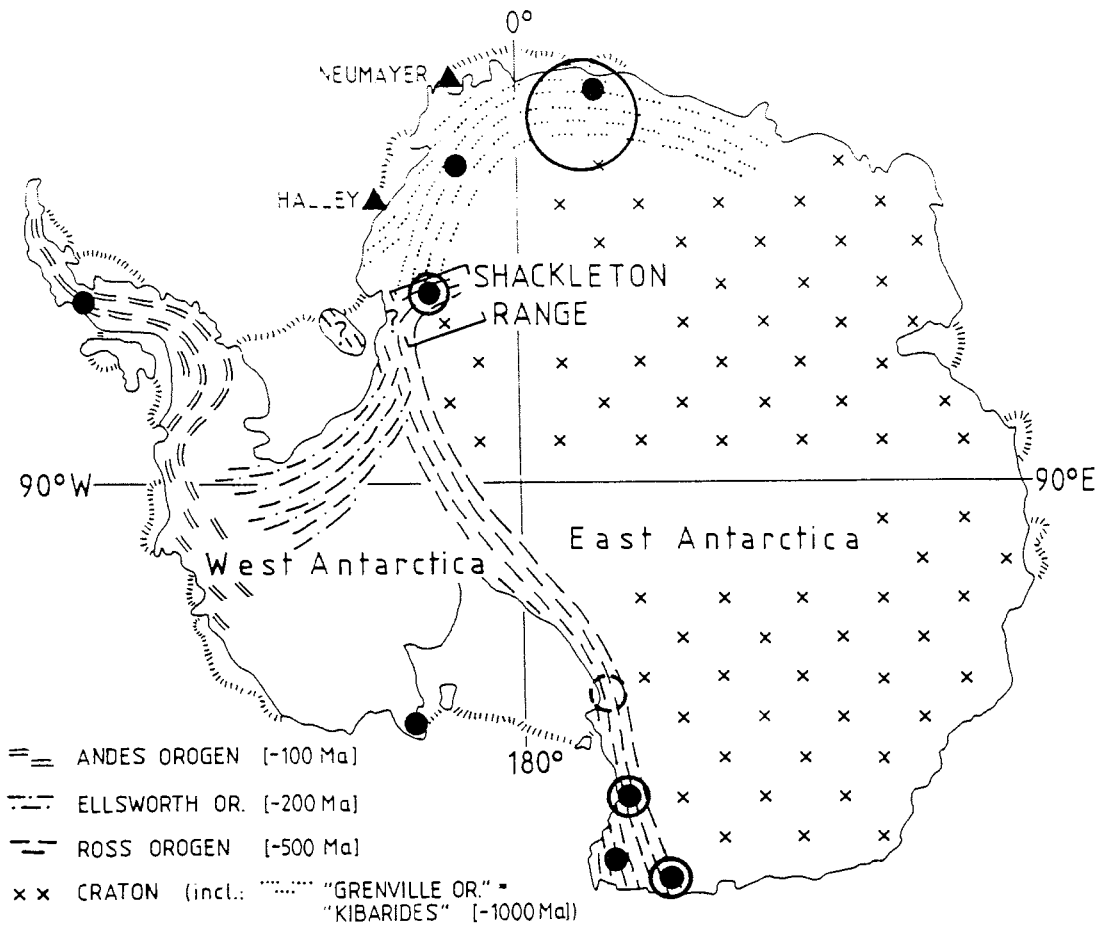


Abb. 5. Orogenesen (Gebirgsbildungen) in der Antarktis (beachte: Ross-Orogen und Grenville-/Kibariden-Orogen!) (nach verschiedenen Autoren, zuletzt: KLEINSCHMIDT, TESSENSOHN & THOMSON 1994).

Punkte: Hauptaktivitäten der dt. terrestrischen Geowissenschaften in den letzten 5 Jahren (1989-1994),

Kreise: geplante Hauptaktivitäten der dt. terrestrischen Geowissenschaften in den nächsten 5 Jahren (1995-1999).

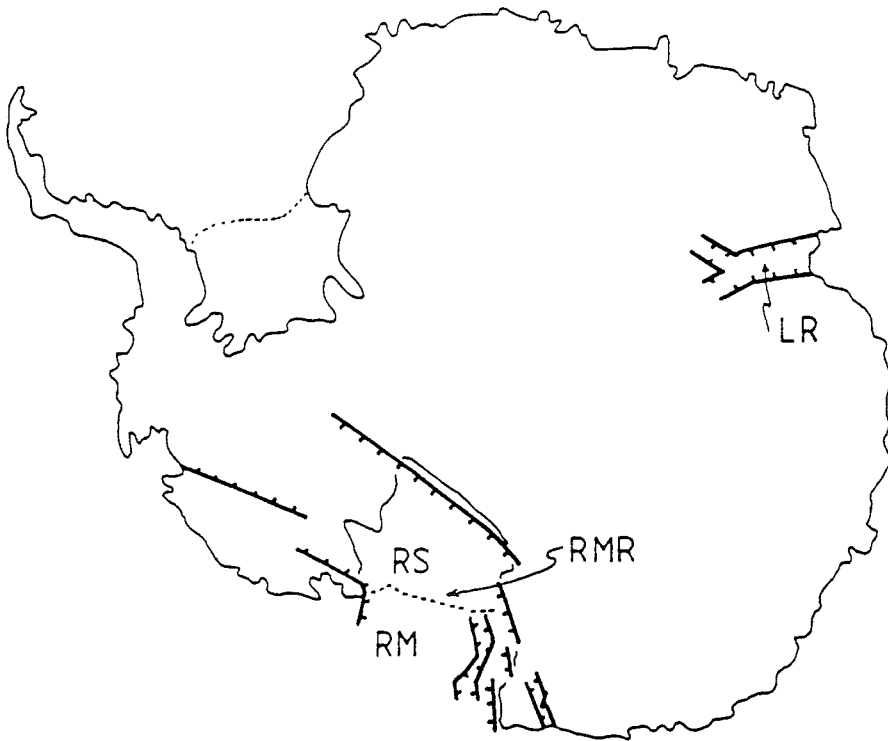


Abb. 6. Rifting in der Antarktis, vwgd. nach TESSENSOHN & WÖRNER 1991.  
RS = Ross-Schelfeis, RM = Ross-Meer,  
RMR = Ross-Meer-Rift, LR = Lambert-Rift.

A) ANTARKTIS - Herzstück des südlichen Superkontinents,  
seine Bildungs- und Zerfallsphasen

1) Bildung des südlichen Superkontinents vor 1,1 Ga

mit den Beiträgen von

Paech, H.-J.

Schubert, W.

Weber, K., Bauer, W., Jacobs, J. Patzelt, G., Siegmund, F., Spaeth, G.  
& Thomas, R. J.

Bauer, W. & Spaeth, G.

Jacobs, J., Thomas, R.J. & Weber, K.

## **Belege zur Frühgeschichte Gondwanas aus dem Hinterland des Weddell-Meeres: Shackleton Range bis Dronning Maud Land**

PAECH, H.-J.,  
BGR, Hannover

Ein wichtiges Ziel der GeoMaud-Expedition der BGR (1995/96) wird die wissenschaftliche Bearbeitung der Frage nach dem Fortbau der kibarischen (ca 1.100 Mill.Jahre alt) Strukturen bis in das zentrale Königin-Maud-Land sein. Der aktuelle Bezug hierzu ergibt sich aus den neuen Vorstellungen von DALZIEL (1991) and MOORES (1991) in der SWEAT Hypothese, die Strukturen dieses Alters als Hauptkriterium zur Korrelation von Nordamerika and Antarktika heranziehen. Nach dieser Hypothese sollen vor etwa 500 Mill.J. Nordamerika und Antarktika im Bereich des heutigen Weddell-Sektors nebeneinander gelegen haben. Einschätzungen zu dieser Hypothese sind sowohl zustimmend (z.B. STOREY et al. 1994; BORG & DePAOLO 1994) als auch rigoros ablehnend (z.B. BOUCOT, 1992). Nicht zuletzt als Beitrag hierzu aber auch aus Zeitgründen konzentriert sich der Vortrag vorwiegend auf diese Ereignisse vor 1.000 Mill. und deren Vorgeschichte. Daß aber während der o.a. Expedition auch andere Fragestellungen wie panafrikanische Ereignisse und Gondwana-Zerfall behandelt werden, soll hier besonders hervorgehoben werden.

Älteste Gesteine des Untersuchungsgebietes dokumentieren das beachtliche Alter von rund 3.000 Mill.J. (SOLOV'IEV & HALPERN 1975; BARTON et al. 1987; MOYES & BARTON 1990). Sie gehören einem Granitkörper eines archaischen Kratons an, der in den Annandagstoppane nur lokal aufgeschlossen ist. Aus Prioritätsgründen wird für diese geotektonische Einheit in Anlehnung an die sowjetische Literatur der Begriff Maudheim-Kraton verwendet. Die weitere Ausdehnung des Kratons über Annandagstoppane hinaus ergibt sich aus der Verbreitung von Gesteinen der Ritscherflya Supergroup, die weitgehend ein Alter von ca. 1.000 Mill.J. auszuweisen scheinen (PAECH et al. 1991). Sie sind im wesentlichen undeformiert und zeigen nur nahe dem Jutulstraumen eine schwache, offensichtlich jüngere Beanspruchung an.

Metamorphosealter von 1.600 Mill.J. (PANKHURST et al. 1983) und Intrusionsalter von 1.400 Mill.J. in der Shackleton Range belegen eine Tektogenese, die innerhalb des Weddell-Sektors von Antarktika nur auf die Shackleton Range begrenzt, im Transantarktischen Gebirge aber als Nimrod-Strukturen weiter verbreitet ist.

Die Argumentation der SWEAT-Hypothese stützt sich auf Strukturen der Grenville-Tektogenese mit einem Alter von etwa 1.000 Mill.J., die sowohl in Nordamerika als auch im Weddell-Sektor von Antarktika anzutreffen sind. Aber nicht alle Alterszahlen dieser Größenordnung, die aus diesem Bereich Antarktikas bekannt sind, sind auf einen Mobilgürtel dieses Alters zurückzuführen. Aus diesem Grunde werden entsprechende Altersdaten im Hinblick auf die geologische Aussage kritisch überprüft.

Ein Schlüsselgebiet für die SWEAT-Hypothese sind die Nunatakker auf der Nordflanke der Touchdown Hills (Bertrab, Littlewood und Moltke Nunataks). Hier treten subvulkanische Intrusiva vor allem saurer Zusammensetzung auf (AUGENBAUGH et al. 1965; TOUBES SPINELLI 1983), die von schwach basischen Gängen durchschlagen werden. Als Besonderheit sind einige kleine Granitxenolithe bekannt. Al-

tersbestimmungen an diesen subvulkanischen Intrusiva ergaben Daten zwischen 800 und 1.100 Mill. Jahren ( AUGENBAUGH et al. 1965; EASTIN, FAURE et al. 1969; EASTIN & FAURE 1971, FAURE et al. 1968; PILOT Bergakademie Freiberg unveröffentlicht). Nach eigenen Beobachtungen zeigen diese Gesteine schichtungsähnliche Absonderungsflächen, die flache Lagerung dokumentieren. MARSH & THOMSON (1984) verweisen darauf, daß jegliche Anzeichen metamorpher Umwandlungen fehlen. Damit ist eine Korrelation mit einem Grenville-Mobilgürtel sehr unwahrscheinlich. Durch das Vorkommen von granitischen Xenolithen in den subvulkanischen Gesteinen ist deren Unterlage eher Teil eines Kratons als ein Bestandteil eines Grenville-Mobilgürtels. Als zeitliche Äquivalente dieser subvulkanischen Gesteine konnten die Borgmassivet-Intrusiva des Ahlmannryggen angesehen werden.

Die 1.000 bis 1.100 Mill.J. Alter von Glimmern (BUGGISCH et al. 1990) aus schwach metamorphen Gesteinen der Stephenson Bastion (Shackleton Range) sind noch nicht zweifelsfrei zu deuten. Eine Beeinflussung der Daten durch detritische Glimmer ist aber durchaus möglich.

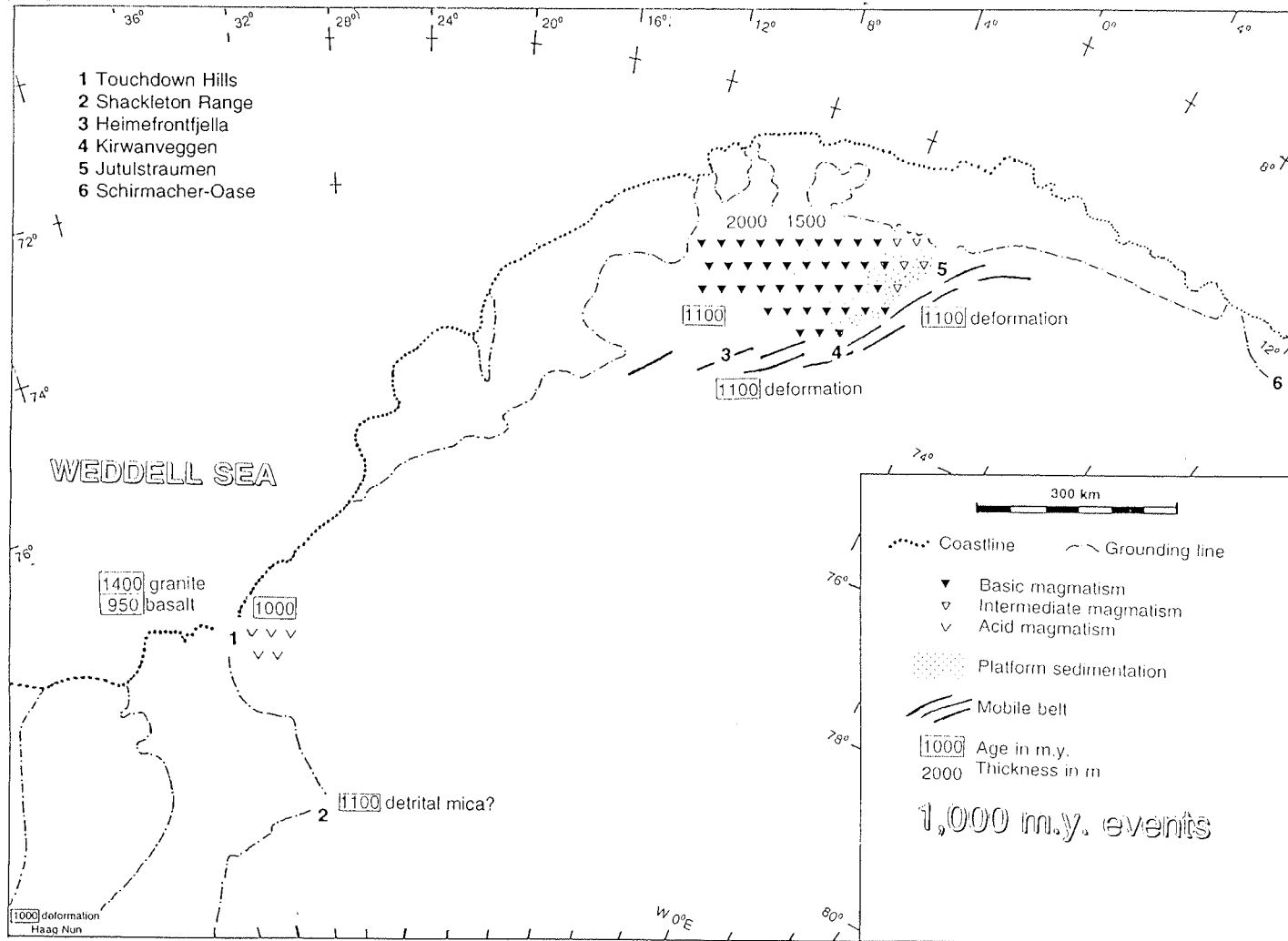
Bezüglich eines Grenville-Mobilgürtels im Untersuchungsgebiet sind einige Fakten über deren Vorkommen bekannt. In den Haag Nunataks stehen Metamorphite an, deren Grenville-Alter neuerdings nochmals belegt worden ist (STOREY et al 1994; MILLAR & PANKHURST 1987). Es handelt sich hierbei aber um einen regional sehr begrenzten Aufschluß. In weiterer Verbreitung ist der Mobilgürtel im westlichen Dronning Maud Land nachgewiesen, so in der Heimefrontfjella (ARNDT et al. 1991), Kirwanveggen (WOLMARANS & KENT 1982) und Sverdrupfjella (MOYES & BARTON 1990). Der Fortbau dieses Mobilgürtels in östliche Richtung ist zur Zeit noch unklar. Eindeutige Nachweise sind erst aus dem östlichen Dronning Maud Land ca 500km weiter östlich bekannt (SHIRAISHI & KAGAMI 1992). In dem Zwischenstück, dem zentralen Dronning Maud Land, stehen moderne Untersuchungen aus. Dementsprechend ist unklar, ob in diesem Bereich äquivalente Strukturen auftreten. Sollte dies der Fall sein, sind deren Entwicklungsgeschichte und auch Bildungsbedingungen zu analysieren. Daß dies nicht einfach werden wird, ergibt sich durch die nachträgliche tektonische Überformung (intensive Mylonitisierung z.B.) und magmatische Beeinflussung (z.B. Charnockitbildung, Anorthositintrusion) während der panafrikanischen thermotektonischen Aktivierung. Hauptziel der GeoMaud-Expedition wird es sein, sich dieser Aufgabe vordringlich zu stellen.

#### Literatur

- Arndt, N.T., Todt, W., Chauvel, C., Tapfer, M., Weber, K., 1991 U-Pb age and Nd isotopic composition of granitoids, charnockites and supracrustal rocks from Heimefrontfjella, Antarctica. *Geologische Rundschau* 80, 3, 759-777, Stuttgart.
- Augenbaugh, N.B., Lounsbury, R.W. & Behrendt, J.C., 1965. The Littlewood Nunataks, Antarctica. *Journal of Geology*, 73, 889-894, Chicago.
- Barton, J.M., Klemd, R., Allsop, H.L., Auret, S.H. & Copperthwaite, Y.E., 1987. The geology and geochronology of the Annandagstoppane granite, western Dronning Maud Land. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 97 488-496, Stuttgart.
- Borg, S.G. & DePaolo, D.J., 1994. Laurentia, Australia, and Antarctica as a Late Proterozoic supercontinent: Constraints from isotopic mapping. *Geology*, 22, 307-310,

- Boucot, A.J., 1992. Comment on "Southwest U.S. - East Antarctic (SWEAT) connection: A hypothesis" and "Pacific margins of Laurentia and East Antarctica Australia as a conjugate rift pair: Evidence and implications for a Eocambrian supercontinent. *Geology*, 20, 87, Boulder.
- Buggisch, W., Kleinschmidt, G., Kreuzer, H. & Krumm, S., 1990. Stratigraphy, metamorphism and nappe-tectonics in the Shackleton Range (Antarctica). *Geodatisch-geophysikalische Veröffentlichungen, Reihe 1, Heft 15*, 64-86, Potsdam.
- Capurro, L.R.A., 1955. Expedicion Argentina al Mar de Weddell. Ministerio de Marina, Direccion General de Navegacion e Hidrografia, 129-131.
- Dalziel, W.D., 1991. Pacific margins of Laurentia and East Antarctica, Australia as a conjugate rift pair: Evidence and implications for an Eocambrian supercontinent. *Geology*, 19, 6, 598-601, Boulder.
- Eastin, R. & FAURE, G. 1971: The age of the Littlewood volcanics of Coats Land, Antarctica. *Journal of Geology*, 79 241-245, Chicago.
- Eastin, R., Faure, G., Schultz, C.H. & Schmidt, D.L., 1969: Rb-Sr ages of the Littlewood Volcanics and of the acid volcanic rocks of the Neptune Range, Pensacola Mountains, Antarctica. *Geological Society of America Abstracts for 1969, Pt 13*
- Marsh, P.D. & Thomson, J.W., 1984. Location and geology of nunataks in northwestern Coats Land. *British Antarctic Survey, Bulletin*, 65, 33-39, Cambridge.
- Millar, I.L. & Pankhurst, R.J., 1987. Rb-Sr Geochronology of the region between the Antarctic Peninsula and the Transantarctic Mountains. *Haag Nunataks and Mesozoic Granitoids. In: McKenzie, G.D. (ed.) Gondwana Six. Geophysical Monographs*, 40, 151-60.
- Moores, E.M., 1991. Southwest U.S. -- East Antarctic (SWEAT) connection: A hypothesis. *Geology*, 19, 5, 425-428, Boulder.
- Moyes, A.B. & Barton, J.M., 1990. A review of isotope data from western Dronning Maud Land, Antarctica. *Zentralblatt Geologie und Palaontologie Teil 1(1990)* 19-31.
- Paech, H.-J., Laiba, A.A., Shulyatin, O.G., Aleksashin, N.D. & Traube, V.V. 1991: Contribution to the geology of western Dronning Maud Land: present knowledge, latest results and unsolved problems. *Zeitschrift für geologische Wissenschaften*, 19, 2, 127-143, Berlin.
- Pankhurst, R.J., MARSH, P.D. & CLARKSON, P.D., 1983. A geochronological investigation of the Shackleton Range. In: OLIVER, R.L. et al. (eds.): *Antarctic Earth Sciences*, Canberra: Austr. Acad. Sci. 176-182, Canberra.
- Shiraishi, K. & Kagami, H., 1992. Sm-Nd and Rb-Sr ages of metamorphic rocks from the Sor Rondane Mountains, East Antarctica. In: Yoshida, Y., Kamiuma, K., Shiraishi, K. (eds.), *Recent progress in Antarctic Earth Science, TERRAPUB*, 29-35.
- Soloviev, D.S. & Halpern, M., 1975. Pervyye archeiskiy izotopnyye vozrasty poluchenie v Antarktide (First Archaean isotope ages obtained in Antarctica). *Informatsionnyi BULLETIN Sovjetskoy antarkticheskoy Ekspeditsii*, 90: 23-25
- Storey, B.C., Pankhurst, R.J. & Johnson, A.C., 1994. The Grenville Province within Antarctica: a test of the SWEAT hypothesis. *Journal of the Geological Society London* 151, 1-4, Northern Ireland.
- Toubes Spinelli, R.O., 1983. *Geologia del Nunatak Bertrab, Sector Antartico, Argentina*. Contribucion Instituto Antartico Argentino, 296, 9 pp. Buenos Aires.
- Wolmarans, L.G. & Kent, I.E., 1982. Geological investigations in western Dronning Maud Land - a synthesis. *South Afr.J.Antarct.Res.*, Suppl. 2: 1-93, Johannesburg.





## **P-T-Pfade in den Granuliten der Shackleton Range - Prozesse der frühen Krustenentwicklung**

Wolfgang Schubert,  
Mineralogisches Institut Universität, Würzburg

### Einleitung

Granulite und granulitfazielle Gesteine sind Zeugen der mittleren bis unteren kontinentalen Kruste, sie stammen aus Tiefen größer 15 km und sie geben Hinweise auf Krustenaufbau und chemische Zusammensetzung.

Bei der Bildung der mittleren bis unteren Kruste spielen Intrusionsprozesse basischer Magmatite gekoppelt mit Extrusionsprozessen saurer Magmatite eine stetige Rolle, deshalb ist die Granulitgeochemie nicht uniform, sondern von Areal zu Areal verschieden, geochemische Daten sind komplex und nicht einfach zu interpretieren.

Aussagen zur P-T-Entwicklung sind mit mineralogisch-petrologischen Methoden möglich, diese umfassen prinzipiell a) Petrologie der Hauptmineralphasen einschl. Untersuchung des Zonarbaues, b) Petrologie der Relikt-Mineralphasen, c) Petrologie der Relikte in Relikten. d) Petrologie von Korona-Gefügen.

P-T-Daten werden gewonnen mit Hilfe gängiger Geothermobarometer, über thermodynamische Berechnungen mit Hilfe verschiedener Aktivitätsmodelle, mit Hilfe zu berechnender P-T-grids im (z.B.) KFMASH-System.

### Granulitfazies in der Shackleton Range

Sowohl im Süden als auch im Norden der Shackleton Range stecken im Basement der amphibolitfaziellen Gesteinen granulitfazielle Relikte. Sie unterscheiden sich in einigen Punkten prinzipiell:

1. Durch verschiedene Metamorphosealter (mittelproterozoisch im S; früh-paläozoisch im N).
2. Durch verschiedene Rahmengesteine (Amphibolite, Cpx-Gneise, Migmatite mit Cordierit + Sillimanit im S; Paragneise, Quarzite, Marmore, restitische Granatgneise mit Staurolith + Disthen im N).
3. Durch verschiedene Mineralparagenesen (enderbitische Granatgranulite mit Opx - Quarz - Granat - Bio - 2 Fsp im S; anarolitische Granat-Disthen-Gneise mit Disthen - Granat - Bio - Kalifsp - Rutil im N).
4. Durch verschiedenen Granatzonarbau (einfacher, glockenförmiger Zonarbau in einschlußarmen Granaten im S; komplexer Zonarbau in einschlußreichen Granaten im N).

### Entwicklung der P - T - Pfade in der Shackleton Range

Die enderbitischen Granatgranulite des südlichen Teils (Read Group) zeigen einen Entwicklungspfad von 830°C/7.4 kbar auf 560°C/3.5 kbar. Sie repräsentieren Niedrig-Druck-Granulite mit typischem isobaren Abkühlungspfad (IBC-path). Die granulitfaziellen Relikte des nördlichen Teils (Pioneers Group) sind granulitische Granat-Disthengneise vom Hoch-Druck-Typ. sie sind gekennzeichnet durch einen nahezu isothermalen Dekompressionspfad (ITD-path), der von 660°C/13.5 kbar bei leichter T-Zunahme während der Dekompression nach 740°C/8.9 kbar und ev. weiter bis 660°C/6.2 kbar verläuft (SCHUBERT & WILL 1994).

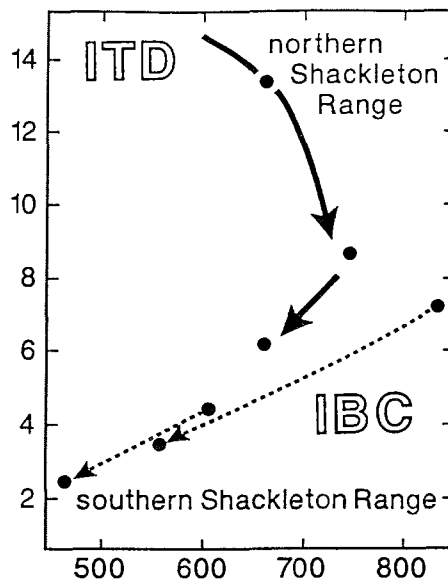


Fig. 1: P-T-Entwicklung der granulitfaziellen Relikte in der Shackleton Range/Antarktis. Unterbrochener Pfeil: Isobaric cooling path (IBC) in den Granuliten in der mittelproterozoischen Read Group, südliche Shackleton Range. Durchgezogener Pfeil: Isothermal decompression path (TD) in den frühpaläozoischen Granuliten der Pioneers Group, nördliche Shackleton Range.

Als Konsequenz dieser Beobachtung folgt, daß offensichtlich verschiedene Prozesse der Bildung und des geotektonischen Geschehens im Südteil und im Nordteil der Shackleton Range abgelaufen sind.

Wir interpretieren die granulitfaziellen Relikte im Süden, in der Read Group der Shackleton Range, als tektonisch eingeschuppte, ehemalige tiefkrustale Anteile des ostantarktischen Kratons. Sie wurden entsprechend dem Modell von NELSON (1992) durch Lithosphären-Delamination, bzw. durch Lithosphären-Deformation gekoppelt mit aufsteigenden Schmelzen (SANDIFORD & POWELL 1991) als Niedrig-Druck Granulite vor 1600 Ma gebildet und während der mittelproterozoischen Nimrod-Orogenese den regionalmetamorphen P-T-Bedingungen der Amphibolitfazies (600-550°C/4-5 kbar) angeglichen.

Im Gegensatz dazu fordern die rel. niedrigen Temperaturen bei hohen Drucken im nördlichen Teil der Shackleton Range eine Kollisionsorogenese mit tekton. gesteuerten Prozessen der Krustenüberdickung, etwa durch Imbrication und Thrusting nach ENGLAND & THOMPSON (1984), wie sie für viele phanerozoische mobile fold-thrust-belts diskutiert wird, in denen die klassischen Barrow-typ Metamorphite ausgebildet wurden.

#### Zukünftige Arbeiten

Die frühe Krustenentwicklung in diesem Teil des ostantarktischen Kratons und an seinem westlichen Kontinentalrand soll modellmäßig erarbeitet und in einen größeren regionalen Rahmen gestellt werden. Dazu müssen im weiteren folgende Kom-

plexe herausgearbeitet werden: 1.) die pra-granulitfaziellen P-T-Daten über Einschlußpetrologie, 2.) die Koppelung Petrologie und Strukturgeologie im Gelände, um die P-T-d - Entwicklung zu bestimmen, 3.) Altersdatierungen mit modernen Methoden an amphibolit- und granulitfaziellen Anteilen, 4.) die Koppelung dieser Daten mit Ergebnissen aus dem ostantarktischen granulitfaziellen Kraton.

ENGLAND, P.C. & THOMPSON, A.B. (1984): J. Petrol. 72, 894-928.

NELSON, K.D. (1992): Geology 20, 498-502.

SANDIFORD, M.A. & POWELL, R. (1991): J. metam. Geol. 9, 333-340.

SCHUBERT, W. & WILL, Th. (1994): Chem. Erde, 54.

## Geologische Kartierungen der Heimefrontfjella

Klaus Weber<sup>1</sup>, Wilfried Bauer<sup>2</sup>, Joachim Jacobs<sup>1</sup>, Gernot Patzelt<sup>3</sup>, Siegfried Siegesmund<sup>1</sup>, Gerhard Spaeth<sup>2</sup>, Robert J. Thomas<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Institut für Geologie und Dynamik der Lithosphäre, Universität Göttingen

<sup>2</sup>Geologisches Institut, RWTH Aachen

<sup>3</sup>Institut für Hochgebirgsforschung, Universität Innsbruck

<sup>4</sup>Council for Geosciences, Pietermaritzburg, Südafrika

### Zielsetzungen

Wissenschaftliches Ziel der Traverse 1994 zur Heimefrontfjella war die geologische Kartierung von Tottanfjella, der Kottasberge (Milorgfjella) und von XU-fjella (Abb.1). Dieses Unternehmen sollte die bereits bis zur Sommerkampagne 1989/90 durchgeführten und für Sivorgfjella abgeschlossenen Kartierungen in den genannten Teilregionen fortsetzen und zum Abschluß der geologischen Kartierung der gesamten Heimefrontfjella führen.

Die Kartierarbeiten im Gelände erfolgten anhand von Ausschnitten topographischer Karten im Maßstab 1:10.000, die durch Vergrößerung aus Unterlagen des Institut für Angewandte Geodäsie in Frankfurt (Orthophotos und Isohypsenpläne im Maßstab 1:25.000) angefertigt worden waren. Die Bereitstellung dieses Kartenmaterials war eine Voraussetzung für die geologischen Kartierungen der beiden Expeditionen 1988/89 und 1989/90 sowie der diesjährigen. Ihre Drucklegung soll im Maßstab 1:25.000 erfolgen, in dem bereits das Blatt "Scharffenbergbotnen" der Sivorgfjella 1993 erschienen ist.

Insgesamt ergaben sich für die kartierten Bereiche je nach möglicher Differenzierung 10 bis 15 Kartiereinheiten (einschließlich besonderer Bildungen wie Moränen, Schumlachen, mafische Dykes etc.), die in den Geländekarten durch Farben und Signaturen gekennzeichnet wurden. Zur Kartierarbeit gehörte ferner die Erfassung der tektonischen Gefüge und ihrer Kinematik. Diese strukturgeologischen Arbeiten waren insbesondere in den Bereichen nötig, die während der ersten deutschen Expedition zur Heimefrontfjella 1985/86 (siehe Berichte zur Polarforschung usw. ARNDT et al. 1986) bei der damaligen Rekognoszierung nicht besucht werden konnten. Im Gegensatz zu dieser ersten Expedition, bei der in großem Umfang systematisch Gesteinsproben für Labonuntersuchungen gesammelt wurden, mußte bei der diesjährigen Expedition aufgrund der eingeschränkten Transportkapazität Zurückhaltung geübt werden. Nur das unbedingt notwendige Gesteinsmaterial für petrographische, geochemische und geochronologische Untersuchungen wurde gesammelt; dessen Gesamtgewicht machte dennoch ca. 1 to aus. Das Probenmaterial wurde durch die schwedische ITASE-Expedition von den Kottasbergen zur G.v.Neumayer-Station transportiert.

Von der 40-tägigen Traverse zur Heimefrontfjella verblieben nach Abzug der Schlechtwettertage und der An- und Rückfahrt von und zur Neumayer-Station nur noch insgesamt 19 Tage für geologische Geländearbeiten. Hiervon entfielen je 9 Tage auf Tottanfjella und die Kottasberge, nur ein Tag auf XU-fjella. Halbe, durch schlechtes Wetter starker gekürzte Geländetage sind für diese Angaben addiert worden.

Die günstigen morphologischen Verhältnisse in Tottanfjella (Abb. 1) förderten die dortigen Kartierarbeiten sehr. Hier waren, im Gegensatz zu den Kottasbergen die

meisten Gipfel, Grate und Gebirgskämme erreichbar und begehbar, so daß sich die Begehungen nicht nur auf die Hangfüße, Windwolke und weniger steil geneigten Hänge beschränkten. Außerdem treten in Tottanfjella mehrere quer zum Generalstreichen verlaufende Gebirgskämme auf, durch die ausgezeichnete Querprofile gegeben waren, was die Korrelation von Gesteinszügen, die Analyse des Gebirgsbaus und die Interpolation bei der Kartendarstellung in besonderem Maße begünstigte.

Demgegenüber waren die Verhältnisse in den Kottasbergen (Abb. 1) weniger günstig. Hier waren nicht alle eis- und schneefreien Bereiche begehbar; hohe und steile Felsflanken charakterisieren vielerorts das Relief, so daß hier bei der Kartendarstellung in stärkerem Maße Inter- und Extrapolationen in unbegangenes Gelände notwendig waren. Dies wurde allerdings gefordert durch die Inspektion der Felswände im Gelände, auf Geländephotos und Luftbildern. Trotz der im Vergleich zu Tottanfjella deutlich größeren eis- und schneefreien gesamten Aufschlußfläche konnte jedoch auch in den Kottasbergen die Kartierung in der zur Verfügung stehenden Zeit ausreichend detailliert abgeschlossen werden, weil auf der ersten deutschen Expedition 1985/86 gerade in dieser Region umfangreichere Vorarbeiten geleistet worden waren.

XU-fjella wurde leider nicht vollständig bearbeitet. Die fünf, allerdings wenig umfangreichen Nunataks des Nordteils dieser kleinen und entlegenen Gebirgsgruppe (Abb. 1) konnten wegen schlechten Wetters am Ende der Kartierkampagne nicht mehr erreicht werden. Abgesehen von dieser kleinen Lücke ist das Kartierprogramm trotz der relativ häufigen Schlechtwettertage vollständig erfüllt worden.

Die folgenden Ausführungen zur Geologie von Tottanfjella und den Kottasbergen (Milorgfjella) sowie XU-fjella geben in kurzer Form den schon durch die erste deutsche Expedition 1985/86 in großen Zügen bekannten Aufbau dieser Regionen und damit den ersten geologischen Rahmen für die Kartierarbeiten wieder, sie enthalten aber auch neue und zusätzliche Erkenntnisse, die während der diesjährigen Kartierkampagne gewonnen und unter den sechs beteiligten Fachkollegen diskutiert wurden.

#### Erste Ergebnisse der Kartierung

In diesem Bericht werden Tottanfjella, die Kottasberge und XU-Fjella (Abb. 1) dargestellt, da sie Gegenstand der Kartierung waren. Die Kartierung von Sivorgfjella war bereits abgeschlossen.

#### Tottanfjella

Tottanfjella besteht aus ein Anzahl leicht begehbarer Nunataks im Südwestteil der Heimefrontfjella. Kartiert wurden die Nunataks zwischen Samuelhamaren im SW und Johnsonhogna im NE von Tottanfjella. Die Gesteinseinheiten sind zwischen ca. 1500 und 2200 Höhenmetern aufgeschlossen. Es wurden zwei neue Nunataks im äußersten SE von Tottanfjella entdeckt.

Tottanfjella besteht aus einem amphibolitfaziellen und einem granulitfaziellen Terrane, welche durch die Heimefront-Scherzone getrennt werden. Im granulitfaziellen Terrane tritt in den Nunataks von Vardeklettane (Vardeklettane Ost) eine ca. 200 m mächtige Sequenz von Metasedimenten (Metaquarzite, Metaarkosen, Ga-Cord-Sill-führende Metapelite) auf, in die geringmächtige 2-Fsp-Qz-Gneise und Amphibolite eingeschaltet sind, die als Metavulkanitlagen interpretiert werden. Diese suprakrustalen Gesteine bilden Xenolithe in zwei porphyrischen Granitoiden, einem dunklen, grobkörnigen Monzonit bis Qz-Monzonit und einem sehr grobkörnigen,

leukokraten, Gt-führenden Granit, die im Gegensatz zu den älteren Orthogneisxenolithen keine Chamockitisierung aufweisen. Die Kfsp des Monzonits sind grün und häufig gerundet. Beide Granitoide sind schwach vergneist. Als jüngste Intrusiva treten Mikrogranite und sehr grobkörnige Pegmatite auf, die Biotite bis 30 cm aufweisen.

Vardeklettane West besteht aus einem migmatischen Orthogneis mit mafischen Gängen und Einschlüssen, der bereichsweise, insbesondere im Westteil chamockitisiert ist. Chamockite treten als Aureolenchamockite um basische Xenolithe (2-Pyroxen Granulite) und nebulos als Replacement Charnockite entlang von Rissen sowie in Form von Gängen auf. Dieser Gneis tritt in Ost-Vardeklettane xenolithisch in den beiden oben beschriebenen porphyrischen Granitoiden auf. Die Xenolithe waren vor der Inkorporation bereits vergneist. Dunkle, granitische bis monzonitische Chamockite finden sich im West- bis Nordwestteil von Ardušberget. Sie enthalten Schollen von Gt-Opx-führenden Orthogneisen.

Nach SE schließen sich mächtige Kfsp-Augengneise an, die häufig mylonitisch ausgebildet sind und Tieftemperaturmylonite in Form von Ms-Bio-Chl-Schiefen enthalten. Die Grenze gegen das amphibolifazielle Terrane wird von einer 2 bis 3 km breiten Zone plutonischer Gesteine gebildet, die in unterschiedlichem Maße in Augengneise und Augengneismylonite verformt sind. Vier plutonische Komplexe mit folgender Altersabfolge vom älteren zum jüngeren treten in Tottanfjella auf:

1. Diorite
2. riesenkörnige Rapakivi-Typ Granite (Manesigden)
3. dunkle, grobkörnige, porphyritische Monzonite und Monzonorite
4. schwach foliierte Mikrogranite und Pegmatite

Die ältesten intrusiven Gesteine sind Diorite, die in größerer Mächtigkeit am Cottontoppen und xenolithisch in vielen der jüngeren Granitoide auftreten. Die schwach deformierten Varietäten des Diorits am Cottontoppen weisen eine typische Ocellartextur auf und sind mit feinkörnigen Graniten assoziiert, die auf eine hybride Entstehungsgeschichte hindeuten.

Riesenkörnige rapakivi-texturierte Granite (Manesigden Granit) nehmen einen sehr großen Prozentsatz der Aufschlußfläche ein. Die Kalifeldspate werden bis zu 15 cm groß, sind häufig rund und weisen Uhrglasverzwillingung auf. Bei manchen dunklen Mineraleinschlüssen innerhalb der Kalifeldspate besteht der Verdacht auf reliktsche Orthopyroxene.

Dunkle Monzonite und Monzonorite nehmen einen großen Teil des südlichen Tottanfjellas ein. Sie sind bereichsweise mit magmatischen Chamockiten assoziiert und sind, wie z.B. auch am Samuelhamaren Gt- und Graphit-führend. Am Worsfoldfjellet sind vielfältige Kontaktrelationen zum älteren Manesigden-Granit aufgeschlossen.

Als jüngstes magmatisches Gestein tritt ein fein- bis mittelkörniger Granit auf, der mit einer pegmatitischen Phase assoziiert ist. Dieser Granit nimmt einen großen Aufschlußbereich im südlichen Teil von Cottontoppen ein. Er schneidet die metamorphen S-Flächen der älteren lithologischen Einheiten, ist aber selbst auch noch schwach deformiert.

Die Heimefront-Scherzone (Abb.1) liegt in Tottanfjella im Bereich des Überganges von dem von Plutoniten dominierten Bereich in den weiter südöstlich anschließenden Bereich, in dem Metasedimente häufiger werden. Sie ist besonders gut in den

Flisegga-Nunataka aufgeschlossen. Hier dominieren im Nordteil Kfsp-Augengneismylonite. Weiter südlich bilden Augengneismylonite unterschiedlicher Mächtigkeit eine Wechsellagerung mit plattigen bis bankigen Bio-Qz-Fsp-Gneisen rhyolitischer bis dazitischer und Qz-andesitischer Zusammensetzung, mit häufigen Pegmatiten und untergeordnet auch Amphiboliten, Bio-Amphiboliten, Hbl-Gneisen und sehr Fsp-armen Biotitschiefem. Unter Einschaltung von migmatischen Metasedimenten in Form von grauen Bio-QzFsp-Gneisen sowie von Metaquarziten entwickelt sich eine "Bunte Serie", in der umgelagerte Vulkanoklastite, z.B. als geringmächtige Kfsp-Augengneise auftreten können. Im äußersten SE von Tottanfjella treten Metasedimente häufiger auf. Sie setzen sich aus Paragneisen, Metaquarziten, Metakonglomeraten und Metapeliten zusammen. Marmoreinschlaltungen sind aus Sivorgfjella bekannt. Die bimodale metavulkanische Abfolge ist wesentlich mächtiger als die Metasedimente. Ms ist sekundär und an jüngere Scherzonen gebunden.

Für Tottanfjella läßt sich von SE nach NW folgende lithologische Abfolge feststellen: Metasedimenten im SE, gefolgt von bimodalen Metavulkaniten und hypabyssalen Intrusiva, die in Orthogneise übergehen und an die sich granulitfazielle Gesteine anschließen. Die Heimefront-Scherzone liegt im Übergangsbereich von den Orthogneisen in die suprakrustalen Gesteine.

Auch strukturell läßt sich Tottanfjella in zwei Terranes gliedern. Die metamorphen S-Flächen im granulitfaziellen Terrane (Vardeklettane - Ardusberget) streichen E-W und Faltung tritt um E-streichende, flach einfallende Faltenachsen auf.

Demgegenüber streichen alle Einheiten im amphibolitfaziellen Teil von Tottanfjella NNE-SSW bis NE-SW. Die metamorphen S-Flächen sind im Bereich der Heimefront-Scherzone um NNE bis NE-streichende Faltenachsen verfaultet.

Die steilstehende Heimefront Scherzone ändert ihr Streichen von NE-SW in Sivorgfjella nach NNESSW in Tottanfjella. Damit ändert sich ebenfalls der Charakter der Scherzone. In Sivorgfjella sind flach einfallende Lineare mit einem dextralen Schersinn assoziiert. In Tottanfjella fallen die mylonitischen Streckungslineare mittelsteil bis steil nach E bis NE ein oder liegen in der Fallrichtung der S-Flächen. Generell wird Südost auf Nordwest überschoben. Bei NW-fallenden Mylonitflächen entsteht abschiebender Bewegungssinn, vermutlich durch sekundäre Rotation der S-Flächen. Häufige Schersinnindikatoren sind Gleitbrett- (sc-) Gefüge und Dehnungsschieferungen (eccGefüge) mit Hauptdehnung des Gesteinsgefüges parallel zum Streckungslinear. Das regionale Strainfeld der Heimefront-Scherzone ändert sich von Sivorgfjella nach Tottanfjella von einer lateralen in eine frontalen Rampe. Die laterale Rampe kann als positive flower-Struktur interpretiert werden.

#### Kottasberge

Die Kottasberge werden fast ausschließlich von magmatischen Gesteinen aufgebaut, bei denen es sich überwiegend um Metavulkanite und granitische Intrusiva handelt.

Im zentralen Teil der Kottasberge, im Gebiet zwischen Laudalkammen und Schivestolen dominieren sillförmige, bis mehrere hundert Meter mächtige, hypabyssale granitische Intrusiva, die unterschiedlich stark vergneist sind. Überwiegend handelt es sich um rote und weiße, Bio-reiche, Hbl-führende Kfsp-Augengneise, deren hoher Kfsp-Gehalt auf eine deutliche Alkalitendenz dieser Granite hinweist. Diese Augengneise sind sehr reich an Titanit. Es bestehen Übergänge zu Hbl-freien



granitischen Bio-Qz-Plg-Kfsp-Gneisen sowie zu Qz-ärmeren, jedoch weniger häufigen monzonitischen Gneisen.

Diese alkalibetonten Granite intrudieren einen geschichteten Verband von plattigen bis bankigen Bio-Qz-Plg-Gneisen, unterschiedlich stark Hbl-führenden Bio-Qz-Plg-Gneisen und Amphiboliten. Es handelt sich um eine Wechsellagerung von dazitischen, Qz-andesitischen bis andesitischen und basaltischen Metavulkaniten. Eingeschaltet sind basische Intrusive dioritischer bis gabbroider Zusammensetzung. Teilweise sind in den Dioriten und Gabbros ophitische Gefüge und chilled margins erhalten. Rhyolithische Metavulkanite treten erst im SW-Teil der Kottasberge häufiger auf (siehe unten).

Metasedimente finden sich eingeschaltet in die Metavulkanite am Südennde von Burasbotnen und am Nordostende von Amtzenrustene. Es handelt sich um graphitführende silikatische Mammone und Kalksilikate mit Phlogopit, Grammatit-Aktinolith, Diopsid und Olivin (?), sowie graphitführende Quarzite, Bio-Quarzite und untergeordnet Bio-Schiefer. Vermutlich handelt es sich bei den Qz-reichen Metasedimenten um Metacherts und bei den Bio-Schiefen um Metatuffite. Metapelite und Metaspammite treten erst im Südwestteil der Kottasberge und in XU-Fjella auf und werden nach Südwesten häufiger (siehe unten).

Im Bereich der nordöstlichen und zentralen Kottasberge (Amtzenrustene - Leabotnen - Burasbotnen) läßt sich folgende lithologische Abfolge im Basement rekonstruieren:

1. Überwiegend intermediäre (Qz-andesitische bis andesitische) Metavulkanite mit Amphiboliten und Metarhyolithe sowie lokalen Einschaltungen von Metakarbonaten, Metaquarziten und Metapeliten (Bio-Schiefer).
2. Intrusion Kfsp-reicher Hbl-führender und Hbl-freier Granite. (Kfsp-Augengneise).
3. Intrusion basischer Sills (Amphibolite).
4. Intrusion von Mikrograniten als Sills und Dykes, nur schwach vergneist.
5. Aplitgranitische Gänge mit pegmatitischen Partien, schwach deformiert.
6. Unvergneiste Pegmatite.
7. Basaltische bis gabbroide Dykes mit chilled margins.

Im Südwestteil der Kottasberge zwischen Borgebotnen und Steenstruphorten überwiegen die metavulkanischen Gesteine. Drei lithologische Assoziationen lassen sich unterscheiden, die als bankige bis plattige, oft bis in den Zentimeter- und Millimeterbereich gebänderte Gneise vorliegen:

1. Bio-Qz-Plg bis Bio-Plg-Qz-Gneise in Wechsellagerung mit Hbl-Bio-Qz-Plg-Gneisen und Amphiboliten. Es handelt sich hier um intermediäre bis basische Metavulkanite dazitischer, Qz-andesitischer bis andesitischer und basaltischer Zusammensetzung mit dioritischen und gabbroiden Intrusiva. Untergeordnet können Bio-Qz-Kfsp-Plg-Gneise rhyolithischer Metavulkanite eingeschaltet sein. Insgesamt überwiegt tonalitische Zusammensetzung.

2. Bio-Qz-Plg-Kfsp-Gneise rhyolithischer, rhyodazitischer bis latitischer Zusammensetzung, die teilweise Hbl-führend sind und mit Amphiboliten wechsellagern. Qz-andesitische Gesteine treten untergeordnet auf. Insgesamt überwiegt rhyolithische Zusammensetzung.

3. Eine Mischung von 1 und 2, in der sich die tonalitisch und rhyolithisch dominierten Anteile kartiertechnisch nicht trennen ließen.

Der Anteil der Amphibolite wechselt in den unterschiedenen Einheiten. Er kann maximal etwa 50% betragen. Lokal sind die Gneise und Amphibolite sowie Metadiorite und Metagabbros Ga-führend.

Metasedimente treten nur untergeordnet in Form von stark migmatischen Ga-führenden Bio-QzFsp-Gneisen, örtlich mit Sil auf. Ms ist sekundär an retrograde Mylonite gebunden. Gelegentlich wurden auch Metaquarzite, Graphitquarzite und Bioschiefer beobachtet.

Lokal treten basische Dykes bis 10 m Mächtigkeit auf, die als Amphibolite vorliegen. Ein ca. 10 m mächtiger Norit-Dyke im Westteil von Borgebotnen besitzt einen mehrere Dezimeter breiten chilled margin und ist nur in Bereichen duktiler Scherzonen in Amphibolit umgewandelt.

Wenige unmetamorphe basische Gänge durchschlagen das Grundgebirge der südwestlichen Kottasberge. Es handelt sich um mesozoische Dolerite, die auch die permokarbonischen Sedimente vom Schivestolen als Sill intrudieren und in die südöstlichen Nunataka von XU-Fjella aufbauen.

Die strukturelle Entwicklung der Kottasberge ist durch eine zweiphasige Formung gekennzeichnet. Die erste Deformation D1 hat einen NE-vergenten Falten- und Schuppenbau erzeugt. Faltung dominiert in den gut geschichteten Metavulkaniten insbesondere im Südwestteil der Kottasberge mit ausgeprägten R-Tektoniten. Die zweite Deformation D2 hat NW-vergente Falten und Überschiebungen erzeugt. Die hoch anisotropen Metavulkanite im SW-Teil der Kottasberge wurden durch D2 in steile Lage rotiert, wodurch die D1-Falten eine Schlingentektonik bilden. In den durch die massiven granitischen Intrusionen beherrschten Teilen der Kottasberge dominieren flache N- bis NW vergente Überschiebungen, welche die jüngsten Pegmatite und basischen Dykes versetzen. Die Metamorphosebedingungen der D1-Deformation lagen oberhalb der Stabilität von Ms im migmatischen Bereich. Die D2-Verformung reicht bis in den semiduktilen Bereich innerhalb der Stabilität von Biotit. Muscovit und Serizit wurden neu gebildet. Alle Einengungsstrukturen sind älter als die prapermische Landoberfläche. An einigen Stellen konnten kataklastische Abschiebungen unbekanntes Alters beobachtet werden. Nur in einem Fall konnte der Versatz der permokarbonischen Sedimente um wenige Meter nachgewiesen werden.

#### XU Fjella

Von der südöstlich zwischen den Kottasbergen und Sivorgfjella gelegenen XU-fjella konnte nur der südliche Anteil mit den Nunataks Hauglandkleppen, Bergslienfalllet und Storsveenfalllet kartiert werden.

Das Hauptmassiv von Hauglandkleppen wird von einem rötlichen, schwach vergneisten Metagranit aufgebaut, der reich an Paragneis- und Amphibolit-Xenolithen ist. Nach Osten hin folgen migmatische Paragneise mit Einschaltungen von Metarhyolithen und Hbl-führenden Metadaziten, die schließlich am Nordostsporn von Hauglandkleppen in feingebänderte Amphibolite übergehen.

In den Nunataks von Bergslienfalllet dominieren migmatische, granatführende Bio-Fsp-Qz-Gneise, die als Paragneise angesprochen wurden. Weiter nördlich bei Storsveenfalllet sind wieder bimodale Metavulkanite aufgeschlossen, vor allem graue, metadazitische Bio-Hbl-Fsp-Gneise und Amphibolite sowie untergeordnet rosafarbene Metarhyolithe.

Die gesamte südliche XU-fjella zeigt einen relativ einheitlichen tektonischen Bau. Die Gesteine sind um flach bis mittelsteil nach SW abtauchende Achsen gefaltet. Die S-Flächen fallen steil nach NW und SE ein. Der Faltenbau ist jünger als die Metatexis der Gneise, denn das meist lagig ausgebildete Neosom ist mitverfaltet.

Das kristalline Basement wird in den Kottasbergen und in XU-fjella an mehreren Stellen von unterpermischem Deckgebirge überlagert. Profile der auskartierten Vorkommen wurden bereits detailliert von POSCHER (1987, 1988) untersucht. Nach diesen Untersuchungen beginnt das am Schivestolen noch maximal 160 m mächtige Perm mit Diamiktiten und vorwiegend fluvioglazialen Bildungen, die zum Hängenden in Ablagerungen eines "braided river system" übergehen. Im hängenden Anteil sind am Schivestolen mehrere, bis zu 40 cm mächtige Kohleflöze eingeschaltet, die einen für Gondwanakohlen typischen hohen Mineral- und Fusinitgehalt aufweisen.

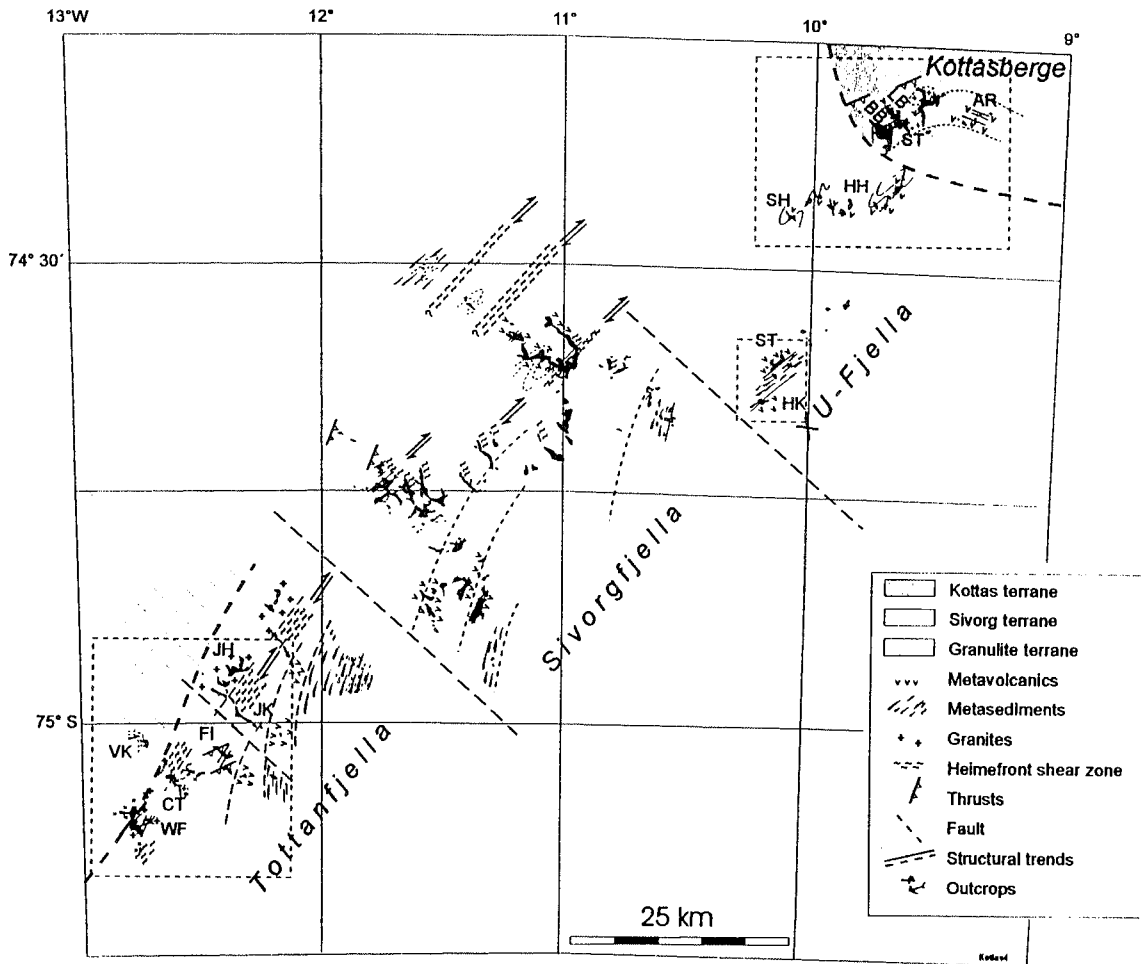


Abb. 1: Oversiktskarte der Heimfrontfjella. Kottasberge: AR Arntzenrustene, LB Leabotnen, BB Burasbotnen, ST Schivestolen, HH Hanssonhoma, SH Steenstruphten, XU-Fjella: ST Storsveenfjellet, HK Kauglandkleppen, Tottanfjella: JH Johnsonhogna, JK Juckeskammen, FI Flisegga, VK Vardeklettane, CT Cottontoppen, WF Worsfoldfjellet.

## **Zur Geologie der nördlichen Heimefrontfjella, westliches Neuschwabenland/Antarktika**

W. BAUER & G. SPAETH

Lehr- und Forschungsgebiet für Geologie - Endogene Dynamik der RWTH Aachen,  
Aachen

### 1. Einleitung

Die Heimefrontfjella ist ein ca. 150 km langer und bis zu 30 km breiter Gebirgszug im atlantischen Sektor Antarktikas, ca. 450 km südlich der Neumayer-Station. Der Schwerpunkt eigener Arbeiten zur Strukturentwicklung und Petrogenese des metamorphen Grundgebirges liegt im nördlichsten Teilgebiet Milorgfiella (auch Kottasberge genannt). Nach der geologischen Kartierung der zentralen Heimefrontfjella durch vorausgegangene deutsche Expeditionen (JACOBS & KREUTZER 1990, JACOBS et al. 1991) konnten durch die diesjährige Expedition die Kartierarbeiten mit der Bearbeitung der südlichsten (Tottanfiella) und nördlichsten (Milorgfiella und XU-Fjella) Teilgebiete abgeschlossen werden.

Von ca. 95% der eisfreien Fläche der Heimefrontfjella liegen nun geologische Manuskriptkarten im Maßstab 1:10.000 vor, die in Form geologischer Karten der Maßstäbe 1:25.000 und 1:100.000 veröffentlicht werden sollen. Im Hinblick auf neue Hypothesen zu einem jungproterozoischen Superkontinent (z.B. DALZIEL 1991, MOORES 1991) bildet die Heimefrontfjella ein Schlüsselgebiet zur Überprüfung dieser Rekonstruktion. Aus diesem Grunde u. a., ist ein detailliertes Kartenwerk als Grundlage für Diskussionen über die Rolle der Heimefrontfjella bei der kibarischen Orogenese wünschenswert.

### 2. Petrographische und geochemische Untersuchungen an Metamorphiten

Das metamorphe Basement Milorgfiellas wird von bimodalen Metavulkaniten aus rhyolithischen bis dazitischen und basaltischen Edukten gebildet, in die auch Paragesteine eingeschaltet sind. In diese vulkanosedimentäre Sequenz intrudierten Plutonite, die heute als Augengneise und Granitgneise die dominierenden Gesteinstypen Milorgfiellas bilden. Die metamorphe Überprägung während der kibarischen Orogenese erreichte die Amphiboliffazies, lokal kam es zur Bildung von Metatexiten. Posttektonisch intrudierten Granite und Diorite, die nur eine schwache Foliation erkennen lassen.

Zur Charakterisierung der Edukte der amphiboliffaziellen Metamorphite wurden geochemische und petrographisch-mineralogische Untersuchungen durchgeführt. Die mit den Metasedimenten vergesellschafteten Amphibolite sind anhand ihrer Spurenelement-Konzentrationen als ehemalige Ozeanbodenbasalte anzusprechen. Sowohl die Metaplutonite als auch die sauren Metavulkanite zeigen eine Spurenelementverteilung, die mit Magmatiten aktiver Kontinentalränder vergleichbar ist. Erhöhte Konzentrationen an Alkalien deuten auf eine Kontamination durch Beimengungen aus der Kruste hin. Zirkontypologische Untersuchungen weisen ebenfalls auf einen I-Typ-Magmatismus mit Beimischungen von Krustenmaterial während eines relativ späten Kristallisationsstadiums hin.

### 3. Mineralchemische Untersuchungen zu den Metamorphosebedingungen

Aus den Ergebnissen mineralchemischer Analysen an Biotiten, Muskoviten, Plagioklasen und Granaten aus Metasedimenten wurden mit Granat-Biotit-Geothermometern Metamorphosetemperaturen von 540°C 50° berechnet. Mit dem Geobarometer von GHENT & STOUT (1981) wurden Drucke von 4 kbar 1 kbar ermittelt. Damit werden allerdings nur die Druck/Temperatur-Bedingungen am Ende der kibarischen Orogenese eingegrenzt. Die beginnende Metatexis in Paragneisen und sauren Metavulkaniten sowie die Anwesenheit von Sillimanit in Metapeliten deuten auf eine temperaturbetonte Metamorphose im Bereich der Granitsolidus-Kurve hin. Aus der Tracht idiomorpher Zirkonhüllen um detritische Zirkone aus Metasedimenten lassen sich nach der Methode von PUPIN (1980) Temperaturen um 660°C für das Metamorphosemaximum ableiten.

### 4. Strukturgeologische Untersuchungen und Metamorphoseabfolge

In Milorgfiella lassen sich mindestens vier Deformationsphasen nachweisen. Zusammen mit den Untersuchungsergebnissen zur Metamorphosegeschichte und bereits publizierten geochronometrischen Daten (ARNDT et al. 1991, JACOBS 1991) lassen sich die ersten drei Phasen in einen pTD-Pfad einordnen (Abb. 1). Die älteste Deformationsphase (D0) führte zur Entwicklung einer Foliation parallel zum stofflichen Lagenbau (S1). JACOBS (1991) nimmt auch eine frühe, E-gerichtete Deckenstapelung an, für die es in Milorgfiella jedoch keine Hinweise gibt. Während des Metamorphosemaximums wurde die Granitsoliduskurve überschritten (Feld A, Abb. 1), so daß es bei günstigem Gesteinschemismus zur Bildung von Migmatiten kam.

Im Feld B (Abb. 1) sind die besser eingrenzbareren Metamorphosebedingungen am Ende der kibarischen Orogenese umrissen. Während der Deformationsphase D1 wurde S1 um NW-SE-orientierte Achsen NE-vergent gefaltet, und es entstand eine weitständigere, SW-fallende Schieferung S2.

Eine große zeitliche Lücke klafft zwischen den Feldern B und C der Abb. 1. Aufgrund der von JACOBS (1991) veröffentlichten K/Ar-Alter von Biotiten (Schließungstemp. ca. 300°C) um 500 Ma, müssen die NW-vergenten Mylonitzonen und B2-Falten der panafrikanischen Orogenese zugerechnet werden. Die Bildung der zu D2 gehörigen Störungsgesteine erfolgte im Bereich der duktilen Deformation von Quarz und der Kataklase von Feldspäten, wodurch man den Temperaturbereich der Mylonitisierung auf 300-450°C eingrenzen kann. Vor allem in den südwestlichen Nunataks von Milorgfiella hat die B2-Faltung zur Überfaltung der älteren B1-Achsen und zu einer steilachsigen Tektonik geführt. Mit dem tektonothermalen Ereignis vor 500 Ma war eine kräftige, aber nicht durchgreifende Diaphthorese in Milorgfiella verbunden.

Die jüngste tektonische Phase D3 steht mit dem Gondwanazerfall in Verbindung und führte zur Zerlegung des Gebirges in Teilblöcke.

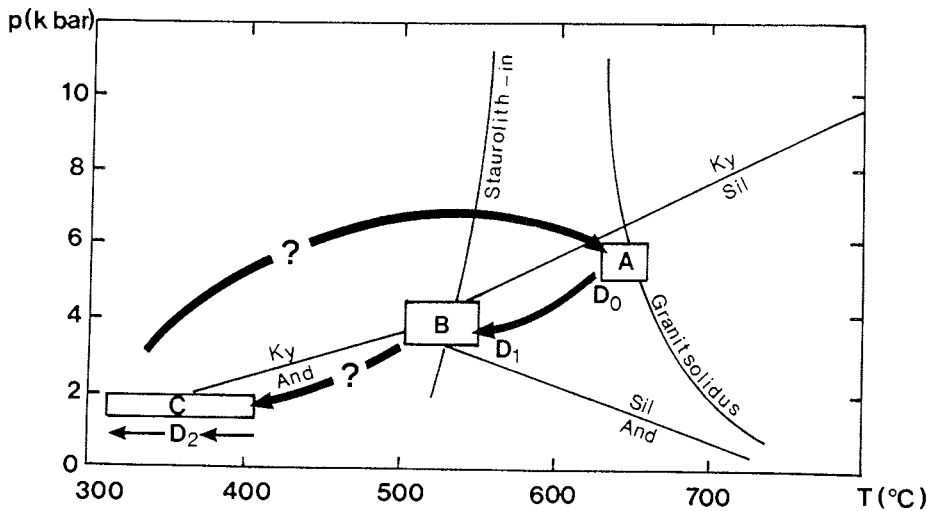


Abb. 1: Ein pTD-Pfad für die nördliche Heimefrontfjella. Feld A ca. 1.100 Ma, Feld B ca. 1.050 Ma (ARNDT et al. 1991); Feld C ca. 500 Ma (JACOBS 1991).

### 5. Die Stellung der nördlichen Heimefrontfjella in einem jungproterozischen Superkontinent

Die zeitliche Abfolge des magmatischen Geschehens beginnt nach geologischen Befunden mit der Ablagerung tholeiitischer Basalte sowie bimodaler, d. h. saurer bis intermediärer und basischer Vulkanite, dies alles im Wechsel mit Sedimenten. In die vulkanosedimentäre Serie intrudierten kurz vor oder während eines Frühstadiums der kibarischen Orogenese alkalibetonte Granite und Granodiorite und in einem Spätstadium der Orogenese Granite, Diorite und Aplite. Die aus den tholeiitischen Basalten hervorgegangenen Amphibolite sind anhand der Spurenelementkonzentrationen als N-Typ-MORB anzusprechen. Die Genese der syntektonischen Orthogneise (intermediäre und saure Vulkanite, alkalibetonte saure Plutonite) erfolgte wahrscheinlich an einem destruktiven Plattenrand innerhalb eines magmatischen Bogens.

Als Modell wird hierfür ein *fore arc basin* mit einem ozeanartigen Akkretionskeil vor dem *magmatic arc* vorgeschlagen (Abb. 2). Die basischen Vulkanite mit MORB-Charakteristik treten neben Sedimenten im Akkretionskeil vor der Subduktionszone auf und sind dort durch den Subduktionsvorgang eingeschuppt worden. Durch die kibarische Orogenese werden diese Gesteinstypen zusammen mit dem tieferen plutonischen Stockwerk des magmatic arc gefaltet und metamorphosiert. Als stabiles Vorland des kibarischen Kollisionsorogens wird der Maudheim-Kraton, ein Bruchstück des Kapvaal-Kratons des südlichen Afrikas angenommen (MOYES et al. 1993).

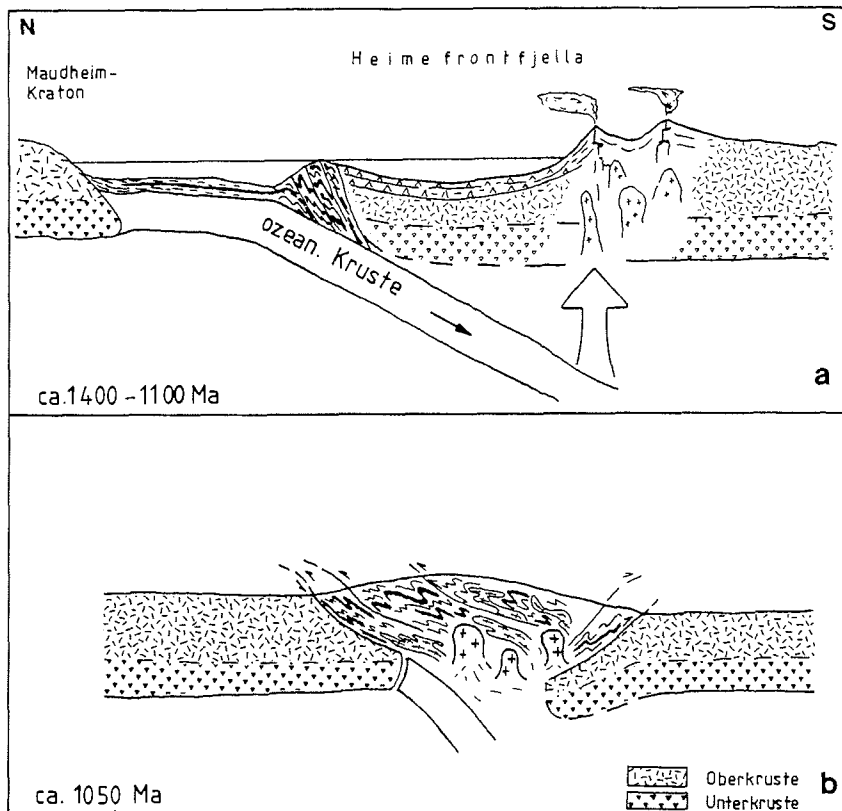


Abb. 2: Modell des Heimfrontfjella-magmatic-arc. Der Maudheim-Kraton liegt (rezent) im N der Heimfrontfjella. Die Alkalibetonung der synkibarischen Plutonite impliziert die Existenz kontinentaler Kruste unter dem magmatic arc.

Mit den kurz umrissenen Resultaten der eigenen Ergebnisse und den daraus gezogenen Schlußfolgerungen soll versucht werden, die Stellung der Heimfrontfjella bei der Bildung "Proto-Gondwanas" mit zu klären helfen. In den letzten Jahren wurde die Rolle des pazifischen Randes von Ostantarktika, an dessen atlantikseitigem Nordende die Heimfrontfjella liegt, intensiv diskutiert. Nach der SWEAT-Hypothese (MOORES 1991, DALZIEL 1991, HOFFMANN 1991) existierte ein neoproterozoischer Superkontinent ("Rodinia"), wobei die pazifische Seite Ostantarktikas mit dem pazifischen Rand Laurentias verbunden war. Nachdem der Superkontinent Rodinia bis vor etwa 600 Ma stabil blieb, soll der Kontinent zerbrochen und ein Mozambique-Ozean zwischen Ostantarktika und Afrika subduziert worden sein. Durch die Kollision zwischen Ostantarktika und Afrika wurde der kibarische Mozambique Belt vor ca. 500 Ma panafrikanisch überprägt.

Für die Subduktion des riesigen Mozambique-Ozeans fehlen Belege in Form von Sedimenten oder subduktionsbezogenen Magmatiten in der nördlichen Heim-



frontfjella. Für die panafrikanische Orogenese in der Heimefrontfjella ist festzustellen,

- daß Überschiebungen mit NW-gerichteter Kinematik und NW-vergente Falten damit verbunden sind,
- daß eine nicht durchgreifende Diaphthorese in der Umgebung von Überschiebungen festzustellen ist und
- daß ältere, kibarische Strukturen teilweise reaktiviert wurden.

## 6. Literatur

- ARNDT, N.T., TODT, W., CHAUVEL, C., TAPFER, M. & WEBER, K. (1991): U-Pb zircon age and Nd isotopic composition of granitoids, charnockites and supracrustal rocks from Heimefrontfjella, Antarctica.- *Geol. Rundsch.*, 80: 759-777.
- DAZIEL, I.W.D. (1991): Pacific margins of Laurentia and East Antarctica - Australia as a conjugate rift pair: Evidence and implications for an Eocambrian supercontinent.- *Geology*, 19: 598-601.
- GHENT, E.D. & STOUT, M.Z. (1981): Geobarometry and geothermometry of plagioclase-biotite-garnet-muscovite assemblages.- *Contrib. Mineral. Petrol.*, 76: 9297.
- HOFFMANN, P.F. (1991): Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside out? - *Science*, 252:1409-1412.
- JACOBS, J. (1991): Strukturelle Entwicklung und Abkühlungsgeschichte der Heimefrontfjella (Westliches Dronning Maud Land/Antarktika).- *Ber. Polarforsch.*, 97: 1-141.
- JACOBS, J. & KREUTZER, S. (1990): Geological mapping and structural investigations on basement rocks of Sivorgfiella.- In: KARLKVIST, A. [Hrsg.]: *Swedisch Antarctic Research Programme - A Cruise Report: 32-33*, Stockholm.
- JACOBS, J., KREUTZER, S., SCHNELLBACH, U., SCHULZE, P., SPAETH, G. & ZARSKE, G. (1991): Geologische Kartierung in der Heimefrontfjella.- *Ber. Polarf.*, 89: 93102.
- MOORES, E.M. (1991): Southwest U.S. - EastAntarctica (SWEAT) connection: A hypothesis.- *Geology*, 19: 425-428.
- MOYES, A.B., BARTON, J.M. & GROENEWALD, P.B. (1993): Late Proterozoic to Early Palaeozoic tectonism in Dronning Maud Land, Antarctica: supercontinental fragmentation and amalgamation.- *J. Geol. Soc.*, 150: 833-842.
- PUPIN, J.P. (1980): Zircon and granite petrology.- *Contrib. Mineral. Petrol.*, 73: 207220.

## Korrelation kibarisch-grenvillischer und pan-afrikanischer Strukturen zwischen Dronning Maud Land und Südafrika

Joachim Jacobs<sup>1</sup>, Robert J. Thomas<sup>2</sup> und Klaus Weber<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Geologie und Dynamik der Lithosphäre, Göttingen, <sup>2</sup>Council for Geoscience, Pietermaritzburg, Südafrika

### Einleitung

In der Heimefrontfjella (westliches Dronning Maud Land) sind Basementgesteine mit kibarisch-grenvillischem Alter (~1100 Ma) aufgeschlossen, die während des Pan-Afrikan (~500 Ma) zu unterschiedlichem Maße überprägt wurden (Arndt et al., 1991; Jacobs, 1991; Jacobs, et al., im Druck). Die Heimefrontfjella gehört vermutlich zu einem mehrere 1000 km langen Orogen, welches seine westliche Fortsetzung im Namaqua-Natal Belt Südafrikas und seine östliche Fortsetzung im zentralen und östlichen Dronning Maud Land findet (e.g. Grantham et al., 1988; Weber et al., 1991; Groenewald et al, 1993, Jacobs et al., 1993). Die Region des westlichen Dronning Maud Lands und des südlichen Afrikas ist seit der SWEAT-Hypothese (Moores, 1991) ein wichtiges Schlüsselgebiet zur Klärung der Frage, ob das

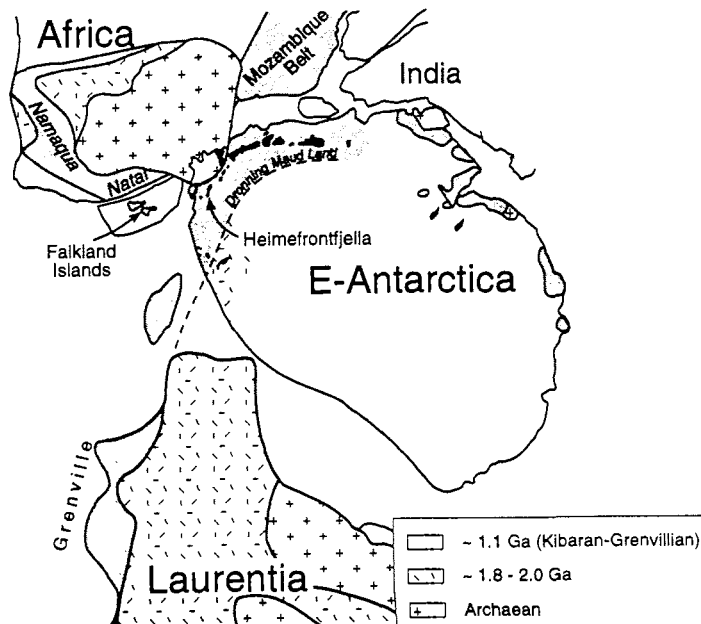


Abb. 1: Rekonstruktion von Ur-Gondwana nach Moores (1991). Danach befand sich die heutige Westküste Laurentias am protopazifischen Kontinentalrand der Ostantarktıs. Das Grenville Orogen soll seine Fortsetzung in Dronning Maud Land und in Südafrika haben.

Grenville Laurentias möglicherweise seine Fortsetzung in der Ostantarktis und dem südlichen Afrika hat. SWEAT spekuliert, daß die heutige Westküste Laurentias am protopazifischen Kontinentalrand der Ostantarktis gelegen haben könnte (Abb. 1), und die natürliche Fortsetzung des Grenville in Dronning Maud Land und Südafrika zu finden ist. Auf diese Hypothese wird im folgenden nicht weiter eingegangen, hingegen soll die Krustenentwicklung im westlichen Dronning Maud Land der des südlichen Afrikas gegenübergestellt und ein Entwicklungsmodell für die Gesamregion abgeleitet werden.

#### Kibarischn-grenvillische Akkretions- und Indentationstektonik am Südrand des Zimbabwe-Kappvaal Kratons

Der Zimbabwe Kappvaal Kraton bildet den archaischen Kern des südlichen Afrikas. Ein Fragment dieses Kratons ist im westlichen Dronning Maud Land in Annandagstoppane aufgeschlossen (Halpern, 1970). Dieser Kraton wird an seinem Südrand von dem meso-proterozoischen Namaqua-Natal-Heimefrontfjella Orogen gesäumt. In Natal und Namaqualand sind die Kontakte zum Kraton aufgeschlossen, während er in Dronning Maud Land unter dem Eis verborgen ist.

In der *Heimefrontfjella* steht eine meso-proterozoische vulkano-sedimentäre Gesteinsabfolge an, die von zahlreichen syn- bis spät-tektonischen Graniten Intrusionen intrudiert wird. Spättektonische Granite wurden mit ~1060 Ma datiert (Arndt et al., 1991). Die strukturelle Entwicklung läßt sich in zwei Hauptphasen gliedern. In einer frühen Einengungsphase kommt es zu einer W-E gerichteten invers-metamorphen Stapelung unterschiedlicher tektono-stratigraphischer Terranes. Im Zuge persistenter E-W gerichteter Einengung entsteht eine steilstehende dextrale Transpressionszone (Heimefront Shear Zone, Jacobs et al., im Druck), an der Granulite neben amphibolifazielle Gesteine versetzt werden.

In Natal sind drei deutlich unterschiedliche tektono-stratigraphische Terranes aufgeschlossen (e.g. Thomas, 1989), die, ähnlich wie in der Heimefrontfjella, während einer NE-SW gerichteten Einengungsphase invers metamorph gestapelt worden sind. Das nördlichste Terrane ist ein Ophiolitkomplex, der auf den Südrand des Kaapvaal Kratons überschoben wurde (Matthews, 1972). Für dieses Terrane gibt es keinerlei Äquivalente in der Ostantarktis. Im Süden anschließend folgt ein Terrane, welches einen metamorphen juvenilen Inselbogen repräsentiert und in dem Gesteine, wie sie typischerweise in der nördlichen Heimefrontfjella auftreten, vertreten sind. Das südlichste Terrane ist ein Granuliterrane, das große Ähnlichkeiten mit dem Granuliterrane der Heimefrontfjella aufweist (Thomas, 1994). Die beiden südlichen Terranes werden nach der Kollision entlang steilstehender sinistraler Scherzonen zerschert. Diese Scherzonen sind Transpressionszonen in die große Volumina spät-tektonischer Granite intrudieren (Jacobs & Thomas, 1994a).

Die tektonische Entwicklung in Namaqualand hat ebenfalls große Ähnlichkeiten mit der in Natal und der Heimefrontfjella. Auch hier sind die frühen Strukturen an eine NE- oder SW-gerichtete Überschiebungstektonik gebunden, die von einer späteren Wrenchtektonik überprägt wird. Die späteren steilstehenden Scherzonen weisen hier jedoch einen dextralen Schersinn auf.

Zusammenfassend bleibt festzustellen, daß die frühe Akkretionsgeschichte am Südrand des Kaapvaal Kratons in Namaqualand, Natal und der Heimefrontfjella

uniform NE-SW gerichtet war (Antarktis rekonstruiert zu seiner Position in Gondwana). In allen drei Gebieten wird die Kollision von einer ausgeprägte Wrenchtektonik abgelöst. Der Schersinn dieser Scherzonen ist dabei eine Funktion des persistenten Konvergenzvektors und der Orientierung des Kratonrands (Jacobs et al., 1993; Abb. 2). So haben sich sinistrale Scherzonen auf der Ostseite des Kratons und dextrale Scherzonen auf der Westseite des Kratons entwickelt. Der Kaapvaal Kraton fungierte als Indenter für das Namaqua-Natal-Heimefrontfjella Orogen (Jacobs et al., 1993). Die dextrale Heimefront Shear Zone ist vermutlich während differentieller Bewegungen zwischen dem Kaapvaal Kraton und dem ostantarktischen Kraton entstanden.

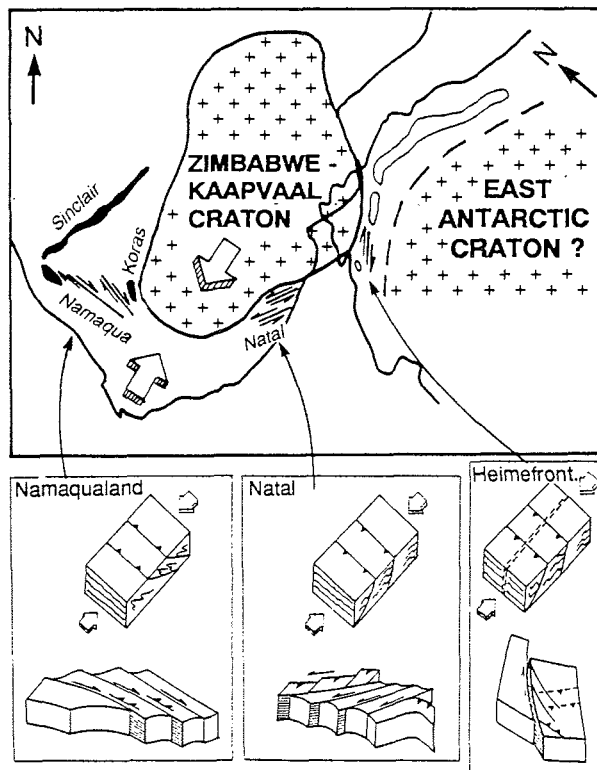


Abb. 2: Tektonische Karte und Blockdiagramme des Namaqua-Natal Heimefrontfjella Orogens. In jedem Teilgebiet beginnt die kibarisch-grenvillische Deformationsphase mit SW- oder NE-gerichteter Überschiebungstektonik. Diese wird gefolgt von einer Deformationsphase entlang steilstehender Scherzonen, die parallel zum Rand des Kaapvaal Kraton orientiert ist. Der Schersinn entlang dieser Scherzonen ist eine Funktion des persistenten NE-SW gerichteten Konvergenzregimes und der Orientierung des Kontinentalrands; aus Jacobs et al., 1993.

### Pan-Afrikanische Überprägung

Der Namaqua-Natal-Heimefrontfjella Belt ist zu unterschiedlichem Maße während des Pan-Afrikan überprägt worden. Dabei ist eine deutliche Abnahme der Überprägung von Ost nach West festzustellen (Abb. 3). Während der Ostteil der Heimefrontfjella noch pan-afrikanische K-Ar Abkühlalter aufweist, sind diese im Westteil nicht mehr vorhanden. In Natal konnte ein pan-afrikanisches Hebungseignis lediglich mit der Spaltspurmethode an Titanit nachgewiesen werden (Jacobs & Thomas, 1994b). Im zentralen und östlichen Dronning Maud Land nimmt die pan-afrikanische Überprägung ständig zu (Moyes et al., 1993). So konnte in Aufschlüssen der Lutzow-Holm Bucht und den Yamato Belgica Bergen vor kurzem pan-afrikanische granulitfazielle Kruste nachgewiesen werden (Shiraishi et al., 1992; Shiraishi et al., 1994).

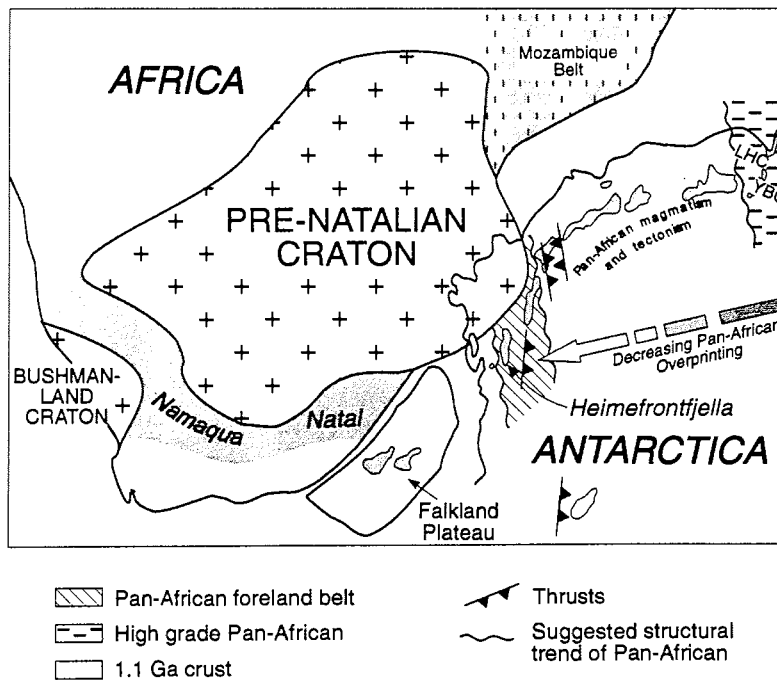


Abb. 3: Gondwanarekonstruktion für das südliche Afrika und die Antarktis nach Martin und Hartnady (1986) und des Falkland Plateaus nach Marshall (1994). Das Kibaran Afrikas und die Grenvilleäquivalente in der Antarktis werden von pan-afrikanischen Strukturen überprägt. Dabei ist eine Abnahme der Überprägung von Ost nach West zu beobachten. Ein pan-afrikanisches Hebungseignis in Natal konnte vor kurzem mit Hilfe der Spaltspurmethode an Titanit nachgewiesen werden (Jacobs und Thomas, 1994b); YBC: Yamato-Belgica Complex, LHC: Lutzow-Holm Complex.

Literatur

- Arndt, N.T., Todt, W., Chauvel, M., Tapfer, M., and Weber, K., 1991. U-Pb zircon age and Nd isotopic composition of granitoids, charnockites and supracrustal rocks from Heimefrontfjella Antarctica. *Geologische Rundschau*, 80: 759-777.
- Grantham, G.H., Thomas, R.J., Eglinton, B.M., Bruin, D. de and Evans, M.J., 1993. Corona structures in Proterozoic olivine melanorites of the Equeefa Suite, Natal metamorphic province, South Africa. *J. Mineralogy and Petrology*, 49: 91-102.
- Groenewald P.B., Grantham G.H. and Watkeys M.K., 1991. Geological evidence for a Proterozoic to Mesozoic link between southeastern Africa and Dronning Maud Land, Antarctica. *J. Geol. Soc. Lond.*, 148: 1115-1123.
- Halpern, M., 1970. Rubidium-strontium date of possibly three billion years for a granite rock from Antarctica. *Science*, 169: 977-978.
- Jacobs, J., 1991. Strukturelle Entwicklung und Abkühlungsgeschichte der Heimefrontfjella (Westliches Dronning Maud Land / Antarktika). *Ber. Polarf.*, 97: 141 pp.
- Jacobs, J., Ahrendt, H., Kreutzer, H. and Weber, K., (im Druck). K-Ar, 40Ar-39Ar and apatite fission track evidence for Neoproterozoic and Mesozoic basement rejuvenation events in the Heimefrontfjella and Mannfallknausane (East Antarctica). *Precamb. Res.*
- Jacobs, J. and Thomas, R.J., 1994a. Oblique collision at about 1.1 Ga along the southern margin of the Kaapvaal continent, south-east Africa. *Geol. Fdsch.*, 83: 322-333.
- Jacobs, J. and Thomas, R.J., 1994b. Pan-African rejuvenation of the ~1.1 Ga Natal Metamorphic Province: K/Ar muscovite and sphene fission track evidence. *Proceedings of the IGCP 348 geological field conference: The Mozambique Orogenic Belt in East Africa (Tanzania)*, p. 76-80.
- Jacobs, J., Thomas, R.J. and Weber, K., 1993. Accretion and indentation tectonics at the southern edge of the Kaapvaal craton during the Kibaran (Grenville) orogeny. *Geology*, 21: 203-206.
- Marshall, J.E.A., 1994. The Falkland Islands. A key element in Gondwana palaeogeography. *Tectonics*, 13: 499-514.
- Martin A.K. and Hartnady C.J.H., 1986. Plate tectonic development of the southwest Indian Ocean: a revised reconstruction of East Antarctica and Africa. *J. Geophys. Res.*, 91: 4767-4786.
- Matthews, P.E., 1972. Possible Precambrian obduction and plate tectonics in southeastern Africa: *Nature*, 240: 37-39.
- Moore E.M., 1991. Southwest U.S.-East Antarctic (SWEAT) connection: a hypothesis. *Geology*, 19: 425-428.
- Moyes, A.B., Barton, J.M. and Groenewald, P.B., 1993. Late Proterozoic to Early Palaeozoic tectonism in Dronning Maud Land, Antarctica: supercontinent fragmentation and amalgamation. *J. Geol. Soc. Lond.*, 150: 833-842.
- Shiraishi, K., Ellis, D.J., Hiroi, Y., Fanning, C.M., Motoyoshi, Y. and Nakai, Y., 1994. Cambrian orogenic belt in east Antarctica and Sri Lanka: Implications for Gondwana assembly. *J. Geol.*, 102: 47-65.
- Shiraishi, K., Hiroi, Y., Ellis, D.J., Fanning, C.M., Motoyoshi, Y. and Nakai, Y., 1992. The first report of a Cambrian orogenic belt in east Antarctica - an ion microprobe study of the Lutzow-Holm Complex. *In: Y. Yoshida, K Kaminuma and K. Shiraishi (Editors), Recent Progress in Antarctic Earth Science*, pp. 67-73.
- Thomas, R.J., 1989. A tale of two tectonic terranes. *S. Afr. J. Geol.*, 92: 306-321.
- Thomas, R.J., 1994. Report on South African Participation in the 1994 German International Expedition to the Heimefrontfjella (East Antarctica). *Geobulletin*, 37: 4-5
- Weber, K., Arndt, N.T., Jacobs, J. and Peters, M., 1990. The Proterozoic evolution of New Schwabenland and its correlation with the southern part of Africa. *Geodat. u. geophys. Veröff. Reihe 1*, 15: 62-63.

A) ANTARKTIS - Herzstück des südlichen Superkontinents,  
seine Bildungs- und Zerfallsphasen

- 2) Bildung des südlichen Superkontinents vor 0.5 Ga  
(die "Ross-Orogenese")

mit den Beiträgen von

Roland, N.W. & Kleinschmidt, G.  
Schüßler, U.  
Klee, S.  
Henjes-Kunst, F.  
Pauli, C.  
Matzer, S.  
Buggisch, W.  
Weber, B.  
Loske, W. & Miller, Hubert

## **Krustenentwicklung am mobilen pazifischen Rand der Antarktis - Erkenntnisse und offene Fragen zur Ross-Orogenese -**

ROLAND, N.W., BGR, Hannover & KLEINSCHMIDT, G., Univ. Frankfurt

### Einleitung

Seit Beginn der deutschen terrestrischen Geoforschung in der Antarktis Ende der siebziger Jahre ist das Transantarktische Gebirge (TAM) ein wesentliches Arbeitsgebiet.

Das Transantarktische Gebirge ist nicht nur die prägnanteste, morphologisch dominierende Struktur in der Antarktis, es ist auch mit >3000 km Länge eine der längsten Gebirgsketten der Welt. Der Gebirgszug ist auf den 1. Blick mit den Alpen vergleichbar. Durch Kompression aufgefaltete Gesteinseinheiten bilden Gipfel, die bis über 3000 m Höhe reichen. Aber: die Heraushebung ist zwar jung, die Auffaltung jedoch alt. Sie ereignete sich bereits im Erdaltertum (Paläozoikum). Hebung und Erosion legten die paläozoischen Gesteinsschichten frei und ermöglichten somit erst einen Einblick in die Entwicklung der Paläoantarktis am Rande des "Urpazifiks", als Antarktika noch Teil des Superkontinentes Gondwana war.

Als mit GANOVEX I die deutschen Forschungsarbeiten in Nord-Victoria-Land, am pazifischen Ende des TAM begannen, waren die wesentlichen Lineamente, die sich als Terrane-Grenzen herausstellten und die das Bild von Nord-Victoria-Land prägen (Abb. 1), noch nicht in ihrer gesamten Erstreckung von der Pazifik-Küste bis zum Ross-Meer bekannt. Die Plattentektonik hatte noch keinen Einzug in Nord-Victoria-Land gehalten. Ihre Bedeutung wurde erst mit fortschreitender Kartierung deutlich (GANOVEX-Team (1987): Geologische Karte von Nord-Viktoria-Land, 1:500 000). Die Kartierarbeit war Voraussetzung für die schrittweise Erarbeitung von Modellen, die die Entwicklung dieses Teils von Gondwana während des Paläozoikums beschreiben. Es zeigte sich, daß die altpaläozoische (genauer: kambro-ordovizische) Rossorogenese vor rd. 500 Ma den pazifischen Gondwana-Rand umgestaltete.

### Ross Orogenese: Ursachen, Auswirkungen und Verbreitung

Sehr spekulativ ist die Vorgeschichte, die einer Öffnung des "Urpazifiks" vorausging. Man kann nur mit Sicherheit sagen, daß die eine Seite von einem Kraton (die Ostantarktis ist ein Teilstück davon) eingenommen wurde. Für die Entwicklung nach der Ozeanöffnung lassen sich bessere Belege finden. Aus dem Charakter der Sedimente, die am Rande des Kratons abgelagert wurden, ist der marine Einfluß abzulesen. Vulkanite sind ihrem Chemismus zufolge in einem Inselbogen entstanden und es gibt Argumente, die auf eine Akkretion sogenannter Terranes am pazifischen Rand Gondwanas - oder zumindest im Bereich von Nord-Victoria-Land - hindeuten.

### Tektono-stratigraphische Terranes

Für das Vorhandensein von drei tektono-stratigraphischen Terranes in Nord-Victoria-Land, also für eine geologisch unterschiedliche Entwicklung in den durch Störungszonen bzw. schmale Schiefergürtel voneinander abgegrenzten Gebieten,



sprechen nicht zuletzt Metamorphose- und Deformationssprünge zwischen den Terranes.

Der älteste Bereich ist das Wilson Terrane. Es besteht vorwiegend aus Schiefen, Gneisen, Migmatiten und eingeschalteten Graniten. Der Metamorphosegrad ist mittel bis sehr hoch (Amphibolit- bis Granulitfazies), die Gesteine sind mehrfach überprägt (polymetamorph) und mehrfach deformiert (F2- F4).

Das Bowers Terrane umfaßt kambrische Vulkanite, d.h. mafische, vorwiegend submarine Laven, z.T. Pillows, sowie vulkanische Brekzien, Tuffe, Tuffite (Glasgow Volcanics). Sie werden von kambrischen bis ordovizischen Sedimenten (marine Tonsteine, Kalke sowie Sandsteine und z.T. Konglomerate: Mariner Group) und

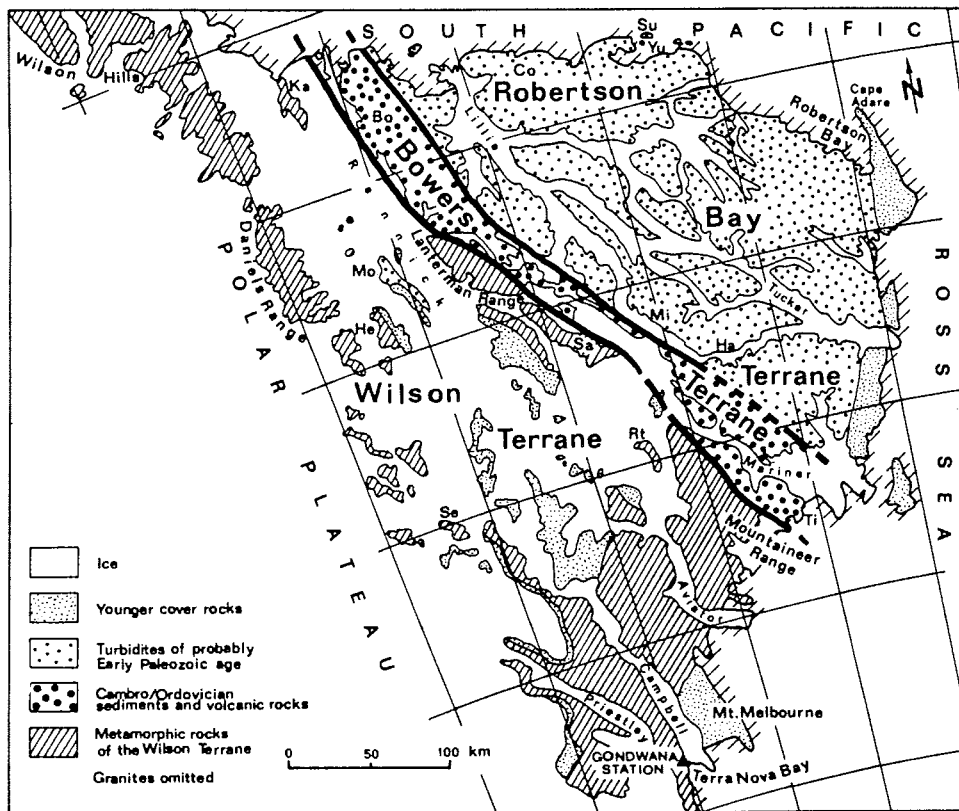


Abb. 1: Tektonische Übersichtskarte von Nord-Viktoria-Land mit Wilson Terrane, Bowers und Robertson Bay Terrane (aus: KLEINSCHMIDT & TESSENSOHN, 1987)

schließlich von fluviatilen Quarziten, Quarzkonglomeraten mit Einschaltungen von roten Tonsteinen (Leap Year Group) überlagert. Der Metamorphosegrad ist niedrig (very low grade bis Grünschieferfazies, letztere nur im SW des Bowers Terranes) die Deformation ist einfach (F<sub>1</sub>), wobei die Deformation der jüngeren Gesteine gering ist - sie sind in weitgespannten, offenen Falten verbogen - während die älteren Gesteine isoklinal verfaultet sind.

Östlich angrenzend befindet sich das Robertson Bay Terrane, das von einer Serie von sehr einheitlichen turbiditischen Grauwacken und Silt- und Tonsteinen eingenommen wird. Die Sedimente sind um NW streichende, vorwiegend horizontale Faltenachsen verfaultet. Die Faltungintensität nimmt von Ost nach West, von offenen Falten zu engen isoklinalen Falten zu. Dennoch hat sich nur eine Faltungsphase ausgewirkt (F<sub>1</sub>). Die Deformationalter liegen bei 480-490 Ma.

Die größeren Gemeinsamkeiten weisen das Bowers und das Robertson Bay Terrane auf. Die beiden werden als "exotic terranes" gedeutet, die an den Kraton angeschweißt wurden. Die Gesteine haben paläozoische Alter, aber sehr unterschiedliche Bildungsbedingungen. Die Vulkanite haben den geochemischen Charakter von Inselbogen-Vulkaniten, die Turbidite sprechen für Ablagerungen an einem Kontinenthang. Im Wilson Terrane ist vermutlich auch altes, prakambrisches Krustenmaterial inkorporiert bzw. es besteht aus einem aufgearbeiteten, thermisch stark überprägten alten Krustensegment. Die Schiefer und Gneise werden von einer breiten Front von Granitintrusionen (Granite Harbour Intrusives) durchtränkt.

#### Paläozoische kompressive Tektonik

Die Faltung, speziell die Zunahme der Faltung im Robertson Bay und im Bowers Terrane von Ost nach West, die Faltenvergenz, die Überschiebungstektonik mit ostwärts und westwärts gerichtetem Transport (thrusts und back-thrusts) sprechen für eine altpaläozoische Subduktion unter das Wilson Terrane. Zwei Gürtel unterschiedlicher Drucke passen gut zu den Modellvorstellungen. Die höheren Drucke im Bereich von Mountaineer Range und Lanterman Range (bei 650-750 °C), sowie die Existenz von tektonisch eingeschuppten basischen bis ultrabasischen Linsen (z.T. F<sub>1</sub>-Klogit) sind weitere Hinweise, daß die angenommene Subduktionszone im Grenzbereich der heutigen Wilson/Bowers Terranes zu suchen ist. Die Transportrichtung war nach Westen gerichtet, so daß im Altpaläozoikum zumindest im Nord-Victoria-Land eine Kompression in E-W-Richtung vermutlich vorherrschte. In Süd-Victoria-Land spricht vieles für eine schräge Subduktion (left-oblique convergence).

#### Intrusionen (Granite, Tonalite, Diorite, Gabbros)

Die weite Durchflutung mit Granitintrusionen im Wilson Terrane (Granite Harbour Intrusives, Abkühlungsalter um 480 Ma) und ihre geochemischen Charakteristika sind ebenfalls Indiz für eine altpaläozoische Subduktion. Im östlichen Wilson Terrane sind I-Typ-Granite, im westlichen S-Typ-Granite aufgeschlossen. Ihre Charakteristiken sprechen für einen aktiven Kontinentalrand über einer Subduktionszone (VETTER & TESSENHORN 1987). Auch die Spurenelement-Muster basischer bis intermediärer Schmelzen (Gabbro, Diorit), die im nordwestlichen Wilson Terrane intrudierten, zeigen einen aktiven Kontinentalrand an, sprechen also für Subduktion (SCHÜSSLER et al. 1992). Die Intrusionen sorgten für die Aufheizung des Nachbargesteins und bewirkten damit eine vollständige oder teilweise Rück-

stellung der radiometrischen Uhr. Dies macht eine Datierung der umgebenden Schiefer und Gneise, und damit auch eine Bestimmung des Deformationsalters der Metamorphite sehr problematisch.

#### Ausklang der Ross Orogenese

Die kompressive, mit Subduktion verbundene Phase wurde von einer Phase der Entspannung und Dehnung gefolgt. Kollapsstrukturen zeigen ein vertikales Stressfeld an. Die morphologische Heraushebung des Ross-Orogens ist auch durch Erosion und Einrumpfung des Gebirges (Kukri Peneplain) zwischen Ordovizium und Devon dokumentiert.

#### Verbreitung der Ross-Orogenese

Die Ross-Orogenese ist im Nord-Victoria-Land besonders deutlich nachweisbar. Auch im weiteren Verlauf des TAM finden sich Hinweise auf altpaläozoische Faltung der Gesteine, Granitbildung und Abkühlung um 480-500 Ma. Während Mary Byrd Land, Pensacola Mts. und Shackleton Range noch als dem TAM benachbarte bzw. in streichender Fortsetzung gelegene Krustenblöcke angesehen werden können und Ross-Alter bzw. Ross-Deformationen nicht überraschend sind, wurden inzwischen auch aus der Ostantarktis Ross-zeitliche Granitalter und Deformationen beschrieben.

Aber es gibt deutliche Unterschiede zwischen einzelnen Gebieten. Eine in Süd-Victoria-Land bzw. im zentralen TAM entwickelte Karbonatplattform, die ein Hinweis auf marine Flachwassersedimentation ist, fehlt im Norden. Dafür sind im Süd-Victoria-Land und im zentralen TAM keine Terranes bekannt. Am Ostrand des Weddellmeeres, in der Shackleton Range, die 1987/88 Ziel deutscher Arbeiten (GEISHA) und im 1994/95 Ziel deutscher Geologen in der europäischen Expedition EUROSHACK sein wird, hat sich im Paläozoikum eine deutlich andere Entwicklung vollzogen, obwohl auch die Shackleton Range am Außenrand der Ostantarktis gelegen haben dürfte. Dort herrschte eine stark kompressive Tektonik mit Deckenüberschiebungen vor, während die Durchtränkung mit Graniten fehlt. Herrscht in der Shackleton Range Kollision ohne wesentliche Subduktion aber mit weiten Deckenschüben vor, während in Nord-Victoria-Land Subduktion zur Akkretion von einem Inselbogen führte?

#### Offene Fragen

Aus diesen Beobachtungen wäre zu folgern, daß das Ross-Orogen längs des TAM seinen Charakter ändert. Auch wenn der Kenntnisstand nach den letzten Expeditionen sprunghaft zugenommen hat, so sind noch viele Probleme ungelöst. Auf einem von der BGR initiierten LIRA-Workshop zum Thema "Ross-Orogen" in Dallas im Oktober 1994, wurden weitere offene Fragen formuliert:

- Wie paßt die in Süd-Victoria-Land ermittelte schräge Kompressionsbewegung mit der in Nord-Victoria-Land angenommenen orthogonalen Kompression zusammen? - Warum ist in Nord-Victoria-Land keine Karbonatplattform erhalten, oder war sie ausgebildet und wurde während der Subduktion zerstört?
- Wie passen die Turbidite (z.B. im Robertson Bay Terrane) die für einen Kontinentaltalhang sprechen, in das Subduktionsgeschehen?

- Ist unter dem sehr monotonen, weitflächigen Robertson-Bay-Flysch eine Detachment-Fault? Ruht der Flysch auf kontinentaler Kruste?
- Wie passen die Sedimente im Bowers Terrane zum vulkanischen Inselbogen? - Sind Bowers und Robertson Bay zwei separate allochthone Terranes?
- Wie genau läßt sich die Ross-Orogenese zeitlich fassen?
- Hat sich die Ross-Orogenese auch in der weit entfernten Ostantarktis ausgewirkt? - Ist dort nur ein thermales Ereignis festzustellen (Granitintrusionen um 500 Ma) oder ist von Orogenese mit Kompression, Auffaltung etc zu sprechen?
- Sind Ross- und Beardmore Orogenese, die in Süd-Victoria-Land deutlicher ausgeprägt ist, als getrennte Ereignisse anzusehen oder gehen sie zeitlich und räumlich ineinander über?

Das 500-Ma-Ereignis wird auch während der geplanten GEOMAUD-Expedition (1995/96) in der Ostantarktis untersucht werden. Ein weiterer Schritt ist die Ankopplung an zeitgleiche Ereignisse auf anderen Kontinenten. Als Herzstück Gondwanas kommt der Antarktis jedoch eine besondere Rolle in der Erforschung der paläozoischen Krustenentwicklung der Erde zu.

#### Literatur

- GANOVEX-Team (1987): Geological map of North Victoria Land, Antarctica, 1:500000 - Explanatory Notes.- Geol. Jb., B 66, 7-79, Hannover.
- KLEINSCHMIDT, G. & TESSENSOHN, F. (1987): Early Paleozoic westward directed subduction at the Pacific margin of Antarctica. - in: McKenzie, G.D. (ed.): Gondwana Six: Structure, tectonics and geophysics. Amer. Geophys. Union, Geophys. Monogr. Series, 40: 89-105.
- ROLAND, N.W. (1991): The boundary of the East Antarctic Craton on the Pacific margin.- In: THOMSON, M.R.A., CRAME, J.A. & THOMSON, J.W. (eds.): Geological evolution of Antarctica, 161-165, Cambridge ( Cambridge Univ. Press).
- SCHUSSLER, U., SKINNER, D.N.B. & ROLAND, N.W. (1993): Subduction-related Mafic to Intermediate Plutonism in the Northwestern Wilson Terrane, North Victoria Land and Oates Coast, Antarctica. Geol. Jb., E 47, 389-417, Hannover.
- VETTER, U. & TESSENSOHN, F. (1987): S- and I-Type granitoids of North Victoria Land, Antarctica and their inferred tectonic setting. - Geol. Rundschau 76, 233 - 243.

## Metamorphite im NW-Teil des Wilson Terranes, Oates Coast, Antarktis

Ulrich Schüssler  
Mineralogisches Institut, Universität Würzburg, Würzburg

### Einleitung

In Nord Victoria Land wurden drei unterschiedliche Terrane-Gürtel im Laufe der Ross Gebirgsbildung vor etwa 500 Ma durch eine kontinentwärts gerichtete Subduktion ozeanischer Kruste am heutigen Ostrand des alten antarktischen Kontinents zusammengefügt. Dabei spielte das Wilson Terrane die Rolle eines aktiven Kontinentalrandes (z.B. Kleinschmidt & Tessensohn 1987). Im Bereich der Oates Coast besteht das Wilson Terrane zum Großteil aus einem hochmetamorphen Gesteinskomplex mit kalkalkalische Intrusionen, entstanden durch erhöhten Wärmefluss in diesem über der Subduktion gelegenen Krustenteil. Durch Einengungstektonik während der Gebirgsbildung wurde der gesamte Metamorphitkomplex abgeschert und nach Osten und Westen entlang der Wilson- und Exiles Störungszonen auf sehr schwachmetamorphe Sedimente überschoben (Flottmann & Kleinschmidt 1991, 1993; siehe auch Abb. I). Während der BGR-Expedition GANOVEX V wurde eine erstmalige flächendeckende Kartierung des Metamorphitkomplexes durchgeführt, verbunden mit einer Beprobung für petrologische Untersuchungen. Im Rahmen von GANOVEX VII konnte mit einer Detailaufnahme wichtiger Aufschlüsse begonnen werden. Erste Ergebnisse der petrologischen Arbeiten werden im folgenden dargestellt (vgl. auch Schüssler, Geol. Jb., zum Druck eingereicht).

### Geländebefund

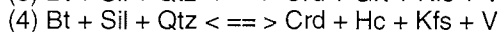
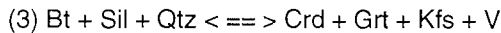
Der Metamorphitkomplex wird überwiegend von sehr monotonen Serien aus Meta-Grauwacken aufgebaut, mit einer gewisse Variabilität zu quarzitischer oder pelitischer Zusammensetzung. Zwischengeschaltet sind mitunter Kalksilikat- und Amphibolitlagen, gelegentlich treten Ultrabazit-Linsen auf. Die gesamte Abfolge war von einer mehr oder weniger starken Aufschmelzung betroffen. Dadurch entstanden Metatexite mit cm-großen Leukosomen, Migmatite mit bis zu mehreren dm breiten Leukosomen und Palaosomen, und Diatexite, bei denen ein Großteil des Gesteins aufgeschmolzen wurde und die z.T. granitisches Aussehen haben, lediglich mit einigen nebulitischen Restitischlieren. In einigen Aufschlußbereichen konnte eine in-situ Aufschmelzung über alle Stadien hinweg bis zur Granitbildung beobachtet werden.

### Metamorphe Entwicklung

Meta-Grauwacken als vorherrschender Gesteinstyp bestehen sehr monoton aus migmatischen Gneisen mit der Paragenese  $Qtz + Pl + Bt \pm Grt \pm Kfs$ . Bei mehr pelitischer Zusammensetzung wurde die Paragenese  $Qtz + Pl + Bt + Sil + Crd \pm Kfs \pm Grt$  gefunden. Dabei zeigen Sillimanit und Kalifeldspat in Abwesenheit von Muscovit sowie das Auftreten von Sillimanit als Einschlüsse in Cordierit, durch diesen von Biotit getrennt, daß folgende Mineralreaktionen in prograder Richtung abgelaufen sind:

- (1)  $Ms + Qtz < == > Sil + Kfs + V$
- (2)  $Bt + Sil + Qtz < == > Crd + Kfs + V$

Bei einer Gruppe von Proben wird ein noch höherer Metamorphosegrad durch die Paragenese Qtz + Pl + Bt + Sil + Crd + Hc + Grt ± Kfs angezeigt. Sillimanit bildet jetzt Einschlüsse in Cordierit und in Granat. Zusammen mit Cordierit oder Granat findet man außerdem grünen Hercynit. Demnach sind zwei weitere Reaktionen in prograder Richtung überschritten wurden:



In einigen Proben zeigt eine randliche Verdrängung des sillimanitführenden Granats durch Cordierit eine Reaktion an, die im Anschluß an Reaktion (3) bei ähnlich hohen Temperaturen, aber geringerem Druck ablief:



Innerhalb der Metaklastit-Serien findet man Zentimeter- bis Dekameter große Bereiche, in denen das Auftreten von Orthopyroxen in der Paragenese Qtz + Pl + Bt + Opx ± Grt ± Cpx sehr hochgradige, granulitfazielle Metamorphosebedingungen anzeigt.

Die meisten Gesteine wurden nach der prograden Entwicklung nochmals unter niedrigeren Metamorphosebedingungen überprägt. Dabei wurden vor allem Orthopyroxen in Orthoamphibol und Cordierit in diverse Schichtsilikate umgewandelt. Eine Neusprossung von Muskovit und eine manchmal fast vollständige Reequilibrierung ehemals höhergradiger Gesteine zu Muskovit-Biotit-Gneisen zeigt eine verzögerte Abkühlung des Metamorphitkomplexes im Stabilitätsfeld von Muskovit an; radiometrische Altersdatierungen weisen in dieselbe Richtung (Schüssler & Henjes-Kunst 1994).

### Regionale Verteilung

Betrachtet man die Unterschiede im Metamorphosegrad unter regionalem Aspekt, dann stellt man fest, daß der metamorphe Komplex der Oates Coast in drei Bereiche aufgeteilt werden kann, eine **östliche Zone**, eine **Zentralzone** und einen **westlichen Block**. Die östliche Zone endet nach Osten am Wilson Überschiebungssystem und wird nach Westen durch einen noch nicht genauer charakterisierten Übergangsbereich gegen die Zentralzone begrenzt. Die Zentralzone wird im Westen durch die am Matusevich Gletscher entlanglaufende östliche Exiles Überschiebung abgeschnitten. Der westliche Block liegt als Lazarev Mts. zwischen der östlichen und der westlichen Exiles Überschiebung (Abb. 1). In der östlichen Zone und im westlichen Block wurden nur Gesteine gefunden, die die Mineralreaktionen (1) und (2) durchlaufen haben. Es gibt keine Hinweise für die Reaktionen (3) und (4). Für die Gesteine der Zentralzone wurde ein höherer Metamorphosegrad durch den Ablauf der Reaktionen (3) und (4) nachgewiesen. Opx-führende Gesteine treten ebenfalls nur in dieser Zone auf. Lithologisch gesehen ist die Zentralzone etwas bunter aufgebaut als die Randzonen.

### Ergebnisse und Schlußfolgerungen

I. Der Metamorphitkomplex im NW-Teil des Wilson Terranes unterlag während der Ross Gebirgsbildung einer Hochtemperatur-Niederdruck Metamorphose, wobei

sich aufgrund unterschiedlichen Metamorphosegrades eine Dreiteilung in eine östliche Zone, eine Zentralzone und einen westlichen Block ergibt. Nach ersten Abschätzungen dürften, bei Drucken von 4 bis 5 kbar, in der östlichen Zone und im westlichen Block Temperaturen von 700° bis 750°C erreicht worden sein. In der Zentralzone muß mit Temperaturen von 750° bis 800°C, möglicherweise noch höher, sowohl für die Sil-Crd-Grt-Hc-führenden als auch für die Opx-führenden Gesteine gerechnet werden.

2. Nach Ergebnissen deutscher und italienischer Arbeitsgruppen (z.B. Schubert & Olesch 1989; Palmeri et al. 1991; Talarico & Castelli 1994) treten in der Deep Freeze Range am SE-Ende des Wilson Terranes bezüglich Lithologie und metamorpher Entwicklung nahezu identische Gesteinsserien auf. Granulitfazielle Gesteine wurden auch in der Daniels Range gefunden (Plummer et al. 1983). Dies spricht dafür, daß sich der hochgradige Metamorphitkomplex der Oates Coast am gesamten Westrand des Wilson Terranes über eine Distanz von über 600 km bis zur Ross-Meer Küste hinzieht.

3. Fraglich ist die geologische Stellung der granulitfaziellen, Opx-führenden Gesteine in der Zentralzone des Oates Coast Metamorphitkomplexes. Vergleichbare Gesteine der Deep Freeze Range werden von italienischen Geologen als Relikte des über 1 Ga alten antarktischen Kratons angesehen. Dies konnte analog für die Granulite der Oates Coast gelten, jedoch erlaubt die geologische Situation hier auch eine andere Interpretation, die m.E. eher zutrifft: Der Metamorphitkomplex wurde im Rahmen der gebirgsbildenden Einengungsbewegungen von der darunterliegenden Unterkruste abgeschert und nach Osten und Westen auf sehr schwachmetamorphe Gesteine aufgeschoben (Flottmann & Kleinschmidt 1991, 1993). Parallel zu diesen Bewegungen wurde der westliche Block durch die östliche Exiles Störung vom Rest des Metamorphitkomplexes abgeschnitten und von diesem nach Westen überfahren. Durch eine Kippung dieses Restkomplexes während der Überschiebung auf den westlichen Block wurde ein tieferer Krustenteil mit sehr hochgradig metamorphen Migmatiten und Granuliten als "Zentralzone" in einen höheren Krustenbereich gebracht (Abb. 2). Nach dieser Vorstellung sind die Granulite keine Relikte des alten Kontinents, sondern repräsentieren lediglich ein tieferes Krustenstockwerk des während der Ross Gebirgsbildung geprägten Metamorphitkomplexes.

#### Ausblick

Ergebnisse der Übersichtskartierung und -beprobung vermitteln erste Vorstellungen vom generellen geologischen Aufbau des nordwestlichen Wilson Terranes als westlichstem Teil des Ross Orogens und Übergangsgebiet zum alten antarktischen Kontinent. Es geht nun darum, diese Vorstellungen durch Detailuntersuchungen zu untermauern, ggf. auch zu modifizieren. Mit einer detaillierten Geländeaufnahme und Beprobung wichtiger Aufschlüsse wurde im Rahmen von GANOVEX VII begonnen, jedoch ist diese Arbeit längst nicht abgeschlossen. Fragen nach dem genauen lithologischen Aufbau der einzelnen Zonen, nach dem bislang unklaren Übergang zwischen östlicher und Zentralzone, nach weiteren Granulitvorkommen, die vielleicht mehr Aufschluß über die geologische Stellung dieser Gesteine geben, sowie nach weiteren Bindegliedern des vermuteten hochmetamorphen Gürtels zwischen Oates Coast und Deep Freeze Range können nur durch Fortsetzung der Geländearbeiten angegangen werden. Aus zukünftigen, z.T. schon begonnenen Untersuchungen zur Mineralchemie, Gesteinschemie, Isotopie, Fluidzusammensetzung der Gesteine lassen sich Aussagen über Ausgangsmaterial, Alter,

Metamorphosebedingungen, und damit über eine unterschiedliche oder gemeinsame geologische Entwicklung einzelner Gesteinsserien, z.B. der Granulite und Migmatite der Zentralzone, treffen.

#### Literatur

- FLÖTTMANN & KLEINSCHMIDT (1991): *Geology*, 19: 45-47.  
FLÖTTMANN & KLEINSCHMIDT (1993): *Geol. Jb.*, E 47: 419-436.  
KLEINSCHMIDT & TESSENHORN (1987): *Geophys. Monogr. Ser.*, 40: 89-105.  
PALMERI et al. (1991): *Mem. Soc. Geol. It.*, 46: 179-195.  
PLUMMER et al. (1983): In: OLIVER et al.: *Antarct. Earth Sci.*: 113-117, Cambridge  
SCHUBERT & OLESCH (1989): *Geol. Jb.*, E38: 277-298.  
SCHÜSSLER & HENJES-KUNST (1994): *Chem. Erde*, 54: 297-318.  
TALARICO & CASTELLI (1994): *Terra Antarctica*, 1: 19-22.



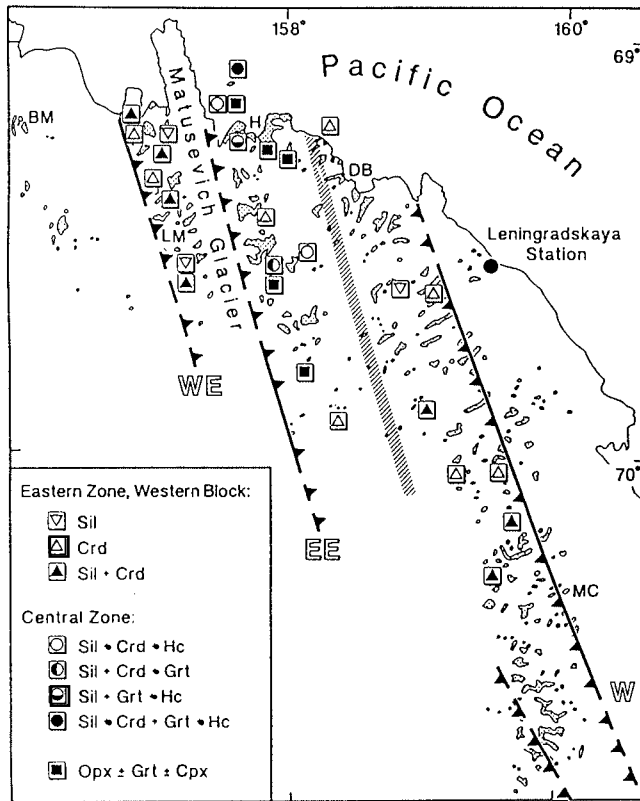
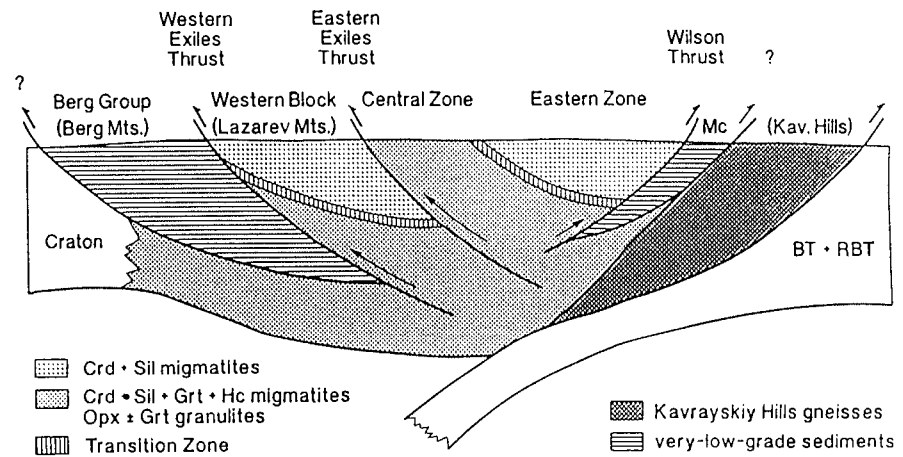


Abb.1 (links): Regionale Verteilung kritischer Mineralparagenesen im nördlichen Wilson Terrane (immer zusammen mit Bt, Pl, Qtz, z.T. Kfs). WE, EE, westliche bzw. östliche Exiles Überschiebung; W, Wilson Überschiebung; Schraffur, Übergang zwischen östlicher Zone und Zentralzone. BM, Berg Mts.; LM, Lazarev Mts., H, Harald Bay; DB, Davies Bay; MC, McCain Bluff.

Abb.2 (unten): Schematischer W-E Querschnitt durch das nördliche Wilson Terrane nach Flöttmann & Kleinschmidt (1993), dem neuen petrologischen Befund entsprechend modifiziert und ergänzt (beide Abb. aus Schüssler, Geol. Jb., zum Druck eingereicht).



## **Altersbestimmung hochmetamorpher Gesteine des südlichen Wilson-Terranes, Nord-Victorialand, Antarktis**

Susanne Klee  
(Arbeitsgruppe Grauert/Thiedig) Universität Münster, Münster

### 1. Einleitung

Die hochmetamorphen Gesteine des südlichen Wilson-Terranes (Abb. 1) werden von LOMBARDO et al. (1989) in eine migmatische und eine granulitfazielle Einheit unterteilt. Beide Einheiten haben eine prograde und eine retrograde Metamorphose erfahren. Die maximalen p-T-Werte der migmatischen Einheit lagen nach LOMBARDO et al. (1989) bei 650 - 750°C und 4 - 6 kbar. In der granulitfaziellen Einheit im Gebiet des Mt. Emison betragen sie nach TALARICO & CASTELLI (1994) 740 - 880°C und 4 - 5 kbar. Die retrograde Überprägung erfolgte bei 610 - 660°C und 3 - 4 kbar.

LOMBARDO et al. (1989) erwähnen folgende Möglichkeiten für die Altersbeziehung zwischen den granulitfaziellen Gesteinen und den migmatischen Gneisen:

- Die migmatischen Gneise entsprechen retrograd überprägten Granuliten.
- Die migmatischen Gneise haben eine getrennte, einfachere tektonometamorphe Entwicklung durchlaufen.

Weiter wird die Frage aufgeworfen, ob es sich bei den Granuliten um tektonisch eingeschuppte Fragmente des ostantarktischen Kratons handeln könnte.

Mit Hilfe von Altersbestimmungen sollte in Ergänzung zu bereits mitgeteilten Daten für migmatische Gneise der Terra-Nova-Bay-Region (KLEE et al., 1992) zur Beantwortung dieser Fragen beigetragen werden. Die Ergebnisse wurden durch UPb-Isotopenanalyse von akzessorischem Zirkon, Monazit und Titanit sowie durch Rb-Sr-Analyse von Kleinbereichsprofilen aus folgenden Vorkommen (Abb. 1) erhalten:

#### Migmatische Einheit

Migmatischer Sill-Cord-Gt-Bt-Gneis (116291), Terra-Nova-Bay-Region, ca. 800 m westlich der Gondwana-Station

#### Granulitfazielle Einheit

Hercynitführender Gt-Opx-Gneis (EMI 4), Mt. Emison-Region

Hercynitführender Cord-Gt-Opx-Gneis (ANT 145), Mt. Emison-Region  
Granulitfazielles Gneis (EMI 17), Mt. Emison-Region

Amph-Kpx-Gneis (ANT 144), Mt. Emison-Region

#### Granulit aus Mimmatit mit granulitfaziellen Relikten

Enderbitknollen (US 66, SF 5) in nebulitischem Migmatit, Kay Island.

### 2. Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse geschieht für die U-Pb-Daten im Concordia Diagramm nach WETHERILL (1956). Die Rb-Sr-Isotopendaten der Kleinbereichsprofile werden anhand von  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Profildigrammen nach BACHMANN & GRAUERT (1986) diskutiert.

## 2.1. Migmatischer Gneis (116291)

U-Pb-Analysen durch KLEE et al. (1992) an akzessorischen Zirkonen und Monaziten aus migmatischen Gneisen östlich der Gondwana-Station hatten bereits eindeutige Hinweise für eine Metamorphose vor 480 - 490 Ma ergeben. Diese sollten durch Rr-Sr-Analyse eines Kleinbereichsprofils quer zur metamorphen Foliation ergänzt werden. Die berechneten  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verteilungen (Abb. 2) zeigen hingegen keine Homogenität der Verhältnisse, weder vor 480 - 490 Ma noch davor oder danach. Es läßt sich lediglich eine gewisse Glättung des Profils für die Zeit vor 450 - 460 Ma erkennen. Diese ist jedoch zu gering, um als Ausdruck der Schmelzbildung in einem kleinen Gesteinsvolumen von nur wenigen  $\text{dm}^3$  angesehen zu werden. Rb-Sr-Kleinbereichsanalysen an anatektischen Gneisen, die von keiner späteren Deformation oder retrograden Überprägung erfaßt wurden, haben andernorts im allgemeinen gut definierte Isochronen ergeben, deren Alter mit den U-Pb-Monazitaltern übereinstimmen.

Die Isotopenverteilung vor 450 - 460 Ma des vorliegenden Profils läßt sich ohne detaillierte Isotopenanalyse der Minerale in Verbindung mit einer mineralogisch /gefügekundlichen Untersuchung nicht näher interpretieren. Sie konnte u.a. das Ergebnis späterer differentieller Mylonitisierung oder Fluideinwirkung sein oder auf unterschiedliches Diffusionsverhalten von Sr in den verschiedenen Lagen des Gesteins zurückgehen.

Die  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse liegen im Mittel über 0,72. Dies ist ein Hinweis auf einen hohen Anteil klastischer Komponenten aus einer älteren Kruste im Edukt der Gneise.

## 2.2 Retrograder Hercynit-Orthopyroxen-Granat-Gneis (EMI4)

Der retrograd überprägte Gneis weist Relikte einer granulitfaziellen Paragenese auf. Das untersuchte Kleinbereichsprofil verläuft quer zur feinstreifigen Foliation mit zwei begrenzten grobkörnigen Mobilisaten. Die undeformierten Mobilisate führen neben Kalifeldspat ebenfalls Orthopyroxen und Granat. Sie sind jünger als die feinstreifige Foliation.

Die  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse im Profildiagramm der Abb. 3 zeigt für die Zeit von 480 - 440 Ma nur eine geringe Variation. Die konventionelle Berechnung einer Isochrone ergab einen Wert von 472 Ma. Das Diagramm zeigt jedoch, daß die Datenpunkte für die Scheiben 19, 28, und 35 für diese Zeit deutlich unterhalb der anderen Werte liegen. Eine bessere Angleichung ergibt sich für die Zeit um 450 Ma.

## 2.3 Retrograde Hercynit-(Cordierit)-Granat-Orthopyroxen-Gneise (ANT145, EMI17)

Die Foliation des Gneises ANT145 wird durch unregelmäßig begrenzte mittelkörnige helle Mobilisate unterbrochen. Sowohl der Gneis als auch die Mobilisate führen Kalifeldspat sowie Relikte von Orthopyroxen und Granat. Im Dünnschliff erkennt man ein ungleichkörnig-granoblastisches Gefüge.

Die Zirkone sind teils rundlich, teils reich facettiert. Hierbei handelt es sich jedoch nicht um die typischen rundlichen Formen, wie sie Zirkone aus den Kernbereichen von Charnockitgebieten aufweisen. Der konkordante Datenpunkt des Monazits

(Abb. 4) stimmt mit den U-Pb-Altern der Zirkone und Monazite aus den migmatischen Gneisen der Terra-Nova-Bay-Region (KLEE et al., 1992) gut überein und weist auch hier auf eine Metamorphose um 490 Ma, während der die Monazite kristallisiert sein müssen. Die streuenden Datenpunkte der Zirkone deuten auf einen späten Bleiverlust, schließen aber nicht aus, daß das Kristallisationsalter mit dem der Monazite zusammenfällt.

Die Monazitdaten der Probe EMI17 fallen mit den anderen Monazitdaten zusammen (Abb. 4) und bestätigen damit offenbar die geringe Anfälligkeit des U-Pb-Systems des Monazits für späten Bleiverlust.

Da die Monazite offenbar die höchsten U-Pb-Alter aufweisen, erscheint es naheliegend, diese als deren Kristallisationsalter zu interpretieren.

#### 2.4 Amphibol-Klinopyroxen-Gneis (ANT144)

Aus diesem Gneis, der keine granulitfaziellen Relikte aufweist, jedoch gleichwohl aus der Mt. Emison-Region stammt, konnte eine Titanitfraktion analysiert werden. Der Datenpunkt liegt in Abb. 4 nur geringfügig unterhalb der Monazitpunkte.

#### 2.5 Enderbitknollen von Kay Island (US66 und SF5)

Auf Kay Island findet man die für das Wilson Terrane typischen Migmatite mit der Paragenese  $bt + pl + qk \pm crd \pm kfs \pm hc$  ( $\pm sil$ , reliktsch in  $crd$ ). An wenigen Stellen kommen nach SCHUSSLER (persönl. Mitt., 1993) Relikte von Orthopyroxen vor, die auf eine ältere Metamorphose unter granulitfaziellen Bedingungen hinweisen. In den Migmatiten finden sich außerdem enderbitische rundliche Knollen von Zentimeter- bis Meterdimension. Hierbei handelt es sich um mittel- bis feinkörnige Gesteine mit der fast immer gut erhaltenen Paragenese  $opx + cpx + bt$  (eindeutig in paragenetischer Beziehung zu  $opx$ )  $+ pl + qk$ . Diese Granulite wurden offensichtlich von der jüngeren amphibolifaziellen Metamorphose nur wenig überprägt.

Die untersuchten Enderbitproben enthalten Quarz, Plagioklas und Biotit als Hauptgemengteile, Ortho-, Klinopyroxen und Amphibol als Nebengemengteile sowie Zirkon, Apatit und opake Minerale als Akzessorien.

Die Gleichgewichtsgefüge mit undeformierten Mineralen und kaum vorhandene Umwandlungen besagen, daß das letzte prägende Ereignis in der p-T-Entwicklung der Enderbite eine statische Temperung war.

Die Datenpunkte der Zirkone sind konkordant oder nahezu konkordant (Abb. 5) und fallen mit ihren U-Pb-Altern mit den Monazit- und den meisten Zirkonaltern der Region zusammen.

### 3. Zusammenfassung

Die U-Pb-Alter der konkordanten und nahezu konkordanten Monazite aus den granulitfaziellen Gesteinen stimmen mit bereits mitgeteilten Monazitaltern von den migmatischen Gneisen überein. Sie weisen insgesamt nur eine geringe Streuung zwischen 483 und 491 Ma auf. Sie sind anscheinend geringfügig höher als die meisten der älteren Zirkonalter. Dies läßt sich so interpretieren, daß die U-Pb-Systeme der Monazite am wenigsten anfällig für späteren Bleiverlust waren und

deshalb die U-Pb-Monazitalter sehr wahrscheinlich dem Kristallisationsalter entsprechen. Es läßt sich jedoch nicht entscheiden, in welchem Stadium der metamorphen Entwicklung (Migmatisierung, Granulitfazies) sie gebildet wurden.

Die Alter, die sich aus den Kleinbereichsprofilen und aus den jüngeren U-Pb-Zirkondaten ergeben, deuten auf retrograde Überprägung im Zeitraum von 480 bis ca. 440 Ma hin.

#### Literatur

- BACHMANN,G. & GRAUERT,B. (1986): Altersbestimmungen mit  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Ungleichgewichtsverteilungen. - Fortschr. Miner. 64, Beih. 1,12; Stuttgart.
- BORSI,L., FERRARA,G., TONARINI,S. (1987): Rb-Sr- and K-Ar data on Granite Harbour Intrusives from Terra Nova Bay and Priestley Glacier (Victoria Land, Antarctica). - Mem. Soc. It., 33: 161-169; Rom.
- GANOVEX TEAM (1987): Geological Map of North Victoria Land, Antarctica, 1:500000, Explanatory Notes. - Geol. Jb., B 66: 7-79; Hannover.
- KLEE,S., BAUMANN,A. & THIEDIG,F. (1992): Age relations of the high grade metamorphic rocks in the Terra Nova Bay area, North Victoria Land, Antarctica: a preliminary report. - Polarforschung 60 (2): 101-106; Bremerhaven.
- KREUZER,H., HOHNDORF,A., LENZ,H., MÜLLER,P. & VETTER,U. (1987): Radiometric ages of Pre-Mesozoic rocks from Northern Victoria Land, Antarctica. - In: McKENZIE,G.D. (ed.): Gondwana six: Structure, Tectonics and Geophysics; Am. Geoph. Union, Geophys. Monogr., 40: 31-47, Washington.
- LOMBARDO,B., CAPPELI,B., CARMIGNANI,L., GOSSO,G., MEMMI,I., MONTRASIO,A., PALMERI,R., PANNUTI,F., PERTUSATI,P.C., RICCI,C.A., SALVINI,F., TALARICO,F. (1987): The metamorphic rocks of the Wilson Terrane between David and Mariner Glaciers, North Victoria Land, Antarctica. - Mem. Soc. Geol. It., 33: 99-130; Rom.
- TALARICO,F. & CASTELLI,D. (1994): Migmatic metasedimentary granulites from Mills Peak and Mt. Emison (Wilson Terrane, Northern Victoria Land, Antarctica): A case history of processes involved in the formation of garnet +/- orthopyroxene leucocratic segregations. - Terra Antarctica, 1: 19-22.
- WETHERILL,G.S. (1956): Discordant uranium-lead ages, I. - Trans. Am. Geophys. Union, 37: 320-326; Washington.

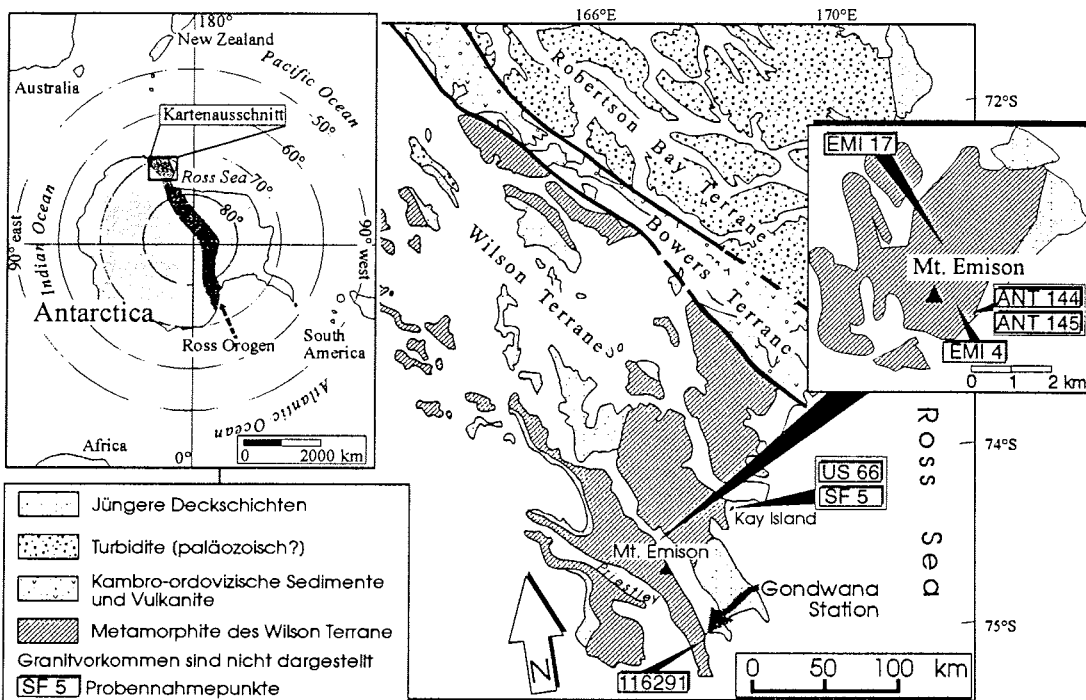


Abb. 1: Vereinfachte geologische Karte des Wilson Terranes und Lage der Probennahmepunkte (verändert nach GANOVEX-TEAM, 1987)

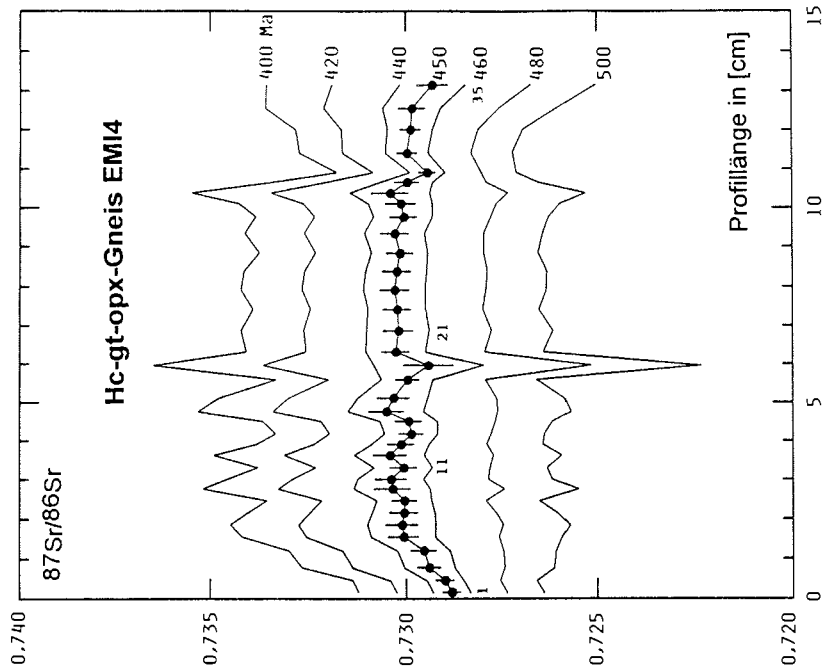


Abb. 3: Profildiagramm für das Kleinbereichsprofil EMI4 mit berechneten  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verteilungen für Zeiten von 400 bis 500 Ma.

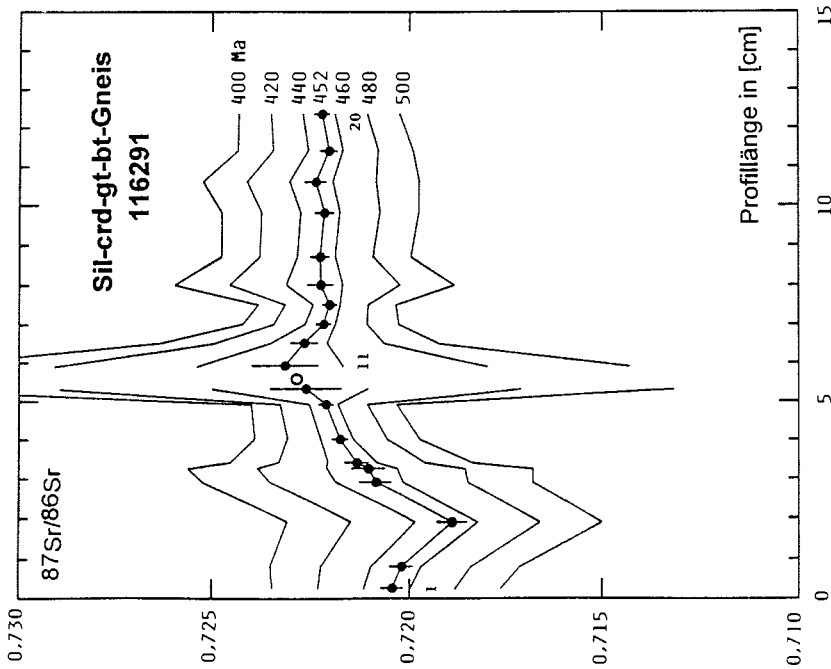


Abb. 2: Profildiagramm für das Kleinbereichsprofil 116291 mit berechneten  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verteilungen für Zeiten von 400 bis 500 Ma. Der offene Kreis bezeichnet das Isotopenverhältnis in der Gesteinsprobe 10 vor 452 Ma. Wegen des hohen  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisses dieser Probe und den sich daraus ergebenden hohen Unterschieden im  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis wurden diese nicht eingetragen.

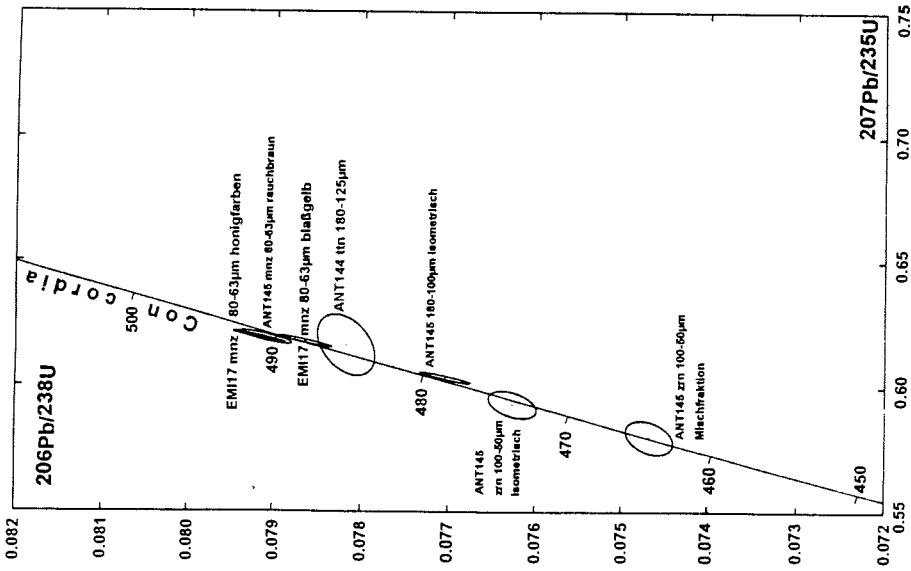


Abb. 4: Concordia-Diagramm mit den Datenpunkten der Zirkone (zrn), Monazite (mhz) und eines Titanits (tit) aus Gneisen der Mt. Emison-Region. Die Zahlen hinter den Probennummern bezeichnen die Siebfraktionen. Bei dem mit 'ANTI145 180-100µm isometrisch' bezeichneten Punkt handelt es sich um einen Zirkondatenpunkt.

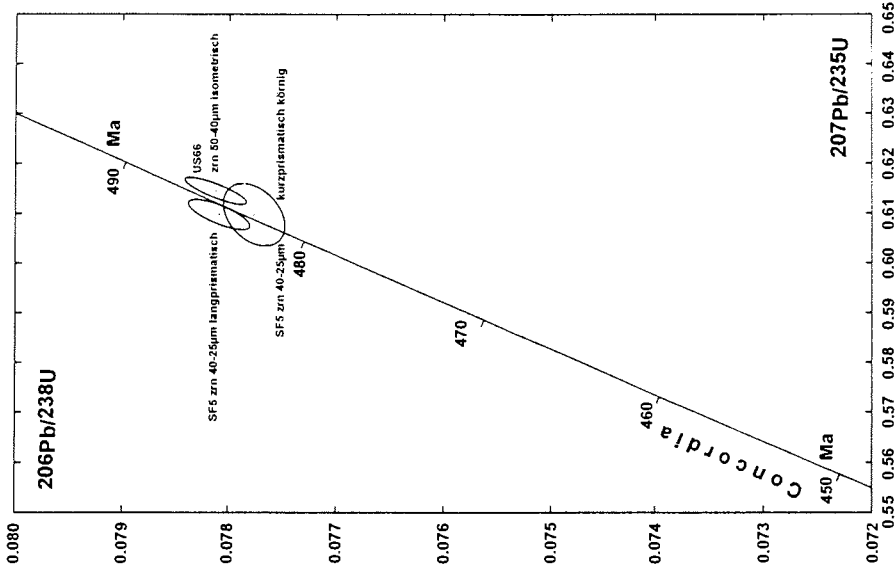


Abb. 5: Concordia-Diagramm mit den Datenpunkten der Zirkone aus den Enderbitproben- US66 und SF5 - von Kay Island.



**Geochemische, isotonenchemische und geochronologische Untersuchungen an klastischen Meta-Sedimenten Nordviktoralands: Ein Schlüssel zum besseren Verständnis der Terrane-Entwicklung während der Ross Orogenese**

Friedhelm Henjes-Kunst  
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

### Einleitung

Die Zusammensetzung klastischer Sedimente spiegelt neben klimatischen Einflüssen während der Verwitterung sowie Transport- und Sedimentationsmechanismen im wesentlichen die lithologische Vielfalt und den zeitlich wechselnden Einfluß unterschiedlicher Liefergebiete wider. Diese Sedimente können deshalb zur Provenance-Analyse, d.h. zur stofflichen Charakterisierung der Liefergebiete herangezogen werden. Gegenüber der klassischen Methode der sedimentologisch-mineralogischen Analyse von klastischen Sedimenten (z.B. Dickinson et al. 1983) wird hier über erste Ergebnisse von geochemischen, isotonenchemischen und geochronologischen Untersuchungen an Meta-Turbiditserien aus den drei tektonometamorphen Terranes Nordviktoralands (Wilson Terrane, Bowers Terrane, Robertson Bay Terrane) am pazifischen Ende des Transantarktischen Gebirges berichtet. Das Ziel dieser Untersuchungen ist - neben der geochemischen und Sr-Nd-isotonenchemischen Charakterisierung der Edukte - die Bestimmung der mittleren Krustenalter ("Krustenverweildauer" entsprechend den Nd-Modellaltern) und der Alter der abschließenden thermischen Prägung der Gesteine der Liefergebiete. Letzteres erfolgt durch die K-Ar bzw. Ar-Ar-Datierung von detritischen Hellglimmern. Aus diesen Daten können dann Rahmenbedingungen für die geologische Früh- und Vorgeschichte der einzelnen Terranes abgeleitet werden, die einem besseren Verständnis der Terrane-Entwicklung und -Akkretion während der frühpaläozoischen Ross Orogenese dienen.

### Geologischer Rahmen

Bei den bislang untersuchten Meta-Sedimenten aus den drei Terranes Nordviktoralands handelt es sich um schwachmetamorphe Turbiditserien mit vergleichbarer lithologischer Ausbildung. Im westlichen Wilson Terrane (WT) wurden schwachmetamorphe Serien aus unterschiedlichen Vorkommen mit (vermuteten) neoproterozoischen bis kambrischen Sedimentationsaltern untersucht, die in unterschiedlichen Verbandsverhältnissen mit hochgradigen Metamorphiten und syn- bis posttektonischen Magmatiten vergesellschaftet sind. Aus dem zentralen Bowers Terrane (BT) konnten bislang nur wenige Proben der Molar Formation bearbeitet werden, die nach Wolfart (1994) einen mittelkambrischen Fossilinhalt aufweist. Diese Meta-Turbidite sind mit primitiven Inselbogenvulkaniten der Glasgow Formation (Weaver et al. 1984) vergesellschaftet. Der gesamte prä-mittelpaläozoische Stoffbestand des östlichen Robertson Bay Terranes (RBT) schließlich besteht aus einer mächtigen Meta-Turbiditsequenz, für die ein kambrisches bis unterordovizisches Sedimentationsalter angenommen wird (vergl. GANOVEX Team 1987). Die Meta-Turbiditserien aller drei Terranes sind vor ca. 500 - 480 Ma während der Ross Orogenese tektonisch und metamorph überprägt worden (z.B. Adams & Kreuzer 1984).

## Untersuchungsergebnisse

Die bislang untersuchten gröberklastischen Anteile der Meta-Turbidite aller drei Terranes variieren in ihrer chemischen Zusammensetzung zwischen quarzreichen Grauwacken und quarzreichen Peliten. Gegenüber den Meta-Turbiditen des RBT weisen die des WT generell etwas niedrigere  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnisse auf; die Proben aus dem BT sind zudem durch etwas niedrigere  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ -Verhältnisse gekennzeichnet. Aus der Analyse der Gehalte von ausgewählten kritischen Haupt-, Neben- und Spurenelementen ergeben sich aber für die Gesteine aller drei Terranes vergleichbare Eduktmerkmale. So sprechen u.a. die durchweg hohen Rb/Sr- und Th/Sc-Verhältnisse wie auch die relativ hohen Gehalte an Elementen wie U, Th und Zr und z.T. auch der leichten seltenen Erdelemente für eine Herkunft des Detritus von kontinentalen Krustensegmenten mit einer Vormacht von Gesteinen, die z.B. durch mehrfache Wiederaufarbeitung von älterem Krustenmaterial einen hohen "Reifegrad" erhalten haben. Niedrige Gehalte an Elementen wie Sr und Sc zeigen an, daß keine wesentlichen Anteile von juvenilem Material in den Edukten vorhanden waren.

Die Ergebnisse der isotochemischen Untersuchungen bestätigen den geochemischen Befund. Aus der Rb-Sr- als auch der Sm-Nd-Isotopensystematik der Meta-Turbidite ergeben sich - für "reife" krustale Gesteine charakteristische - Isotopenverhältnisse von ca. 0.712 bis 0.719 für  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  und -7 bis -14 für  $\epsilon\text{Nd}$  (jeweils berechnet für ein angenommenes Eduktalter von 550 Ma). Auffällig ist jedoch, daß die Nd-Isotopenverhältnisse der Meta-Turbidite aus dem RBT relativ einheitlich sind, die der Proben aus dem WT dagegen beträchtlich variieren. Die Datenbasis für das BT mit nur zwei analysierten Proben ist für derartige Betrachtungen zu klein.

Aus den Sm-Nd-Isotopendaten lassen sich sogenannte Mantelfraktionierungsalter errechnen, die ein Maß für das mittlere Krustenalter der Ausgangsgesteine der Meta-Turbidite darstellen. Diese Nd-Modellalter sind i.d.R. vergleichbar mit Altersdaten, die durch U-Pb-Datierung von "ererbten" Zirkonen für frühe Krustenprozesse bestimmt werden können. Die für die Meta-Turbidite Nordviktoralands berechneten Nd-Modellalter variieren zwischen 1.65 und 2.13 Ga. Als Ergebnis der relativ geringen Variation in dem Sm-Nd-Isotopenverhältnis von Proben aus dem RBT ergeben sich auch hier nur geringfügig streuende Alterswerte von 1.70 - 1.86 Ga, während der Variationsbereich für das WT mit 1.65 - 2.23 Ga beträchtlich größer ist. Für die zwei BT-Proben errechnen sich relativ hohe Werte von ca. 2.1 Ga. Trotz dieser Unterschiede sind die durchweg hohen Nd-Modellalter ein Indiz für eine komplexe und lange krustale Vorgeschichte der Edukte der Meta-Turbidite aller drei Terranes.

Die die tektonometamorphe Entwicklung der Liefergebiete abschließende Abkühlung und Heraushebung vor der Erosion kann mit K-Ar- bzw. Ar-Ar-Analysen an detritischen Hellglimmern datiert werden. Bislang liegen entsprechende Daten für magnetisch unterschiedliche Hellglimmerfraktionen aus 2 Proben des RBT und einer Probe des WT vor. Die K-Ar-Alterswerte der detritischen Hellglimmer aus dem RBT variieren zwischen ca. 585 Ma für die schwachmagnetischen Fraktionen und ca. 545 Ma für die starkmagnetischen Fraktionen beider Proben. Detritischen Glimmer aus dem WT ergaben ca. 560 bis 550 Ma. Ar-Ar-Stufenaufschlußanalysen an den RBT-Hellglimmern belegen, daß die niedrigen Alterswerte der magnetischen Fraktionen Mischalter zwischen der ursprünglichen eduktspezifischen Altersinformation und dem Alter der niedriggradigen Überprägung der Meta-Turbidite während der Ross Orogenese darstellen. Die schwachmagnetischen Fraktionen

lassen dagegen nur eine geringfügige Zurückstellung ihrer K-Ar-Isotopensysteme erkennen, so daß mit den an ihnen bestimmten Modellaltern von ca. 585 Ma ein Mindestalter für die abschließende thermische Prägung der Eduktgesteine angegeben werden kann. Da für die detritischen Hellglimmer aus dem WT noch keine Ar-Ar-Daten vorliegen, wird auch hier der an der schwachmagnetischen Fraktion ermittelte Alterswert von ca. 560 Ma als eduktspezifisches Mindestalter gewertet. Die Modellalter von ca. 585 Ma für das RBT und ca. 560 Ma für das WT sprechen dafür, daß die thermische Spätentwicklung der Liefergebiete für die Meta-Turbiditserien beider Terranes in etwa zeitgleich erfolgt ist.

### Zusammenfassung

In der folgenden Aufstellung sind die mit den geochemischen, isotonchemischen und geochronologischen Untersuchungsmethoden erarbeiteten Merkmale der Edukte von Meta-Turbiditserien aus den drei Terranes Nordviktoralands zusammengefaßt.

	WT	BT	RBT
Geochemie	"reife" kontinentale Kruste (hochgradige Metamorphite Migmatite, S-Typ-Granitoide ohne wesentl. Anteile von "juvenilem" Material)		
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (vor 550 Ma)	0.7144 -> 0.7190	0.7176/0.7153	0.7121 -> 0.7191
$\epsilon\text{Nd}$ (vor 550 Ma)	-6.9 -> -14.2	-13.1/-14.0	-7.4 -> -9.8
Nd-Modellalter (Ga)	1.65 -> 2.23	2.08/2.13	1.70 -> 1.86
K-Ar-Alterdetr. Hellglimmer	>2560Ma	./.	>2585 Ma

Die Aufstellung macht deutlich, daß die Liefergebiete der klastischen Sedimente der drei Terranes durch eine vergleichbare lithologische und tektonometamorphe Entwicklung gekennzeichnet sind. Es wird deshalb angenommen, daß die verschiedenen Liefergebiete einem gemeinsamen Krustensegment entstammen, das erst nach der oberproterozoischen thermischen Prägung durch geotektonische Prozesse wie Rifting fragmentiert wurde. Die relativ einheitliche Nd-Isotopensignatur der Meta-Turbidite aus dem RBT im Vergleich zu dem WT kann durch eine vergleichsweise gute sedimentäre Mischung des Detritus erklärt werden. Alternativ wäre denkbar, daß sich im RBT nur der Abtragungsschutt einer proterozoischen Kruste dokumentiert, während im WT zusätzlich der Einfluß eines archaischen "Hinterlandes" vergleichbar dem Antarktischen Kraton bemerkbar macht. Die wenigen Daten für das BT sprechen für eine enge Bindung dieses Terranes während der Sedimentation an das WT. Insbesondere erscheint es unwahrscheinlich, daß die Sedimentation der Meta-Turbidite im heutigen BT in einem rein ozeanischen Milieu erfolgte, wie es gängige geotektonische Modelle für Nordviktoraland (z.B. Kleinschmidt & Tessensohn 1987; Gibson & Wright 1985; Weaver et al. 1984) fordern.

Die hier vorgestellten Ergebnisse laufender Untersuchungen an Meta-Turbiditen Nordviktoralands belegen, daß geochemische, isotonchemische und geochronologische Provenance-Analysen von klastischen (Meta-)Sedimenten einen wich-

tigen Beitrag zur Rekonstruktion der geotektonischen Entwicklung von Terranes liefern können. Auf andere Schlüsselgebiete wie z.B. der Shackleton Range am atlantischen Ende des Transantarktischen Gebirges angewandt, könnten mit derartigen Untersuchungen zusätzliche Argumente für oder gegen die SWEAT-Hypothese (z.B. Moores 1991) d.h. einer frühen Verbindung von Gondwana und Laurentia erarbeitet werden.

#### Literatur

- Adams & Kreuzer, 1984: Geol. Jb. B60, 265-288.  
Dickinson et al., 1983: Geol.Soc.Am.Bull.94, 222-235.  
GANOVEX Team, 1987: Geol. Jb. B66, 7-80.  
Gibson & Wright, 1985: Nature 315, 480-483.  
Kleinschmidt & Tessensohn, 1987: AGU Geophy. Monogr.40, 89-106.  
Moores, 1991: Geology 19, 425-428.  
Weaver et al., 1984: Earth Planet.Sci.Lett.68, 128-140.  
Wolfart, 1994: Geol. Jb. B84, 1-161.

## Granitgefüge in Nordvictorialand

Christoph Pauli  
(Arbeitsgruppe Kleinschmidt), Geol.-Paläont. Institut, Universität Frankfurt,  
Frankfurt

In Nordvictorialand lassen sich sowohl räumlich, als auch zeitlich zwei große Intrusivkomplexe unterscheiden:

Die **Granite Harbour Intrusives (GHI)**, (GUNN & WARREN 1962) beschränken sich auf das Wilson Terrane, weisen kambroordovizisches Alter (~ 480 ma) auf und stehen somit in engem Zusammenhang mit der Ross Orogenese (~ 500 ma).

Die **Admiralty Intrusives (AI)**, (HARRINGTON 1958, GRINDLEY & WARREN 1969) treten hingegen fast ausschließlich im Robertson Bay- und im Bowers Terrane auf und sind mit devonischem Alter (~360 ma) eindeutig posttektonisch hinsichtlich der Ross Orogenese intrudiert.

Die Einteilung der GHI in syn- spät- und postkinematische Intrusionen bezüglich der Ross Orogenese erfolgte bislang recht grob überwiegend auf der Basis von Gelände- und auch petrographischen Befunden (SKINNER 1983a&b., BIAGINI et al. 1991, MUSUMECI et al. 1994).

Hierbei werden als synkinematisch einige wenige deutlich foliierte Granitkörper, sowie geringmächtige "lit par lit"-Intrusionen eingestuft, die konkordant zum Nebengestein auftreten, und neben einer ausgeprägten Foliation Faltung aufweisen.

Als spät- bis postkinematisch wurden größere Plutone interpretiert, die ein "magmatisches Fließgefüge" aufweisen, bzw. solche, die keinerlei Foliation aufweisen. Letztere stellen die Mehrzahl der GHI in Zentralvictorialand und werden von MUSUMECI et al. (1994) im Zusammenhang mit einem spät bis postorogenen Dehnungsregime diskutiert.

Während GANOVEX VII wurden auf zwei Fahrtabschnitten im Hinterland der Gondwanastation, in Zentralvictorialand (ZVL), sowie an der Pazifikküste im Bereich des Matusevic Gletschers, in Oates Land (OL), bevorzugt mesoskopisch schwach bis undeformierte GHI beprobt. Es soll untersucht werden, inwiefern anhand der Mikrostrukturen, Formregelung (SPO) oder Gitterregelung (LPO) von Mineralen (bei LPO besonders Quarz-c-Achsenregelung), sowie einer möglichen Anisotropie der magnetischen Suszeptibilität, schwache, tektonisch induzierte Gefüge nachweisbar sind; und ob diese im Vergleich mit den Gefügen deutlich deformierter Granite, möglichst im Zusammenhang mit vorliegenden Altersdaten, einen Wechsel des Spannungsregimes (Kompression versus spatorogener Kollaps) dokumentieren. Zum Vergleich wurden zusätzlich im Bereich der Lillie Marleen Hütte im Robertson Bay Terrane einige AI als typische posttektonische Granite beprobt.

Bei den Feldarbeiten in ZVL zeigte sich, daß die wenigsten der dort bearbeiteten Granite keinerlei Anzeichen einer Foliation aufweisen. In der Regel ließ sich eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Regelung der meist mehrere cm langen Kalifeldspatleisten, von deutlich geplatteten Xenolithen, sowie untergeordnet auch Biotit beobachten. Diese primär magmatisch gebildete Foliation fällt über weite Bereiche sehr einheitlich parallel sowohl zu der plastischen Foliation deformierter

Granite (Fig. 1.), als auch zu der regionalen Foliation des Nebengesteines halbsteil bis steil nach NE bzw. SW ein.

Die Meßwerte der plastischen Foliation beziehen sich sowohl auf den Canwe Diorit und den Inexpressible "Orthogneis", als synkinematische, frühe GHI, als auch auf eine großmaßstäbliche (~500 m breite) Scherzone im Bereich des Priestley Gletschers, die möglicherweise dem Wilson-Überschiebungssystem (FLOTTMANN & KLEINSCHMIDT 1991) zuzuordnen ist. Die wenigen Streckungslineare wurden ebenfalls im Bereich dieser Scherzone gemessen. Darüber hinaus war plastische Verformung nur sehr untergeordnet in Form diskreter wenige cm mächtiger Scherzonen zu beobachten.

Der Geländebefund in OL entspricht im wesentlichen dem in ZVL. Auch hier ist häufig eine schwache durch KF- oder Glimmerregelung ausgebildete Foliation zu beobachten, die wie auch in ZVL parallel zu der plastischen Foliation deformierter Granite (Fig.2.) sowie der regionalen Foliation des Nebengesteins halbsteil bis steil nach SW bzw. NE fällt. Die Meßwerte der plastischen Foliation, sowie die Streckungslineare beziehen sich auf Granite im Bereich der Exiles-Überschiebung (FLOTTMANN & KLEINSCHMIDT 1991). Die  $\pm$  flach liegende Foliation wurde in einer geringmächtigen plastischen Scherzone auf Aviations Island gemessen.

Bei der Betrachtung folierter Granitoide ist es in der Regel schwierig, die beteiligten Gefüge hinsichtlich ihrer Genese (magmatisches Fließen versus Festkörperdeformation) klar zu differenzieren (PATERSON, et al. 1989). Während der Geländebefund zunächst im wesentlichen eine magmatischen Genese der schwachen Gefüge impliziert, weisen die Mikrostrukturen auf eine zwar schwache doch durchaus penetrative plastische Subsolidusüberprägung hin: Quarz zeigt in nahezu allen Proben deutliche Anzeichen sowohl von Migrationsrekristallisation (suturierte Korngrenzen) als auch Rotationsrekristallisation in Form von Subkornbildung.

Auffällig ist hierbei, daß Großkörner, im Gegensatz zu kleineren (Rekristallisat?) Körnern, neben prismenparallelen auch basisparallele Subkorngrößen aufweisen. Diese Schachbrettfeldung ist typisch für (hexagonalen) Hochquarz und somit für Verformung bei hohen Temperaturen im Subsolidusbereich, während rein prismenparallele Subkorngrößen auf Verformung unter niedrigeren Temperaturen im Stabilitätsbereich von (trigonalem) Tiefquarz hinweisen (KRUHL 1994). Die unterschiedlichen Subkornmuster dokumentieren somit Deformation während der Abkühlung vom Subsolidusbereich bis hin zur Stabilität von Tiefquarz.

Zusätzlich zu den Quarzgefügen sind verbogene Gleitzwillingslamellen bei Plagioklas, und vereinzelt auch (wahrscheinlich strain-induzierte) Myrmikitisierung von Kalifeldspat weitere Indikatoren für eine Subsolidusüberprägung. Biotit ist in magmatischen Einzelkörnern oft verbogen bis geknickt, Kornaggregate mit geregelten Glimmern weisen dagegen auf Rekristallisation oder Neubildung unter solid-state Bedingungen hin.

Die Al weisen überraschenderweise ebenfalls Anzeichen einer leichten plastischen Überprägung auf. Die Indikatoren sind im Prinzip identisch, jedoch nicht so ausgeprägt wie bei den GHI.

Um die Evidenz der im Gelände doch meist sehr schwach ausgebildeten Foliation zu erhärten, sowie den inkrementellen Anteil magmatischer und kristallplastischer

Prozesse bei der Gesamtverformung abzuschätzen, wurde mit Hilfe eines digitalen Bildanalyse-Systems eine Formregelungs-, bzw. Verformungsanalyse durchgeführt. Dabei wurde am Dünnschliff die statistische Verteilung von Korngrenzen, sowohl in der Gesamtheit als auch spezifisch für einzelne Mineralphasen in Anlehnung an die SURFOR-Methode nach PANOZZO (1984) ermittelt und in Form von Richtungsrosen und der "Charakteristischen Form" dargestellt (Fig.3., Fig.4.). Letztere korreliert mit dem zweidimensionalen Schnitt durch das Verformungsellipsoid.

Als problematisch erweist sich dabei, daß sich mesoskopisch in der Regel keine Streckungslineare beobachten lassen und somit nur die Raumlage der XY-Ebene des Verformungsellipsoids bekannt ist. Daher wurde für die Präparation der Dünnschliffe, in Analogie zum regionalen Rahmen, orthogonale Verformungsgeometrie vorausgesetzt und die Langachse (X-Achse) des Verformungsellipsoids parallel zur Fallrichtung angenommen. Eine mögliche Abweichung von der tatsächlichen Raumlage des dreidimensionalen Verformungsellipsoids läßt sich unter Verwendung von drei senkrecht zueinander orientierten Schnittlagen korrigieren.

Erste Ergebnisse zeigen, daß die Proben der GHI (Fig.3., cpg4, cpg5, cpg52) in der Regel eine Formregelung (SPO) parallel zu den vorgegebenen Schnittlagen aufweisen und somit in das regionale Spannungsfeld der Ross Orogenese passen, während die AI (Fig.3., cpg 77) entweder keine, oder eine in der Orientierung deutlich abweichende SPO zeigen. Die Gesamtverformung ist für die schwach foliierten Proben (z. Bsp. cpg 52) mit Elliptizitäten (Rs) kleiner als 1,2 erwartungsgemäß gering.

Die SPO der einzelnen Mineralphasen ( Fig.4.) zeigt, daß das Quarzteilgefüge nicht nur bei der deutlich plastischen Foliation (cpg5) sondern auch bei der zunächst als magmatisch eingestuft, meist schwach entwickelten Foliation (cpg 4, cpg52) im Vergleich mit Plagioklas und Biotit meist deutlich geregelt ist, was zusammen mit den Mikrostrukturen auf einen kristallplastischen Anteil bei der Verformung hinweist.

Die Feldbeobachtungen, Mikrostrukturen und bisherigen Ergebnisse der Formanalyse deuten darauf hin, daß die Mehrzahl der untersuchten GHI nicht nur magmatisch mehr oder weniger stark verformt sind, sondern auch Anzeichen einer schwachen kristallplastischen Überprägung im Subsolidusbereich aufweisen. Die Orientierung der Gefüge, in der Regel konkordant zur regionalen Foliation im Nebengestein, macht eine synkinematische Intrusion in ein regional kompressives Spannungsfeld wahrscheinlich. Hinweise auf ein dehnendes Spannungsregime stehen zur Zeit noch aus.

Welche Bedeutung die Anzeichen schwacher plastischer Subsolidusdeformation bei den AI hat, und ob sie sich einem einheitlichen Spannungsfeld zuordnen lassen, bleibt gegenwärtig noch unklar. Eine altersmäßige Beziehung zwischen den unterschiedlich stark deformierten GHI läßt sich an Hand der radiometrischen Daten nicht ohne weiteres ableiten. Es liegen vorwiegend Abkühlalter vor, die alle recht einheitlich um 480+/-20 ma liegen und somit eine heterogene Verteilung der Verformung eher plausibel ist als eine zeitliche Abfolge. Eine gezielte Datierung der Intrusionsalter unterschiedlich stark deformierter Granite sollte hier zur Klärung beitragen.

Weiter bleibt zu klären, mit welchen Mechanismen die Platznahme erfolgte, etwa im Sinne von "forceful emplacement", wie von COX (1992) am Beispiel des Bonney

## Literatur

- BIAGINI, R., DI VINCENZO G. & GHEZZO, C. (1991): Petrology and geochemistry of peraluminous granitoids from Priestley and Aviator Glacier region, North Victoria Land, Antarctica. Proceedings of the meeting "Earth Science investigations in Antarctica" Siena, 4-6 October 1989. - Mem. Soc. Geol. It., 46: 205-230.
- COX, S.C. (1993): Inter-related plutonism and deformation in South Victoria Land, Antarctica. - Geol. Mag., 130 (1):1-14.
- FLOTTMANN, T. & KLEINSCHMIDT, G. (1991): Kinematics of major structures of North Victoria and Oates Lands. - Mem. Soc. Geol. It., 46: 273-282.
- GRINDLEY, G.W. & WARREN, G. (1964): Stratigraphic nomenclature and correlation in the western Ross Sea region. - In ADIE (ed.): Antarctic Geology.: 314-333, Amsterdam.
- GUNN, B.M. & WARREN, G. (1962): Geology of Victoria Land between the Mawson and Mulock Glaciers, Antarctica. - Bull. NZ. Geol. Surv, 71: 1-157.
- HARRINGTON, H.J. (1958): Nomenclature of rock units in the Ross Sea region, Antarctica. - Nature, 182: 290.
- KRUHL, J.H. (1994): Subkornmuster im Quarz: Ein Geothermobarometer. - Göttinger Arb. Geol. Palaont., Sb1, erw. Kurzfassungen, 5.Symposium TSK: S.39.
- MUSUMECI, G., PERTUSATI, P.C., RICCI, C.A. & TALARICO, F. (1994): Synkinematic emplacement of some Granite Harbour Intrusives: Field and microstructural observations from Dry Valleys to Mountaineer Range ( Victoria Land, Antarctica). - Terra Antarctica, 1: 29-32.
- PANOZO, R. (1984): Two-dimensional strain from the orientation of lines in a plane. - J. Struct. Geol., 6: 215-221.
- PATERSON, SR., VERNON, R.H. & TOBISCH, O.T. (1989): A review of criteria for the identification of magmatic and tectonic foliations in granitoids. - J. Struct. Geol, 11: 349-363.
- SKINNER, D.N.B. (1983a): The Geology of Terra Nova Bay. - In OLIVER, JAMES, & JAGO (eds.): Antarctic Earth Sci.: 150-155, Canberra.
- SKINNER, D.N.B. (1983b): The granites and two orogenies of South Victoria Land. - In OLIVER, JAMES & JAGO (eds.): Antarctic Earth Sci.: 160-163., Canberra.

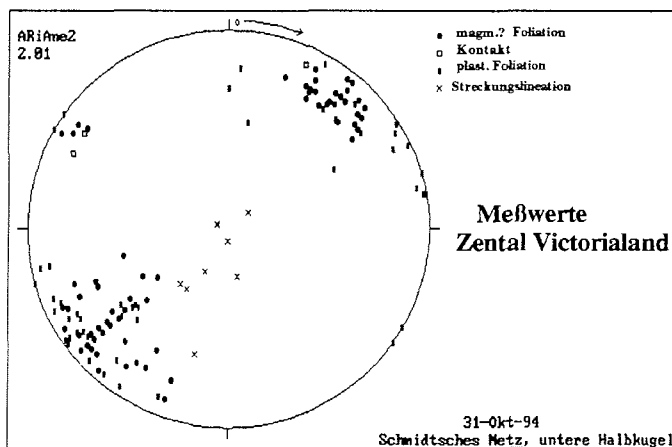


Fig. 1.: Darstellung der in Zentralvictorialand gemessenen Werte als untere Lagenkugelprojektion im Schmidtschen Netz. Flächengefüge erscheinen als Polpunkte.



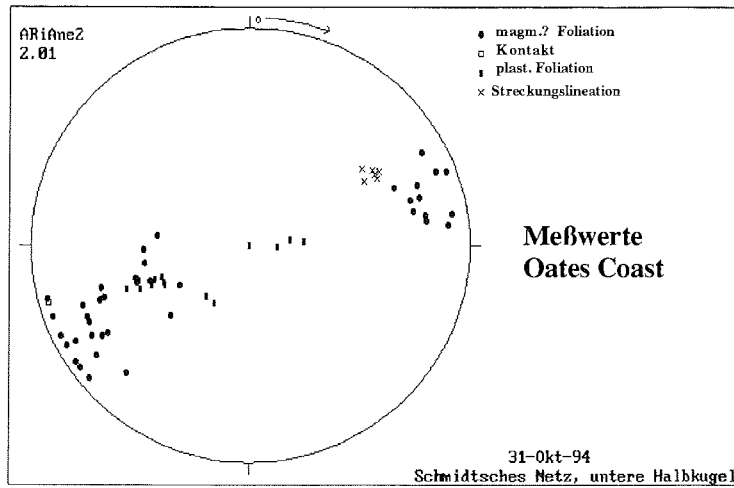


Fig.2.: Darstellung der in Oatesland gemessenen Werte als untere Lagenkugelprojektion im Schmidtschen Netz. Flächengefüge erscheinen als Polpunkte.

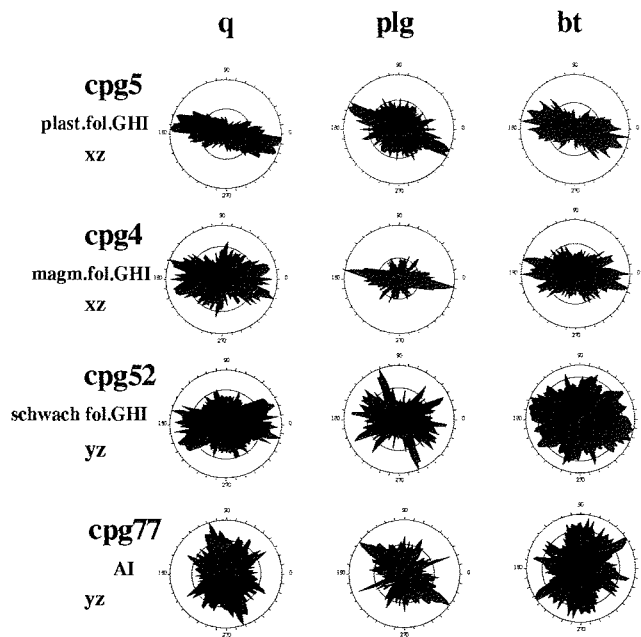


Fig.4.: Darstellung der Vorzugsregelung der Korngrenzen einzelner Mineralphasen als Richtungsrose. Der innere Kreis entspricht dem Mittelwert, x-Richtung = 0° für xz- und xy-Schnitt, bzw y-Richtung = 0° beim yz-Schnitt, q = Quarz, plg = Plagioklas, bt = Biotit.

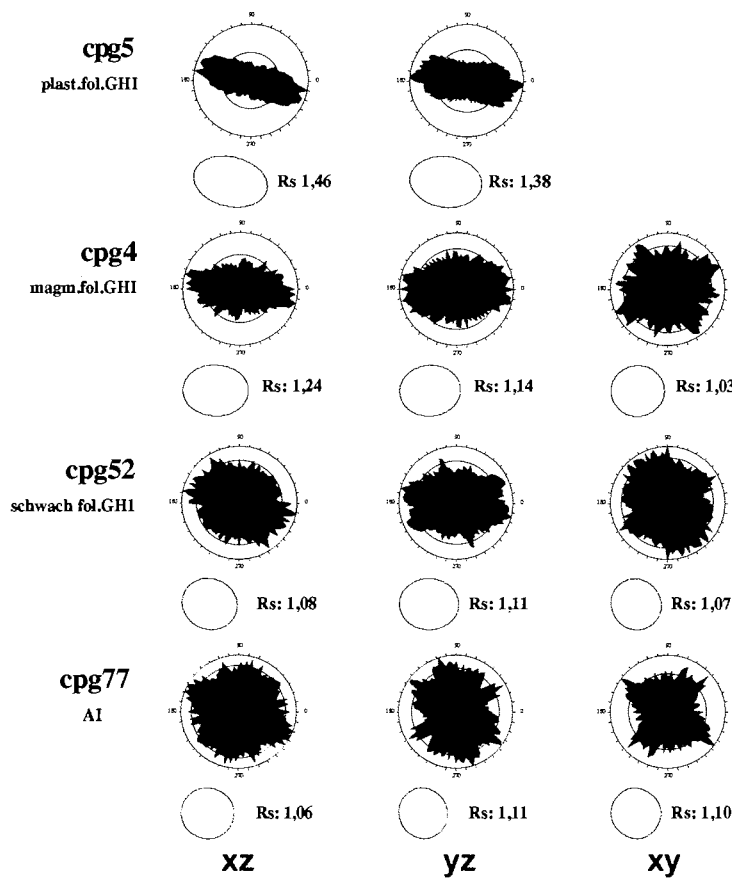


Fig.3.: Darstellung der Vorzugsregelung der Gesamtkorngrenzen unterschiedlich stark folierter Granitoide als Richtungsrose, sowie als 2-d Schnitt durch das Verformungsellipsoid mit entsprechender Elliptizität (Rs). Der innere Kreis der Richtungsrose entspricht dem Mittelwert, x-Richtung = 0° für xz- und xy-Schnitt, bzw y-Richtung = 0° beim yz-Schnitt.

## Altpaläozoischer Akkretionsmechanismus in Nordvictorialand, Antarktis

Stefan Matzer,  
(Arbeitsgruppe Kleinschmidt), Geol.-Paläont. Institut, Universität Frankfurt,  
Frankfurt

Nordvictorialand wird seit dem 6. Gondwana-Symposium in Columbus (1983) in drei sogenannte Terranes gegliedert. Das Robertson Bay Terrane (RBT) wird von der kambro-tremadocischen Robertson-Bay-Gruppe (RBG), bestehend aus turbiditischen Sandsteinen und Tonschiefern, aufgebaut. Das Bowers-Terrane (BT) besteht aus der kambro-ordovizischen Bowers-Supergruppe (vulkano-sedimentäre Abfolge). Das autochthone Wilson Terrane (WT) führt Gneise, Schiefer und Granite (s. Abb. 1). Die Trennung der drei Terranes erfolgt durch steile Störungen und schmale Streifen grünschieferfazieller Gesteine (s. Abb. 1). Die Verteilung von S- und I-Typ-Graniten, die auch grob mit der Verteilung von Niederdruck- und Mitteldruck-Gürteln übereinstimmt, weist das WT in kambro-ordovizischer Zeit als einen aktiven Kontinentalrand mit einer westgerichteten Subduktionszone aus (KLEINSCHMIDT & TESSENSOHN 1987). Eine der wesentlichen Fragen ist die des Akkretionsmechanismus: Nach BRADSHAW et al. (1985) soll die Akkretion des BT und RBT an das WT durch "strike-slip"-Bewegung erfolgt sein, nach KLEINSCHMIDT & TESSENSOHN (1987) und GIBSON & WRIGHT (1985) hingegen frontal, mit westgerichteter Subduktion im WT. Zu der genannten Fragestellung wurde im BT, entlang des unteren Carryer Gletschers, ein 8 km langes Querprofil strukturgeologisch bearbeitet.

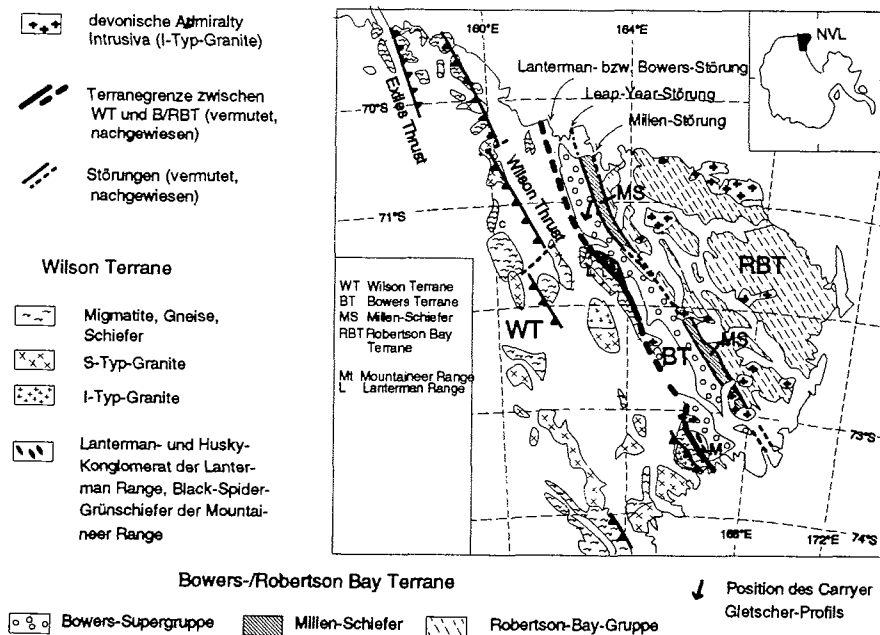


Abb. 1.: Geologische Übersichtskarte Nordvictorialands (NVL) (post Devon ist nicht berücksichtigt).

Der P-T-D-Pfad stellt sich im BT wie folgt dar: Die vulkano-sedimentaren Gesteine der Bowers-Supergruppe zeigen eine aufrechte Faltung mit subvertikalen Schieferflächen (80/85). Auf den  $S_1$ -Flächen ist ein subvertikales Streckungslinear (80/85) entwickelt (Abb. 2a), das im wesentlichen durch Chlorite und Hellglimmer abgebildet wird. Strainanalysen zeigen annähernd "plane strain"-Geometrie. In der YZ-Ebene der Schieferung aufgerissene, mit Quarz- und Calcitstraininkrementen ("crack-seal"-Gefüge) belegte subhorizontale Extensionsbrüche (Abb. 2b) zeigen, daß syn-S<sub>1</sub> ein supralithostatischer Fluidruck vorlag. Der Betrag des Fluiddruckes ( $p_f$ ) hat den Betrag des Auflastdruckes überstiegen. Mit dem Absinken des Fluiddruckes im Gestein wurde der Übergang von einer im wesentlichen durch Drucklosungsprozesse dominierten Schieferung mit begleitenden Extensionsbrüchen zu einem konjugierten kompressiven Schersystem (Abb. 2c) ausgelöst. Daß dies ein lückenloser Prozess gewesen ist, wird durch den Übergang von Extensionsbrüchen, über konjugierte hybride Scherbrüche zu konjugierten Scherbrüchen dokumentiert. Im bearbeiteten Profil wird das konjugierte Schersystem von Westüberschiebungen (Abb. 2d) deformiert. Diese werden wiederum von steilen West- und Ostaufschiebungen (Abb. 2e und f) durchschlagen. Mineralparagenesen (Prehnit-Pumpellyit-Chlorit) und Quarz und Calcitverformungsgefüge zeigen, daß die Drucke im BT mit maximal 2,7 kbar (Prehnit-Pumpellyit-Fazies) und die erreichten Temperaturen mit 240 bis 275 °C (die Quarzrekristallisationstemperatur von 275 °C wurde nur lokal überschritten) anzunehmen sind.

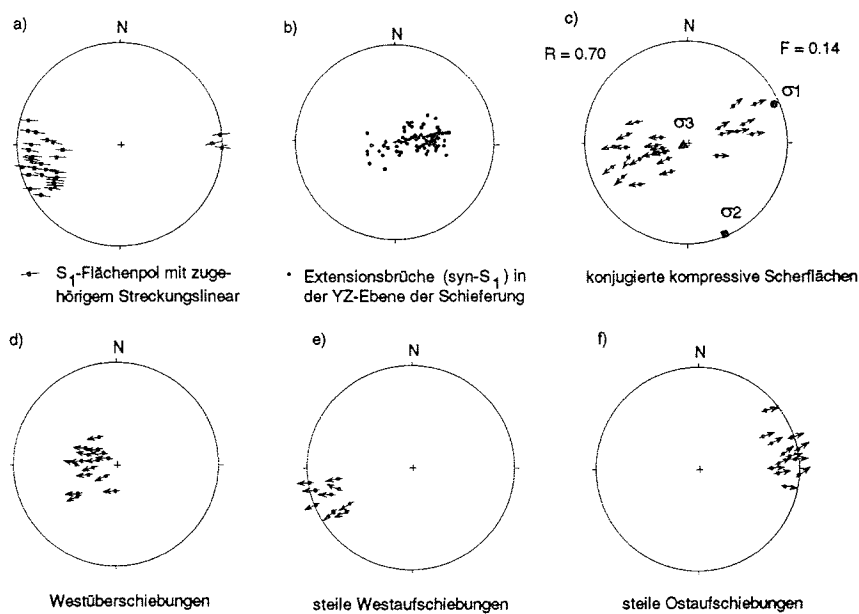


Abb. 2: Tektonische Gefügesequenz im bearbeiteten Carrier Gletscher-Profil

Die syn-S<sub>1</sub> aufgerissenen Extensionsbrüche dokumentieren, daß der Schieferungsprozeß von Scherspannungen ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) von  $\leq 4T$  ( $T =$  Zugfestigkeit) begleitet worden ist (vgl. COX & ETHERIDGE 1989). Die konjugierten Scherflächen belegen, daß sich die Scherspannungen mindestens verdoppelt haben ( $\sigma_1 - \sigma_3 \geq 8T$ ). Dies hat eine Verschiebung der Verformungsmechanismen ausgelöst: Während syn-S<sub>1</sub> der dominierende Schieferungsprozeß das Kriechen durch Drucklösung gewesen ist - kristallplastische Deformation wurde durch die geringen Scherspannungen erheblich behindert -, kamen bei Entwicklung des konjugierten Schersystems, West- und Ostauschiebungen und steilen West- und Ostauschiebungen infolge der gestiegenen Scherspannung die kristallplastische Deformation verstärkt zum Zuge. Die beobachteten Scherzonengefüge reflektieren zusätzlich aseismische und seismische Kataklyse.

Die Paläospannungsanalyse (Inversionsmethode), die bezüglich des konjugierten Schersystems und bedingt bei den Westüberschiebungen angewendet werden konnte, gibt einen polyaxialen Spannungszustand an ( $\sigma_1 - \sigma_3 / 2 = 0,5$  bis  $0,75 = R$  (normalisierter deviatorischer Spannungstensor), wobei 1 senkrecht zum Streichen,  $\sigma_2$  im Streichen und  $\sigma_3$  vertikal orientiert sind (s. Abb. 2c). Dies spiegelt ein frontales "Andocken" des BT und RBT an das WT wider und schließt die von BRADSHAW et al. (1985) und WODZICKI & ROBERT (1987) postulierten "strike slip"-Bewegungen aus (s.o.).

Die durch Faltung und Schieferung, Über- und Aufschiebungen indizierte Krustenverkürzung, die senkrecht zum Streichen des BT und RBT erfolgt ist, erfordert einen Abscherhorizont unter dem heutigen Aufschlußniveau des BT und RBT. Der grünschieferfazielle Streifen der Millen-Schiefer belegt (s. Abb. 2), daß der zu fordernde Abscherhorizont eine duktile Scherzone ist ( $> 300$  °C). Es läßt sich feststellen, daß das BT und RBT durch einen in seiner Gesamtheit aufrechten Baustil charakterisiert ist. Dies gilt für Faltung und Schieferung, für das konjugierte kompressive Schersystem sowie für die steilen West- und Ostauschiebungen. Nach den Ergebnissen von Laborexperimenten von HUIQI et al. (1992) entwickelt sich in einem "fold and thrust belt" ein aufrechter Baustil, wenn die Scherfestigkeit im Abscherhorizont sehr gering ist. Die Scherfestigkeit in dem zu fordernden Detachment scheint aus diesem Grund über die gesamte tektonische Gefügeentwicklung im BT und RBT gering gewesen zu sein. Unterstützt wird diese Annahme dadurch, daß während der Deformation des BT und RBT die Temperaturen und die Drucke weitgehend stabil geblieben sind (s.o.). Für den Abscherhorizont sind deshalb ebenfalls stabile P-T-Bedingungen anzunehmen.

Der aufrechte Baustil unterstützt die Interpretation, daß der grünschieferfazielle Streifen der Millen-Schiefer eine große "pop up"-Struktur darstellt (s. Abb. 1 und 3). Die Leap-Year-Störung wäre hierbei die Rücküberschiebung zur Millen-Aufschiebungen (s. Abb. 3) und nicht wie in dem plattentektonischen Modell von GIBSON & WRIGHT (1985) eine "thrust", an der das BT über das RBT geschoben worden sein soll.

Das BT und RBT bildet einen altpaläozoischen Vorland-Falten-Überschiebungsgürtel. Der dargelegte Deformationspfad im BT ist Ausdruck des frontalen "Anschiebens" des BT (und RBT) an den aktiven paläopazifischen Plattenrand der Antarktis, dem WT. Bis heute liegen keine Beweise vor, die belegen würden, daß das BT und RBT eigenständige Terranes darstellen - es gibt keine Ophiolithe oder Hockdruckgesteine, die eine Suturzone zwischen dem BT und RBT belegen würden. Nach dem heutigen Kenntnisstand erscheint es plausibel, daß man das BT und RBT zu

einem geschlossenen Krustenblock, dem Bowers-/Robertson-Bay-Vorland-Falten-Überschiebungsgürtel (B/RBT), zusammenfaßt. Hierbei wäre vorstellbar, daß die RBG den "back arc"-Bereich zum unterkambrischen Inselbogen des BT (BSG) darstellt (vgl. FINDLAY 1987). Zu diesem Fragenkomplex gehört auch die Klärung der Subduktionsrichtung im unterkambrischen Inselbogen des BT, die umstritten ist (vgl. KLEINSCHMIDT & TESSENHORN 1987, WODZICKI & ROBERT 1987).

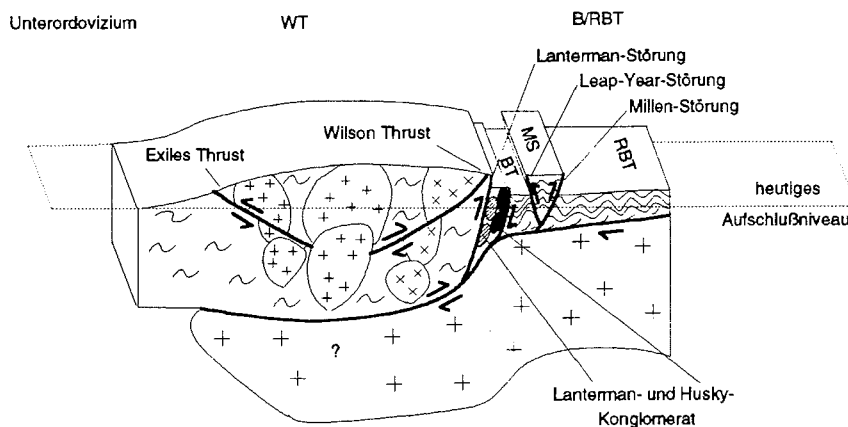


Abb. 3: Schematisches Querprofil durch das Wilson Terrane und den altpaläozoischen Vorland-Falten-Überschiebungsgürtel des Bowers/Robertson Bay Terrane (B/RBT) (Legende s. Abb. 1).

#### Schriftenverzeichnis

- BRADSHAW, J.D., WEAVER, S.D. & LAIRD, M.G. (1985): Suspect Terranes and Cambrian tectonics in northern Victoria Land, Antarctica. - In: HOWELL, D.G. (Ed.): Tectonostratigraphic terranes of the Circum Pacific region. - Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Science Series, 1: 467-479.
- ETHERIDGE, M.A., WALL, V.J., COX, S.F. & VERNON, R.H. (1984): High fluid pressures during regional metamorphism and deformation: Implications for mass transport and deformation mechanisms. - J. Geophys. Res., 89 (B6): 4344-4358.
- FINDLAY, R.H. (1987): A review of the problems important for interpretation of the CambroOrdovician paleogeography of northern Victoria Land (Antarctica), Tasmania, and New Zealand. - In: McKENZIE, G.D. (Ed.): Gondwana Six: Structure, Tectonics, and Geophysics. - Amer. Geophys. Union, Geophys. Monogr. Series, 40: 49-66.
- GIBSON, G.M. & WRIGHT, T.O. (1985) Importance of thrust faulting in the tectonic development of northern Victoria Land, Antarctica. - Nature, 315: 480-483.

- HUIQI, L., McCLAY, K.R. & POWELL, D. (1992): Physical models of thrust wedges. - In: McCLAY, K.R. (Ed.): Thrust Tectonics. - London, New York (Chapman & HALL): 71-82.
- KLEINSCHMIDT, G. & TESSENSOHN, F. (1987): Early Paleozoic westward directed subduction at the Pacific margin of Antarctica. - In: McKENZIE, G.D. (Ed.): Gondwana Six: Structure, Tectonics, and Geophysics. - Amer. Geophys. Union, Geophys. Monogr. Series, 40: 89-105.
- WODZICKI, A. & ROBERT, R. (1987): Geology of the Bowers Supergroup, Central Bowers Mountains, northern Victoria Land. - In: STUMP, S. (Ed.): Geological investigations in northern Victoria Land, Antarctic Research Series, 46: 39-68.

## **Zeitmarken zum Zerfall von Antarctica und Laurentia und zur Bildung des Ross-Orogens**

Werner Buggisch

Institut für Geologie und Mineralogie, Lehrstuhl für Geologie, Erlangen

Die Erforschung der Ozeanböden hat in den vergangenen Jahrzehnten das geologische Weltbild neu gestaltet und in den sechziger Jahren zu einer umfassenden Hypothese - der "new global tectonics" - geführt. Neuerdings wendet sich die geologische Forschung wiederum verstärkt den im Vergleich zu den Ozeanböden wesentlich älteren und komplizierter gebauten Kontinenten zu - so zum Beispiel im "Kontinentalen Tiefbohr Programm" (KTB). In den neunziger Jahren haben Artikel aus Kanada und den USA im Rahmen der sogenannten "SWEAT"-Hypothese die Diskussion über Bildung und Zerfall von Kontinenten neu belebt. Hier spielt die Antarktis - und besonders der "paläoopazifische Rand" mit dem Ross-Orogen - eine wichtige Rolle.

Die SWEAT-Hypothese fordert, daß Nordamerika (Laurentia) mit der Antarktis und Australien (S-Gondwana) nach der Grenville-Orogenese vor ca. 1,1 Ga einen Superkontinent bildeten. Durch den Zerfall dieses Superkontinentes und durch die Neugruppierung der Kontinentfragmente kam es im Kambro/Ordoviz zur Bildung von Gondwana einerseits und Laurentia/Eurasia andererseits, die sich im Perm erneut zu dem Superkontinent Pangäa zusammenfügten.

Sollte die SWEAT-Hypothese zutreffen, kann die Antarktis wichtige Zeitmarken für den Zerfall (Rift- und Driftstadium) liefern.

(1) Verbreitete marine Sedimentation konnte im Bereich des heutigen Transantarktischen Gebirges erst nach Abspaltung Laurentias und der Bildung eines passiven Kontinentalrandes einsetzen. Damit fällt der Datierung der ältesten (post-Grenville) Serien eine besondere Bedeutung zu.

Eigene Ergebnisse zur Robertson-Bay Gruppe in Nord-Viktoria-Land, zur Watts Needle Formation und Mount-Wegener-Formation in der Shackleton Range sowie neue amerikanische Daten zum Alter der Patuxent Formation in den Pensacola Mountains haben die Forschung vorangebracht, weitere Untersuchungen sind jedoch dringend erforderlich. Ein anderes Problem in diesem Zusammenhang ist, daß von den genannten Serien nur die Watts- Needle-Formation der Sedimentation auf einem passiven Kontinentalrand entspricht. Die übrigen Folgen sind turbiditisch ausgebildet und eher als Ablagerungen irgendwie gearteter Becken anzusehen.

(2) Die Ross-Orogenese ist Ausdruck konvergierender und eventuell transgressiver Plattenbewegungen. Um ozeanische Kruste subduzieren zu können, muß sie normalerweise eine gewisse Reife erreicht haben - d.h. nach dem Zerfall Antarctica/Laurentia muß genügend Zeit vergangen sein, um das Ross-Orogen zu bilden. Daher ist die Datierung des Ross-Orogens ebenfalls von besonderer Bedeutung.

Der "paläoopazifische" Rand von Laurentia ist vom Jungpräkamrium bis Devon durch Ablagerungen des Rift-Stadiums und des passiven Kontinentalrandes gekennzeichnet. Damit ergibt sich von Kalifornien bis Kanada ein einheitliches Sedimentationsmuster. Ganz im Gegensatz dazu besteht das Ross-Orogen aus unter-



schiedlichen Teilstücken (Terranes), deren Rolle und Beziehung untereinander noch weitgehend unklar ist.

Neben strukturgeologischen, petrologischen und geochemischen Untersuchungen ist eine möglichst saubere Datierung der Sedimente und ihrer Herkunftsgebiete, der Metamorphoseereignisse sowie des magmatischen Geschehens notwendig.

Weiterer Aufschluß über Alter und mögliche Rotationen von Terranes wird von der Paläomagnetik erwartet. Die Antarktis kann bei der Bearbeitung der oben angesprochenen Probleme wichtige Antworten zur Frage von Entstehung und Zerfall von Kontinenten liefern.

## Mikrofossilien und Biostratigraphie jungproterozoischer und altpaläozoischer Sedimente der Shackleton Range

Bernd Weber

WIP-Projektgruppe Kleinmachnow, Universität Potsdam, Potsdam

### Präkambrisches Plankton und Biostratigraphie:

Der Wert biostratigraphischer Befunde auf der Basis von Leitfossilien ist in der historischen Geologie unbestritten und biostratigraphisch gewonnene Altersdaten ergänzen oft wirkungsvoll radiometrische Ergebnisse. Insbesondere haben mikropaläontologische Verfahren auf der Grundlage von Mikrofossilien in petrographischen Schliffen, besonders aber in organischen Rückständen aus Flußsäure-Aufschlüssen von Sedimenten eine große Bedeutung in der Stratigraphie erlangt. Biostratigraphisch verwertbare Mikrofossilien können je nach Metamorphosegrad der sie umgebenden Gesteinsmatrix kohlig, graphitisch oder auch permineralisiert überlieferte Zellen oder Zellkomplexe tierischen (z. B. Thecamoben) oder pflanzlichen Ursprungs (z. B. Pollen, Sporen, Zysten u. a.) sein. In den proterozoischen sowie in den älteren paläozoischen Abfolgen dominieren sporenähnliche ("sporomorphe") Formen in Größenordnungen von etwa 10 bis mehreren 100 µm Durchmesser, die wohl überwiegend als Dauerstadien (Enzystierungen) verschiedener Algen-Taxa anzusprechen sind. Als potentielle Erzeuger derartiger Zysten kommen für das untere Proterozoikum (etwa bis 1.4 Ga.b.p.) diverse *Cyanobakterien* (Blaualgen i.s.l.) in Frage. Die genannte Zeitmarke wird allgemein mit dem frühesten Auftreten des eukaryotischen Phytoplanktons korreliert. TAPPAN (1980) konnte zeigen, daß verschiedene rezente *Chlorophyceen*, *Xanthophyceen* und *Pyrrhophyceen* Zysten erzeugen, die den jungproterozoischen Acritarchen sehr ähnlich sehen. Insbesondere sind die sogenannten "sphäromorphen Acritarchen" den zu den Grünalgen gehörenden *Prasinophyceen* zuzuordnen (PFLUG und REITZ, 1988). EVITT (1963) hatte alle Vertreter dieser insgesamt sehr formenreichen, jedoch taxonomisch sehr heterogenen Gruppe von Mikrofossilien als "Acritarchen" bezeichnet. Die Acritarchen bilden noch im älteren Paläozoikum den Hauptteil des fossil überlieferten marinen Planktons und sind bis weit in das untere Proterozoikum mit abnehmender Diversität nachweisbar. Im tiefen Unterkambrium und besonders im Proterozoikum bilden sie neben den biostratigraphisch kaum nutzbaren Spurenfossilien (Ichnofossilien) und den Stromatolithen oft die einzige überlieferte fossile Urkunde überhaupt und sind daher vor allem in proterozoischen Abfolgen von besonderem Wert.

Zunächst schienen die proterozoischen Mikrofossilien für eine biostratigraphische Verwertung wenig geeignet zu sein. Es dominieren neben fadenförmigen, den rezenten *Oscillatorien* ähnelnden Resten meist einfache kugelförmige (spharomorphe) Objekte mit nur schwer differenzierbarer Oberflächenskulptierung. Detaillierte palynologische Studien mit verbesserten Techniken zeigten jedoch bald, daß insbesondere das obere Proterozoikum sowie der Übergang vom jüngsten Proterozoikum in das älteste Phanerozoikum durch charakteristische Formen- und Diversitätswechsel bei den Mikrobengesellschaften gekennzeichnet sind. Besonders auffällig ist der Wechsel zum Phanerozoikum. Während das jungproterozoische Acritarchen-Spektrum fast noch ausschließlich durch einfache oder komplexe sphäromorphe Vertreter bestimmt wird, setzt nahezu explosionsartig die Verbreitung zahlreicher bestachelter (acanthomorpher) Acritarchen sowie komplizierterer Formen mit markanter Oberflächenskulptierung im Unterkambrium ein. Auf dieser Grundlage definierten KNOLL und SWETT (1987) eine charakteristische, auf Acritarchen-Spektren beruhende biostratigraphische Grenze zwischen dem jü-

sten Proterozoikum und dem ältesten (d. h. noch nicht Trilobiten führenden) Phanozoikum. VIDAL und KNOLL (1983) zeigten ferner, daß die Evolution des prakambrischen Phytoplanktons ein relativ kontinuierlicher Prozeß war, der in Bezug auf Artenvielfalt (Diversität) und Individuendichte im Sediment einen langsamen Anstieg aufweist und im oberen Riphaikum einen vorläufigen Höhepunkt erreichte. Die letzten Abschnitte des oberen Riphaikums und das Vendium werden durch einen relativ raschen und dramatischen Abfall der Diversität bestimmt, dessen Ursachen bisher umstritten geblieben sind. (Vgl. Abb.1). Diskutiert werden paläoklimatische Folgen der globalen unter-vendischen (varangerischen) Vereisungsperiode (610-590 Myr b.p.; nach KNOLL und WALTER, 1992) sowie die damit verbundenen weltweiten Regressionsprozesse. Ferner werden die Bildung des panafrikanischen Kontinents, d. h. die plattentektonischen Prozesse der Bildung Gondwanas und die letztlich damit gekoppelten Veränderungen der jungprakambrischen Ökosysteme als mögliche Ursachen diskutiert. Damit könnte auch das konkurrierende Erscheinen neuer Konsumenten in Form der Eumetazoen mit veränderten Lebens- und Nahrungsstrategien am Ende der prakambrischen Ara in Beziehung stehen, die eventuell ein relativ rasches Zurückdrängen der jungproterozoischen Acritarchengesellschaften (oder besser ihrer Produzenten) bewirkten. Auffallend ist zumindest das weltweit gehäufte Auftreten erster pflanzlicher und/oder tierischer Makrofossilien bzw. Spurenfossilien im fraglichen Grenzbereich.

Das jüngste Proterozoikum wird neben dem Diversitätsabfall durch das Vorkommen spezifischer Formgruppen und einzelner Taxa bestimmt, die z. T. auf einen relativ kurzen stratigraphischen Abschnitt beschränkt auftreten, weltweite Verbreitung aufweisen und somit die Anforderungen an biostratigraphisch signifikante Leitfossilien erfüllen. Hierzu zählen beispielsweise die charakteristischen vaseförmigen Objekte ("vase shaped microfossils" = *melanocyrrillids*), die bisher weltweit nur im Zeitintervall zwischen 950 und 700 Myr b.p. nachweisbar waren (HOFMANN, 1987). Auch verschiedene spharomorphe Acritarchen-Taxa (z. B. *Kildinella*, *Trachysphaeridium*, *Bavlinella*, *Octaedryxium* u. a.) bleiben mit bestimmten Arten auf einzelne Abschnitte des jüngsten Proterozoikums oder des ältesten Paläozoikums beschränkt und ermöglichen so eine biostratigraphische Gliederung einzelner Schichtkomplexe aus diesem Zeitraum. Wenn auch die Mehrzahl der mit dem proterozoischen Phytoplankton verbundenen Evolutionsprozesse und paläoökologischen Zusammenhänge noch weitgehend ungeklärt sind, so ist doch dessen biostratigraphische Nutzung auf der Grundlage des Vergleichs der Formenspektren bereits zu Routineverfahren herangereift.

Mikrofossilien im Proterozoikum der Shackleton Range und erste biostratigraphische Befunde:

Auf der Basis verbliebener Sedimentproben aus Aufsammlungen, die in der Shackleton Range während früherer Feldarbeiten geborgen wurden (Sammlungen: H.-J. Paech, ehem. ZIPE Potsdam, jetzt BGR Hannover und W. Buggisch, Univ. Erlangen Nürnberg) konnte der Nachweis der Existenz von Acritarchengesellschaften in verschiedenen Aufschlüssen dieses Gebietes, besonders vom Südrand der Shackleton Range erbracht werden (WEBER, 1991 und WEBER, unveroff. DFG-Bericht, 1993). Insgesamt wurden bisher 74 Sedimentproben aus dieser Region auf der Grundlage von petrographischen Schliffen und Flußsäureaufbereitungen auf möglichen Acritarchengehalt untersucht, wobei die verfügbaren Probenmengen oft nicht ausreichend für eine abschließende und zweifelsfreie Bewertung des Materials waren. Zudem belegen die Proben eher zufällig bestimmte Abschnitte des jeweils aufgeschlossenen Gesamtprofils, so daß nach gezielter Probennahme während der bevorstehenden Feldsaison in der Shackleton Range durchaus neue und weiterführende Befunde zu erwarten sind.

In feinkörnigen Peliten aus den basalen Sedimentfolgen der Watts-Needle-Formation oberhalb des metamorphen Basements am Aufschluß Nicol Crags ließen sich zunächst in Schliffen und in rasterelektronenoptischen Befunden (REM) zahlreiche Acritarchenformen nachweisen, die in das oberstes Riphaikum zu stellen waren (WEBER, 1991). In den nachfolgend untersuchten Flußsäureaufbereitungen vom gleichen Probenmaterial konnten diese Formen leider nicht wiedergefunden werden. Der organische Rückstand wies lediglich unbestimmbare Trummerstücke und Detritus auf. Der Erhaltungszustand der Acritarchen in diesem Material läßt eine derartige Aufbereitungsmethode offensichtlich nicht zu. Hingegen konnte ein weitgehend identisches Acritarchenspektrum in Siltsteinen von der weiter westlich benachbarten Stephenson Bastion (Aufschluß: Mount Greenfield) in relativ guter Erhaltung in Flußsäurerückständen nachgewiesen werden, so daß das Vorkommen jungproterozoischer Acritarchengesellschaften für die Sedimente der südlichen Shackleton Range damit zweifelsfrei erwiesen ist (WEBER, unveroff. DFG-Bericht, 1993).

Die Abbildungen 2 und 3 zeigen wichtige Taxa aus dem nachgewiesenen Formenspektrum und die stratigraphische Signifikanz der Formen. Mit Ausnahme einer fraglichen acanthomorphen Form von den Nicol Crags (*Baltisphaeridium* ?) wurden bisher ausschließlich proterozoische Formen unbestachelter sphäromorpher Acritarchen sowie Vertreter der Gattung *Octaedryxium* gefunden. Die stratigraphische Hauptverbreitung der meisten nachgewiesenen Taxa liegt im obersten Riphaikum bzw. im Vendium und erlischt spätestens im Unterkambrium. Einige Taxa sind nur oberproterozoisch verbreitet und schließen Unterkambrium damit für die ganze Acritarchen-Assoziation aus. Dieser biostratigraphische Befund unterstützt grundsätzlich die während des Shackleton-Range-Workshops 1990 in Hannover vereinbarte Zuordnung der Watts-Needle-Formation (z. B. Aufschluß Nicol Crags) als eine etwa zeitgleiche Bildung zur weiter westlich aufgeschlossenen Stephenson-Bastion-Formation (z. B. Aufschluß Mount Greenfield).

Der bisher noch fragliche Einzelfund eines Vertreters der Gattung *Skiagia* in Sedimenten der sicher jüngeren Wyeth-Heights-Formation (Abb. 3f) ordnet sich ebenfalls in das generelle stratigraphische Bild der Region ein. Die Vertreter der Gattung *Skiagia* sind charakteristisch für das untere Kambrium. Die genannten biostratigraphischen Ergebnisse korrelieren im übrigen recht gut mit den bekannten K/Ar-Altersdaten aus dem Gebiet (BUGGISCH u. a., 1990).

Eindeutige biostratigraphische Nachweise für die Zeitstellung der am Mount Wegener aufgeschlossenen Schichtkomplexe stehen hingegen bisher aus. Die karbonatischen Folgen im Bereich von etwa 30 bis 80 m oberhalb des metamorphen Basements führen dort gut erhaltene Stromatolithen, die GOLOVANOV u. a. (1979, 1980) den riphaischen Gattungen *Columnocollenia* und *Planocollina* zugeordnet hatten.

Eine stratigraphisch vergleichbare Mikrobengesellschaft konnte bisher jedoch weder in diesen, noch in den umgebenden Schichtfolgen nachgewiesen werden. Besonders im Zusammenhang mit der für die südliche Shackleton Range kontrovers diskutierten Überschiebungstektonik waren biostratigraphische Ergebnisse aus diesem Gebiet von großem Wert.

Unteres Kambrium konnte bereits während der GEISHA-Expedition (1984-85) für die Mount-Wegener-Formation im Gebiet des Lapworth Cirque in der östlichen Shackleton Range durch den Nachweis der problematischen Spurenfossilien *Oldhamia radiata* und *Oldhamia antiqua* wahrscheinlich gemacht werden (BUGGISCH u. a., 1990). Obwohl Spurenfossilien in der Regel eher Faziesanzeiger sind und

wenig biostratigraphische Signifikanz aufweisen, ist *Oldhamia* jedoch bisher weltweit ausschließlich in unterkambrischen Sedimenten gefunden worden. Eine Untersetzung dieses Befundes durch mikropaläontologische Ergebnisse wäre jedoch in jedem Fall erforderlich. Grundsätzlich sind die stratigraphischen Beziehungen zwischen der Mount-Wegener-Formation im Osten, der Stephenson-Bastion-Formation und der Wyeth-Heights-Formation im Westen der Shackleton Range (besonders auf Grund der relativ großen räumlichen Distanzen zwischen den Aufschlüssen) bisher noch recht unklar und erfordern eine detailliertere Analyse.

Letztlich sollte nach biostratigraphisch nutzbaren Mikrofossilien (Acritarchen, Dinoflagellaten, Conodonten) im Bereich der altpaläozoischen Blaiklock-Glacier-Group (Mount Provender sowie Otter-Highlands) im äußersten Westen der Shackleton Range gesucht werden, um eventuell auf dieser Grundlage weitere Hinweise auf die stratigraphischen Verhältnisse in dieser Region zu erhalten und die bisher vorliegenden Nachweise von Makrofossilien (Trilobiten, Brachiopoden) zu untersetzen. Ein eingehendes Studium der besonders in der unterkambrischen Mount-Wegener-Formation sehr zahlreich vorkommenden Ichnofossilien ermöglicht gegebenenfalls auch wertvolle Rückschlüsse auf die paläontologischen Gegebenheiten im Sedimentationsraum.

Paläontologisch-biostratigraphische Fragestellungen und Methoden wurden in der Vergangenheit bei der Gesamtbearbeitung des Gebietes eher sporadisch berücksichtigt. Die bisherigen Ergebnisse weisen jedoch deren Nutzen aus und sollten Anlaß sein, diesen Aspekt künftig systematischer zu verfolgen.

Nicht zuletzt betrifft der bearbeitete geologische Zeitabschnitt (P - Wende) eine Phase fundamentaler biologischer, ökologischer und tektonischer Umbrüche im Verlauf der Erdgeschichte, deren Aufklärung einen höchst aktuellen Gegenstand der internationalen Forschung bildet (KNOLL und WALTER, 1992). Die Aufschlüsse in der Shackleton Range sind unter diesem Aspekt bisher nicht bearbeitet worden und stellen somit auch in dieser Hinsicht geowissenschaftliches Neuland dar.

#### Literatur (Auswahl)

- Buggisch, W.; Kleinschmidt, G.; Kreuzer, H.; Krumm, S., 1990: Stratigraphy, metamorphism and nappe-tectonics in the Shackleton Range (Antarctica). In: H.J. Paech; D. Fritzsche; Antarctic Research.- Proc. Symp. Potsdam GDR, 11.-14. 9.1989.-Geol. und Geophys. Veroff. R.I, 15 (1990): 64-86.
- Downie, C., 1984: Acritarchs in British Stratigraphy.- Geol.Soc. London, Special Report No. 17 (1984): 1 - 25.
- Knoll, A. H.; Walter, M. R., 1992: Latest Proterozoic Stratigraphy and Earth history. - Nature, Vol. 356, 23.Apr. 1992: 673-677.
- Pflug, H. D.; Reitz, E., 1985: Earliest Phytoplankton of Eukaryotic Affinity.- Naturwissenschaften 72 (1985): 656-657.
- Pflug, H. D.; Reitz, E., 1988: Zur Evolution des eukaryotischen Phytoplanktons im Riphaikum. - Neue Erkenntnisse aus der Belt Serie von Nordamerika.- Geol. Rundschau, 77, 2: 417-427.
- Vidal, G., 1976: Late Precambrian microfossils from the Visingsö Beds in southern Sweden. - Fossil and Strata (Lethaia) 9:1-14.
- Vidal, G.; Knoll, A. H., 1983: Proterozoic Plankton. - Geol. Soc. of America. Memoir 161(1983): 265-277.
- Weber, B., 1991: Microfossils in Proterozoic Sediments from the Shackleton Range, Antarctica. A Preliminary Report. - Z. geol. Wiss. 19 (2):185-197.

\*Die Bibliographie aller übrigen, im Text zitierten Publikationen findet sich in den hier aufgeführten Artikeln.



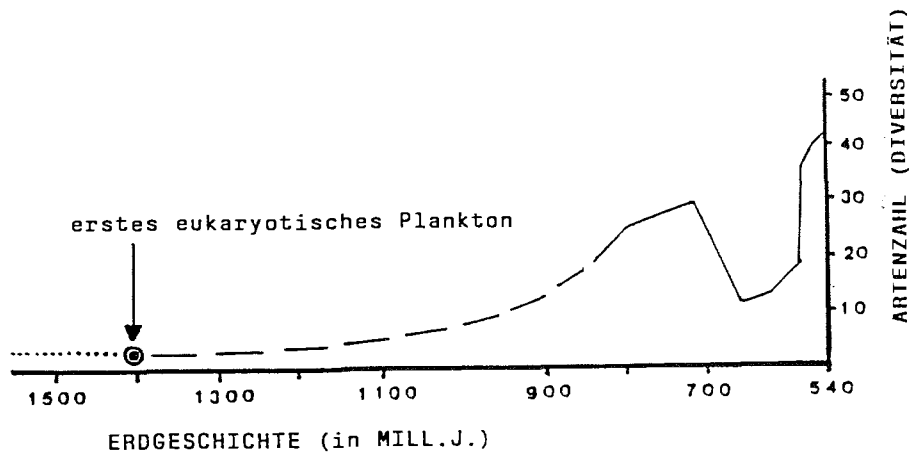


Abb.1  
Diversitätsspektrum des fossilen Planktons (Acritarchen)  
im späten Proterozoikum (verändert nach VIDAL & KNOLL, 1983).

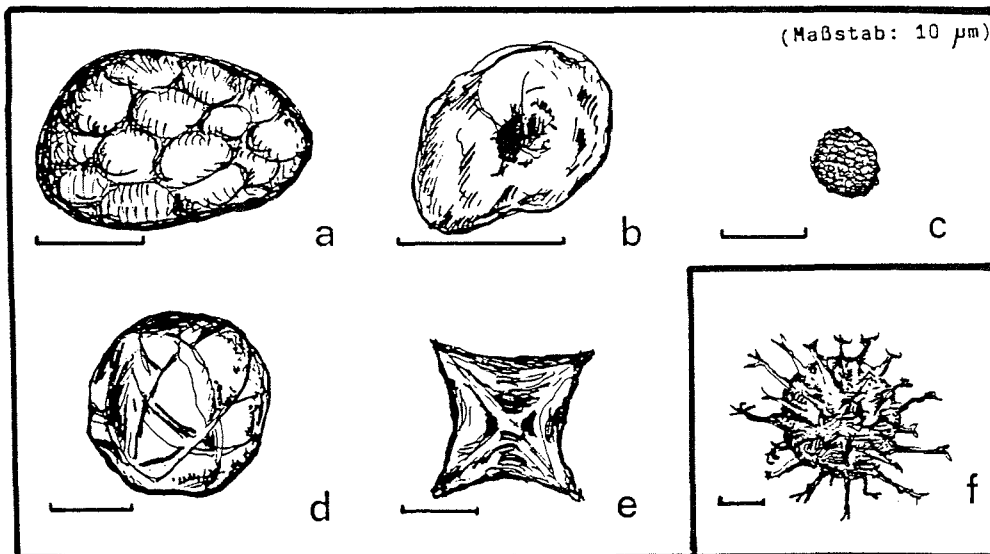


Abb.3  
a-e: Beispiele für wichtige Taxa aus den Aufschlüssen am  
Mount Greenfield und bei Nicol Crags.  
a: *Satka colonialica* JANKAUSKAS 1979  
b: *Stictosphaeridium* (syn. *Nucellosphaeridium*) sp.  
c: *Bavlinella faveolata* SHEPELEVA 1962  
d: *Kildinella* sp.  
e: *Octaedryxium truncatum* RUDAVSKAJA 1973  
3f: Problematischer Einzelfund eines Vertreters der  
Gattung *Skiagia* (unteres Kambrium), Wyeth Heights.

## **U-Pb-Datierungen an Zirkonen aus Gesteinen der Antarktischen Halbinsel im Bereich der Marguerite Bay und Bellingshausen See**

Werner Loske & Hubert Miller  
Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie, München

Die Entwicklung des Grundgebirges der Antarktischen Halbinsel (AH) zeichnet sich durch charakteristische regionale Unterschiede aus. In der nördlichen AH besteht es aus überwiegend schwach, teilweise grünschieferfaziellen Grauwacken und Schieferen der Trinity Peninsula Group, die im ?Karbon bis in die Trias abgelagert wurden (Abb. 1). Sie liegen einem amphibolitfaziellen Grundgebirge auf, das nur anhand von Xenolithen untersucht werden kann, die im Zuge des kretazischtertiären Vulkanismus gefördert wurden. U-Pb-Datierungen an Zirkonen aus diesen Xenolithen ergeben ein Metamorphosealter von ca. 300 Ma, das in etwa der variszischen Orogenese entspricht. Ererbte Pb-Komponenten weisen auf eine proterozoische Bildung (ca. 1.7 Ga) der Zirkone hin.

Im zentralen und südlichen Teil der AH ist das aus Granitoiden und Gneisen bestehende Grundgebirge direkt aufgeschlossen. Die prägende Metamorphose gehört mit ca. 310 Ma auch zum variszischen Zyklus, wogegen die Intrusionsalter der Granitoide in den Zeitraum um ca. 420 Ma fallen. Eine U-Pb-Datierung an Zirkonen aus dem südlichen Teil der AH zeigte ein noch höheres Intrusionsalter (ca. 500 Ma) und eine kretazische (ca. 130 Ma), der andinen Orogenese zugehörige metamorphe Überprägung.

Das andine Geschehen (Jura-Kanozoikum) und die Peninsula-Orogenese (Wende Trias-Jura) prägen die Geschichte der AH wesentlich. Am damaligen Westrand von Gondwana hatte sich ein aktiver Kontinentalrand entwickelt, der sich durch einen magmatischen Bogen auszeichnete, in dem vulkanische Gesteine gefördert wurden und Plutonite intrudierten. Mittel- bis grobkörnige klastische und vulkanoklastische Sedimente wurden in einem Fore Arc Becken abgelagert, und feinkörnige, teilweise biogene Sedimente in einem sich im Jura auf der Weddell-See-Seite der AH öffnenden Back Arc-Becken. Metamorphe Gesteine, die zu dieser Zeit gebildet wurden zeigen zum einen im Bereich der Elephant Island Group Charakteristika einer Versenkungsmetamorphose (druckbetont) und zum anderen im Bereich der eigentlichen AH einen typisch regionalmetamorphen Charakter, der sich durch eine schwach druck- und temperaturbetonte Metamorphose auszeichnet.

Die Summe dieser Ereignisse führte dazu, daß die ältere Geschichte der AH widerspiegelnde Information in den Gesteinen leider weitgehend vernebelt wurde. Zentraler Punkt für die Aufhellung der Gebirgszusammenhänge zwischen Südamerika und der AH einerseits und der fraglichen Zusammenhänge zwischen AH und dem Ross-Orogen andererseits ist die zeitliche Fixierung der prä-andinen gesteinsbildenden Vorgänge in der AH. Anhand des U-Pb-Isotopensystems in Zirkonen ist es möglich, quasi durch eine jüngere Überprägungsgeschichte hindurchzuschauen und (wenn vorhanden) primäre, hier paläozoische Ereignisse zu datieren.



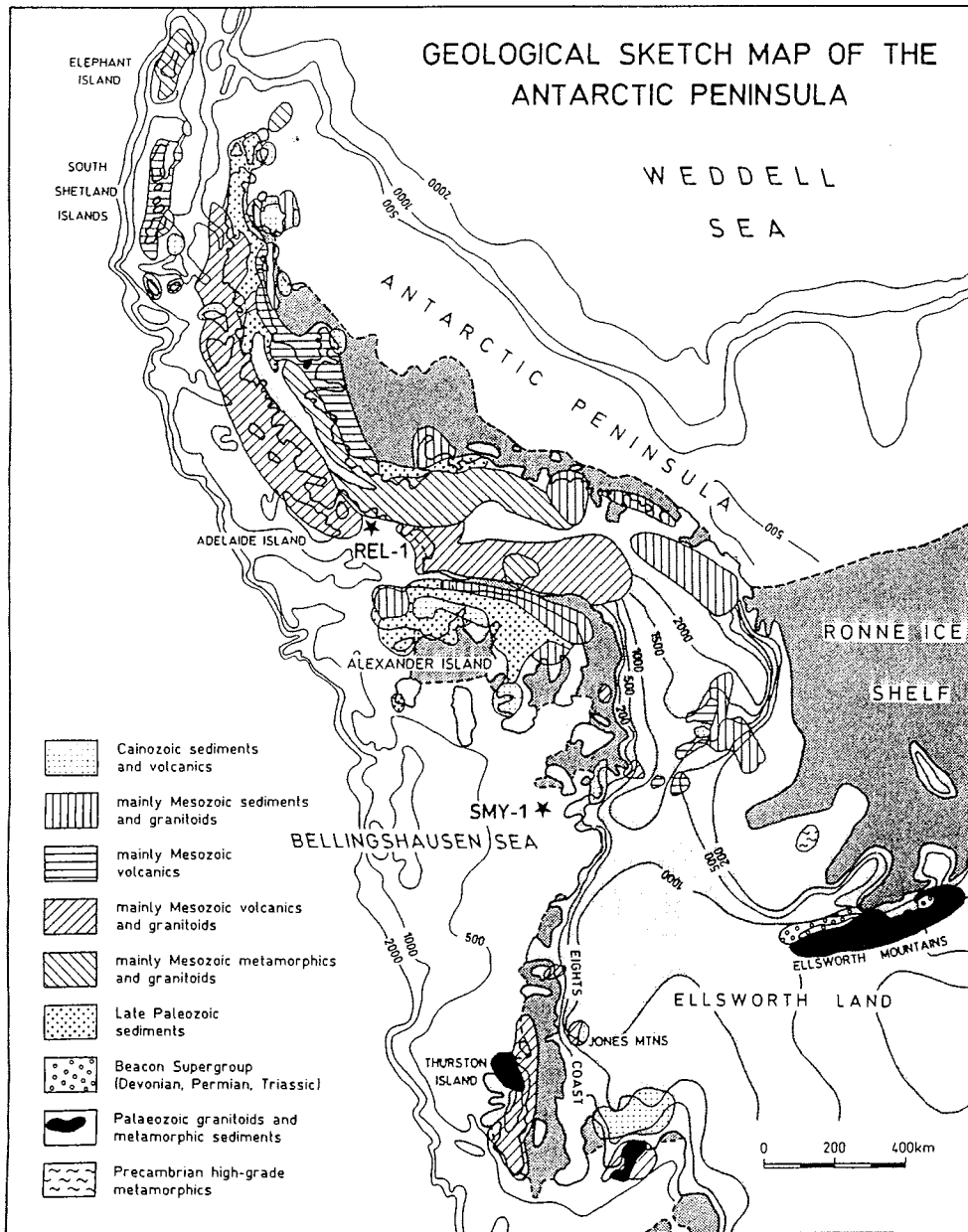


Abb. 1 Geologische Übersichtskarte der Antarktischen Halbinsel

Aufgrund der geologischen Verhältnisse und den im Umfeld der Marguerite Bay (Abb. 1) vorhandenen Datierungen ist in diesem Teil der AH die Wahrscheinlichkeit groß, alte, prä-Andine Gesteine anzutreffen. So wurden z.B. auf Horseshoe Island graugrün gebänderte Gneise und rötlichgraue, foliierte Granite (Orthogneise) als „altes Gebirge“ kartiert. Reluctant Island auf der Ostseite von Horseshoe Island besteht im zentralen Teil aus mittelkörnigen, geschieferten und zerscherten Graniten mit variabel ausgeprägtem Planargefüge. In nördlicher Richtung nehmen migmatische Strukturen und die Häufigkeit an basischen Enklaven deutlich zu, bis die Granite von einem Gabbrokomplex abgeschnitten werden, dessen mitgebrachte Wärme vermutlich die Ursache der Migmatisierung im Granit ist.

Neben Quarz, serizitisiertem Kalifeldspat und Plagioklas als Hauptgemengteilen sind in der untersuchten Probe (REL-1) lagig ausgeschmiert Hornblende und wenig Biotit vorhanden. Als wichtigstes Akzessorium ist idiomorpher Zirkon zu nennen. Die Kristalle sind farblos; teilweise aber mit einem HNO<sub>3</sub> löslichen rotbraunen Überzug umgeben. Transparente Einschlüsse haben häufig eine blasige Form und sind mit einer fluiden Phase gefüllt. Daneben sind oft nierig-traubige Erzeinschlüsse und transparente stengelige Mineraleinschlüsse (Apatit) zu beobachten. Eine Auswertung der Tracht (Kombination der Prismen- und Pyramidenflächen) im PUPIN Diagramm zeigt eine Dominanz der (100) Prismenfläche und der (101) Pyramide; also der P<sub>5</sub>, J<sub>5</sub> und D Typen (Abb. 2, REL-1). Diese sind nach PUPIN charakteristische Vertreter von Zirkonen aus alkalinen und peralkalischen Manteldifferentiaten („I-Typ Granite“).

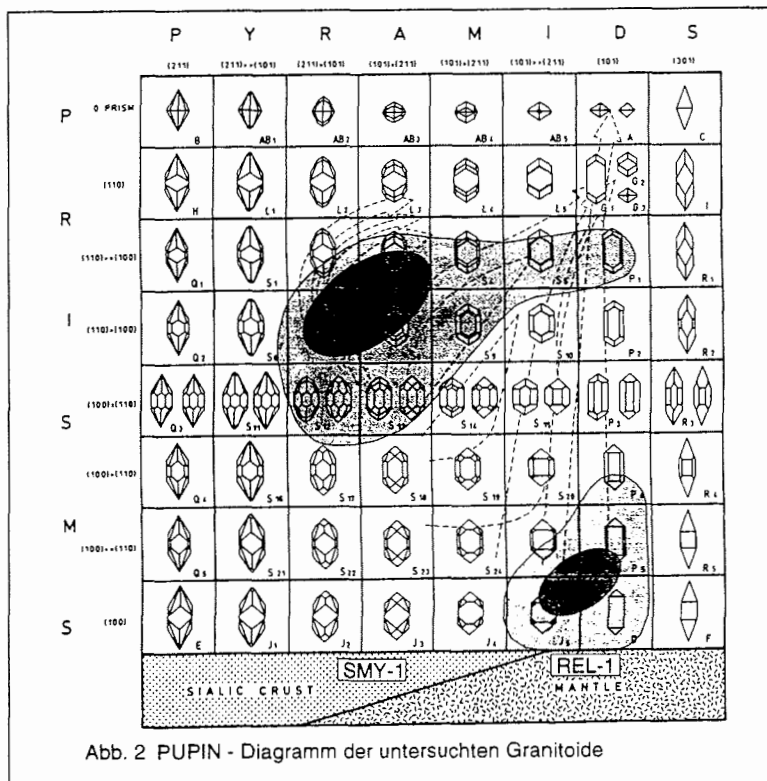


Abb. 2 PUPIN - Diagramm der untersuchten Granitoide

Kathodolumineszenzuntersuchungen (KL) dieser Zirkone lassen erkennen, daß zwar konstruktive und destruktive Wachstumsphasen zu erkennen sind, die die schwankende Zirkoniumsättigung der Schmelze und deren  $O_2$ -Fugazität widerspiegeln, daß aber echte Kernstrukturen nicht sicher nachzuweisen sind. Es ist daher anzunehmen, daß die Zirkone eine einphasige Genese haben.

Das U-Pb-Isotopensystem dieser Zirkone zeigt ein mit zunehmender Korngröße abnehmenden Urangehalt. Der Grad ihrer Diskordanz ist, von einer Ausnahme abgesehen, positiv mit dem Urangehalt korreliert. Bei Annahme einer einphasigen Bildungsgeschichte (vgl. KL-Untersuchung) und einem rezenten Bleiverlust ergibt sich ein Kristallisationsalter der Zirkone von 182 Ma, das in etwa dem Intrusionszeitpunkt des Magmas entsprechen sollte (Abb. 3). Die Foliation dieses Orthogneises ist also einem syn- bis spätintrusiven Prozess zuzuordnen, der keinen meßbaren Einfluß auf das Isotopensystem der Zirkone gehabt hat.

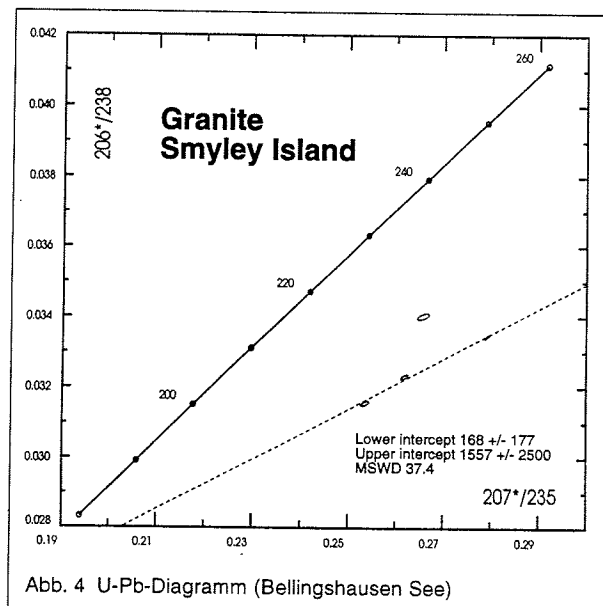
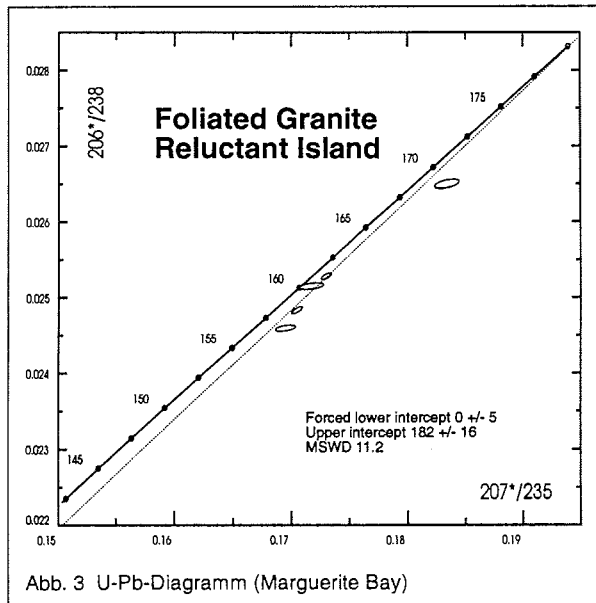


Abb. 4 U-Pb-Diagramm (Bellingshausen See)

Während der geophysikalischen Untersuchungen in der Bellingshausen See wurde ca. 2 km vor der Eiskante von Smyley Island eine Schärengruppe entdeckt, die nicht auf der Seekarte verzeichnet ist. Sie besteht aus einem weißlichen, porphyrischen Granit mit lagig angeordneten, mehrere cm großen Biotitnestern. Der Biotit zeigt randlich Umwandlungen zu Chlorit und die Kalifeldspäte sind häufig serizitiert. Gelegentlich tritt myrmekitischer Quarz auf. Als Akzessorien sind vor allem Apatit, Epidot und Zirkon zu finden.

Die Zirkone dieses Granits sind farblos bis schwach gelblich gefärbt. Blasige Einschlüsse mit transparenter oder opaker Füllung treten bei etwa 50% der Individuen auf, bevorzugt allerdings in den großen Kristallen. Brüche wurden nicht beobachtet. Eine Auswertung der Kristalltrachten im PUPIN-Diagramm zeigt eine starke Vormacht der S7, S8 und S3 Typen mit einer Tendenz in Richtung S4 und P1 (Abb. 2, SMY-1). Dieses Verteilungsmuster entspricht dem vom PUPIN beschriebenen Trend für kalkalkaline Magmatite mit hybridem Charakter, der aus der "Mischung" von Krusten- und Mantelmaterial herrührt. In das Magma eingeschleppte, krustale Zirkone sind also zu erwarten.

KL-Untersuchungen dieser Zirkone zeigen deutlich Lumineszenzstrukturen wie sie durch ererbte, sändig verdaute, Zirkonkerne hervorgerufen werden. Ihr Lumineszenzcharakter ist bei allen untersuchten Kristallen gleich, so daß hier auf eine homogene, kogenetische Population geschlossen werden kann, die aber eine zwei-phasige Entwicklung durchlaufen hat.



Auch bei diesen Zirkonen ist eine systematische Zunahme der Urangehalte und des Grades der Diskordanz mit abnehmender Korngröße zu beobachten. Aus der vorläufigen Untersuchung der U-Pb-Systematik dieser Zirkone ist zu entnehmen, daß die ererbte Pb-Komponente in den Zirkonkernen proterozoischen Alters ist (Abb. 4, ca. 1.6 Ga). Weitere Untersuchungen zur Präzisierung dieser Zahl sind notwendig.

Die Hauptkristallisationsphase der Zirkone in der Schmelze wird durch den unteren Schnittpunkt der Ausgleichsgeraden mit der Konkordia fixiert. Das noch sehr ungenau definierte Datum von 168 Ma zeigt, daß dieser Granit zu den im Mesozoikum intrudierten, subduktionsinduzierten Magmatiten der Andinen Suite gehört.

Zusammenfassend und vorbehaltlich weiterer Untersuchungsergebnisse in die Zukunft blickend läßt sich feststellen, daß im Bereich der Marguerite Bay die andine Intrusionstätigkeit mit einer gleichzeitigen Deformation der Intrusivkörper verbunden war und pra-andine Gesteine nicht zwangsläufig an ihrer Deformation erkennbar sind. Weitere Untersuchungen, an nach anderen Kriterien auszuwählenden Proben zur Verifizierung der vermuteten pra-andinen Ereignisse sind im Gange.

Die Probe aus der Bellingshausen-See beweist einen Anteil alter kontinentaler Kruste an der Schmelzzusammensetzung. Hier besteht dringender Handlungsbedarf, um die Entwicklungsgeschichte des aktiven Westrandes von Gondwana im Übergangsbereich AH - Westantarktis rekonstruieren zu können.

A) ANTARKTIS - Herzstück des südlichen Superkontinents.  
seine Bildungs- und Zerfallsphasen

3) Zerfallsprozesse des südlichen Superkontinents (Gondwana)  
und rezente Krustenstruktur

a) Lambert-Rift

Beitrag

Hoffmann, J.

## Fragmente intragondwanischer Riffe als Werkzeug der Gondwana-Rekonstruktion - das Beispiel des Lambert-Mahanadi Riftes (Ostantarktika-Peninsular Indien).

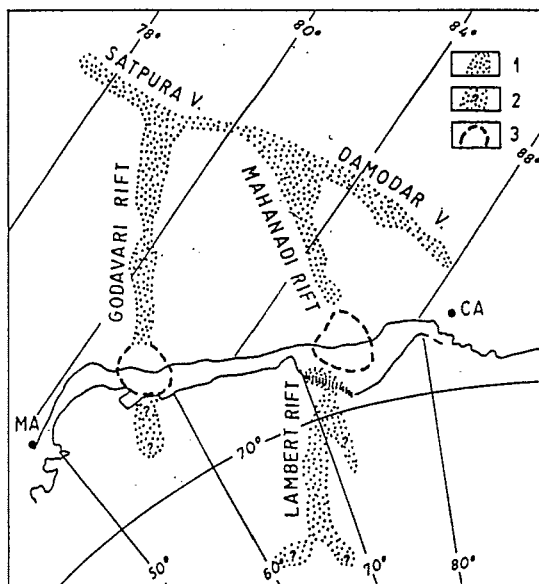
HOFMANN, J.

TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie, Freiberg/Sa

### Einleitung

Gondwana-Rekonstruktionen liegen Isobathen-Fits, Paläopollagen oder Vergleiche von Strukturbau und Alter der metamorphen Basements bzw. der paläozoisch/ mesozoischen Plattformhülle juxtapositiver Gondwana-Fragmente zugrunde. Die zuverlässigste Möglichkeit eines linking together bieten jedoch intragondwanische, im Verlauf des Gondwana-Aufbruches getrennte Riffe. Im Ensemble der Zirkum-Indik Gondwana-Fragmente sind das Lambert Rift (LR) und das Mahanadi-Rift (MR) Teile eines mit spätpaläozoischen bis spätmesozoischen Sedimenten erfüllten Riftes (Ostantarktisch-Indisches Rift - OAIR), das in das Rifting-Muster des kristallinen Fundamentes der Ostgondwana eingeordnet werden kann (Bild 1). Eine Analyse des Kenntnisstandes zeigt, daß über die Entwicklung des ostantarktischen Riftabschnittes durch ANARE- und SAE-Expeditionen sowie durch ODP-Aktivitäten umfassendere Kenntnisse vorliegen als über das MR. Die Absicht, den indischen Teilabschnitt in die weitere Bearbeitung der ostantarktisch-indischen Riftstruktur einzubeziehen erscheint somit im Sinne der Gesamtdarstellung der Riftentwicklung und der Möglichkeit, eine Riftstruktur über zwei Gondwana-Fragmente hinweg verfolgen zu können, begründet.

Bild 1: Das intragondwanische Riftsystem Ostantarktikas und Peninsular Indiens n. Angaben von VERMA (1991) und FEDOROF et.al. (1977). 1 - Gondwane-Supergruppe in Riften, a.d. Oberfläche nachgewiesen; 2 - geophysikalisch nachgewiesen; 3 - unter känozoischer Bedeckung.



Die Geschichte des Problems.

Erste geologische fundierte Hinweise auf den primären Zusammenhang zwischen Ostantarktika und Peninsular-Indien gaben BALME & PLAYFORD [1972] durch den Vergleich der aus dem LR und dem MR bekannten permischen Floren. Eine direkte paläogeographische Verbindung zwischen den jungpaläozoischen Gliedern der Gondwana-Formation im MR und im LR stellten BARRET et.al. [1975] her. TEWARI & VEEVERS [1993] erkannten in der Lower Gondwana Group des LR S-N-gerichteten Sedimenttransport von einem zentralen East Antarctic Paleoupland zum Tethys-Südrand (Talchir-Shoreline).

	Lambert Rift		Mahanadi Rift
	Prydz Bay	Lambert-Glacier Valley	
Untere Kreide	Deltasedimente kohleführend < 2 500 m		?
Unteres Mesozoikum	alluviale nichtmarine Sedimente < 3 000 - 4 000 m		Bansa Beds Atgarh Chicharia Parsora
Unteres Mesozoikum bis Oberes Paläozoikum	nichtmarine Siltsteine und red bed Sandsteine 0 - > 2 000 m ?	AMERY - Gruppe fluviale bis limnische Konglomerate, kalkige Schiefer und Kohle > 2 500 m max. 3 - 5 km ?	Himgir Barakar Talchir
Präkambrisches metamorphes Basement			

Bild 2: Die stratigraphischen Verhältnisse im Lambert- und im Mahanadi-Rift. Nach Angaben von COOPER, STAGG et.al. [1991], MASOLOV, KURININ et.al. [1980], MOND [1972], VERMA [1991].

Eine Rekonstruktion des Zusammenhanges zwischen ostantarktischem und indischem Gondwana-Fragment gaben FEDOROV et.al. [1977, 1982], nachdem der Riftcharakter des Lambert Glacier Valley erkannt wurde [RAVICH et.al. 1978, MASOLOV et.al. 1980] und somit eine Verbindung von LR und MR möglich war. Die Fixierung beider Gondwana - Fragmente über das OAIR wird durch die geophysikalisch belegte Fortsetzung des zum MR parallelen Godavari-Riftes in das vom kontinentalen Eis bedeckte kristalline Basement der Ostantarktischen Tafel an der E-Seite der H.I. Enderby gestützt. Dieses Modell ist gegenwärtig Grundlage für Ostantarktika-Indien-Rekonstruktionen [vgl. u.a. QUILTY & TINGEY 1984, STAGG 1985, TEWARI & VEEVERS 1993, YOSHIDA et.al. 1992].

Kenntnisstand und Diskussion

1. Das LR folgt nach GRIKUROV [1980] einer Suture zwischen Zentralem und östlichem Geoblock der Ostantarktischen Tafel. Im Strukturplan des kristallinen Fundamentes zeichnet es sich durch einen Bereich sinistraler Rotationen linearer Ele-

mente (Faltenachsen, Lineationen und Achsen geomagnetischer Anomalien) ab (Bild 3 A).

2. Das LR ist durch meridionale Bruchsysteme begrenzt und zeigt, neben einem komplizierten inneren Blockbau, typische Halbgrabenstruktur. Der markante ausgebildete W-Rand, an dem ein vertikaler Versatz der Oberfläche des kristallinen Basements von >10 bis 12 Km nachgewiesen ist, zeigt E-fallende Master Faults und diesen zugeordnete, antithetische Begleitstörungen, die insgesamt ein dextrales Schrägabschiebungssystem mit nach W bis NW gerichtetem Vektor darstellen [HOFMANN 1988, 1991] Die strike-slip Komponente des paläozoischen Rifting führte zu einer der Suture folgenden, jedoch dextralen Schollenrotation (Bild 3 B).

Tab. 1: K-Ar Alter störungsgebundener Magmatite am Westrand des Lambert Riftes, vgl. HOFMANN [1991].

NPCM - nördliche Prince Charles Mt.s., SPCM - Südliche Prince Charles Mts.

Gestein:	Lokalität:	Alter (MA):
Porphyrite	NPCM, Jetty-Oase	239 - 245
Kontinentale Basalte	NPCM, Taylor Plattform	246
Mafische Gänge	NPCM, Jetty-Oase	308
Alkali-Melassenite	SPCM, Mt.Bayliss	414 - 430
Prophyrische Granite	NPCM, Jetty-Oase	498
Alkali-Olivinbasalte	SPCM, Fox Ridge	502

3. Die langzeitliche Entwicklung der Randstörungen des LR wird durch eine Sequenz störungsgebundener Ganggesteine belegt (Tab.1, Bild 3 A-C). Frühpaläozoische (?präpanafrikanische) Alkali-Olivinbasalte sowie panafrikanische Granite und Granitporphyre folgen meridionalen Brüchen und lassen jüngstproterozoisch(?) -frühpaläozoisches krustales Fracturing vermuten. In der Jetty-Oase häufige, von kohleführenden Klastiten der Amery-Gruppe (Bild 2) überlagerte mafische Gänge leiten mit Altern um 308 MA die Periode der Hauptsubsidenz ein. In deren Folge wurden im LR die kaltzeitlichen, fluviatil-limnischen Sedimente der Amerygruppe abgelagert (Bild 2), deren sichtbare Mächtigkeit etwa 2.500 m beträgt [IRAVICH, G.M., 1974], nach seismischen Ergebnissen jedoch 3 bis 5 Km erreichen kann [KURININ et.al., 1980]. Detritustransport von S nach N ist sowohl im LR als auch im MR nachgewiesen [TEWARI & VEEVERS 1991, HOFMANN 1991]. Im N-Teil des Riftes (Jetty Oase) belegen vereinzelte triassische Ganggesteine (Tab.1) und, in der Prydz Bay, lückenhafte triassische, jurassische und frühcretazische kontinentale Sedimente mesozoische Subsidenz (Bild 3B,C) [COOPER et.al. 1991].



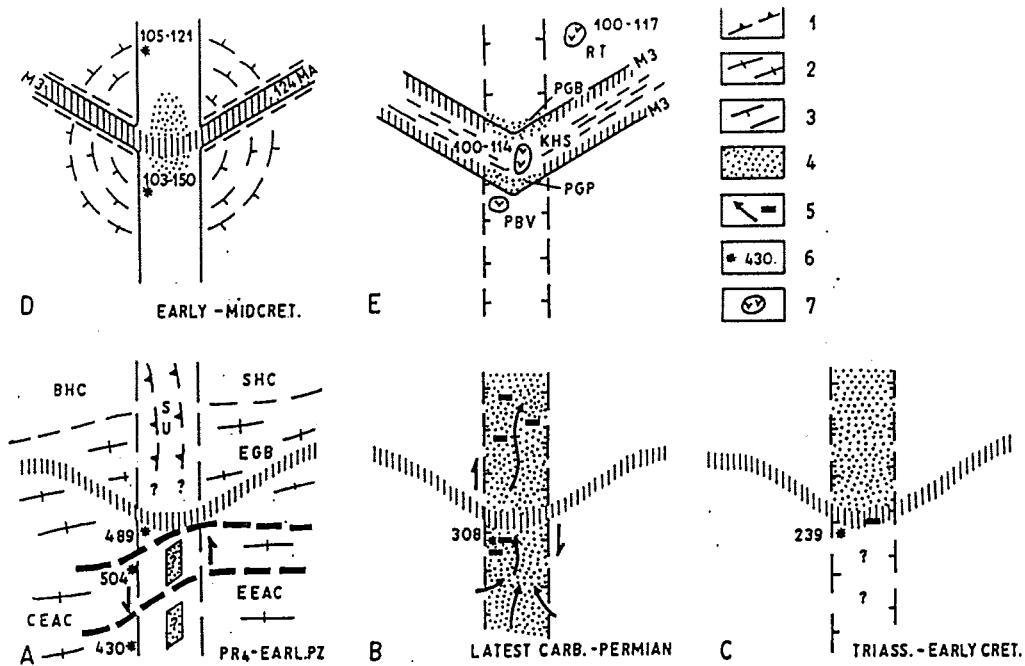


Bild 3: Schema der Entwicklung und Trennung des Ostantarktisch-Indischen Riftes unter Berücksichtigung von Vorstellungen von ROGERS (1986), SMITH [1993], STAGG [1985], CHAUDHURI & SARKAR, (1987), LAWVER, SCLATER et.al. (1985) und COFFIN [1991].

1 - Basement-Thrusts oder -Suturen; 2 - Strukturlinien, 3 - Bruchstörungen; 4 Sedimentationsgebiete; 5- Transportrichtungen; 6 - Vulkanite und Ganggesteine mit Altersangaben; 7 - größere Vulkanitkomplexe. A - Gliederung des präjungproterozoischen, Ostantarktisch-Indischen kristallinen Fundamentes (BHC Bhandara Kraton, SHC - Shingbhum Kraton, SU - Sukinda Thrust, EGB - Eastern Ghats Belt; CEAC - Zentral-Ostantarktischer Geoblock, EEAC - Östlicher Ostantarktischer Geoblock) und Etappe des jungstproterozoisch-frühpaläozoischen krustalen Fracturing. Mögliche, mit sinistraler Schollenrotation verbundene Pull -Apart Becken (?Vulkanite) im ostantarktischen Riftteil. B - Etappe intensiven krustalen Fracturings und Hauptsubsidenz im späten Karbon und Perm; Bildung der Lower Gondwanas (Amery Group). C - triassisch-frühcretazische Subsidenz; Bildung der Lower Gondwanas. D - Krustale Domung, Gänge und Pipes von Alkali-Ultrabasiten und Bildung eines frühcretazischen Triple Junction; Gondwana-Trennung zwischen Ostantarktika und Indien zur Zeit der Anomalie M3. E -

4. Ein polystadialer, sowohl prä- als auch postpermischer Hydrothermalismus (Quarzgänge und -breccienzonen, Cu-, Pb-, Zn-, Baryt- und Fluorit- Mineralisationen) ist an die Bruchstörungen des meridionalen Systems gebunden.

5. Die Entwicklung des OAIR endet in der frühen Kreide mit dem Ostantarktika-Indien-Aufbruch (Bild 3D). Am W-Rand des LR (Jetty Oase) auftretende, an Schnittbereiche von meridionalen mit E-W streichenden Bruchstörungen gebundene Gänge und Pipes frühcretazischer Alkali-Ultrabasite (LAIBA et.al., 1987) sind Indikatoren des initialen kontinentalen Rifting (Tab.2). Ein in der westlichen Prydz-Bay lokalisierter, ausgedehnter Effusiv/Intrusivkomplex wird gleichfalls als frühcretazisch betrachtet [STAGG 1985, COOPER et.al. 1991].

6. Nach dem Gondwana-Aufbruch wird das LR in die Entwicklung des Progradationsprismas vor dem ostantarktischen Schelf involviert, dessen spätcretazisch-frühpalaogene Sedimente in der Prydz Bay seit dem Paläogen von glazial-marinen Sedimenten des Lambert Gletscher-Systems überdeckt werden [HAMBREY 1991, COOPER et.al. 1991].

#### Parallelen zwischen Lambert- und Mahanadi-Rift

Auf der Grundlage des in 3.0 dargestellten Kenntnisstandes bestehen in der Entwicklung von LR und MR folgende Parallelen (vgl. WADIA 1966, KRISHNAN 1968 und VERMA 1991):

1. Aufgrund der tektonischen Situation (s.o.), die auch durch das bestmögliche Iso-bathenfit gestützt wird, ist das MR als Fortsetzung des LR zu betrachten (BARKER & GRIFFITH 1977). Die Verbindung beider Riffe wird durch die geophysikalisch belegte Fortsetzung des Godavari-Riftes in ein Rift östlich der H.I. Enderby gestützt. Die paläozoisch-mesozoischen Riftsedimente sind unter spätcretazisch-kanozoischer Bedeckung sowohl vor dem MR und dem Goodavery Rift (VERMA 1991) als auch vor dem LR bis an den Kontinentalrand nachgewiesen (COOPER et.al. 1991). Das MR scheint gleichfalls, wie im Falle des LR vermutet, einer Sutur (Sukinda Thrust) zwischen Bhandara- und Shingbhum-Craton [ROGERS 1986] zu folgen.

2. Stratigraphischer Umfang (Perm bis frühe Kreide, Bild 2), lithofazielle Verhältnisse und Paläogeographie (TEWARI & VEEVERS 1991) des ostantarktischindischen Gondwanabereiches fügen sich, trotz des im LR begrenzten Kenntnisstandes, widerspruchslos zusammen. Dies wird durch den Nachweis einer Indo-Antarktischen Florenprovinz [PLUMSTEAD 1964, BALME & PLAYFORD 1972] gestützt. Zwischen den Kohlen des MR und denen der Amery-Gruppe des LR besteht in wesentlichen kohlenpetrographischen Parametern Übereinstimmungen [FEDOROV et.al.1977].

3. LR und MR werden zwischen oberstem Malm und Alb (105 -150 MA) zeitgleich und in Verbindung mit der Formierung eines den Aufbruch wahrscheinlich bestimmenden Triple Junction (s.5.0) von einem an einen Bereich ausgedehnten krustalen Fracturings gebundenen Alkali-Ultrabasitereignis betroffen (Tab.2).

#### Die Trennung von Ostantarktika und Indien

Der zeitliche Ablauf der Trennung beider Gondwana-Fragmente kann in großen Zügen rekonstruiert werden. Der Aufbruch wurde durch einen Triple Junction initi-

iert [MARSH 1989, STAGG 1985, HOFMANN 1992], wobei ein Arm der Struktur als Failed Arm im LR fixiert wurde. Die Aufbruchslinie zwischen ostantarktischem und indischem Gondwana-Fragment folgte den aktiven Armen dieser Struktur. Mit dem kontinentalen Rifting und dem frühen Spreading sind zwischen oberem Jura und Alb (150 -105 MA) die Alkali-Ultrabasite in beiden Riffen (Tab. 2) verbunden. Die unmittelbar am ostantarktischen Kontinentalrand liegende Anomalie M 3 (124 MA)

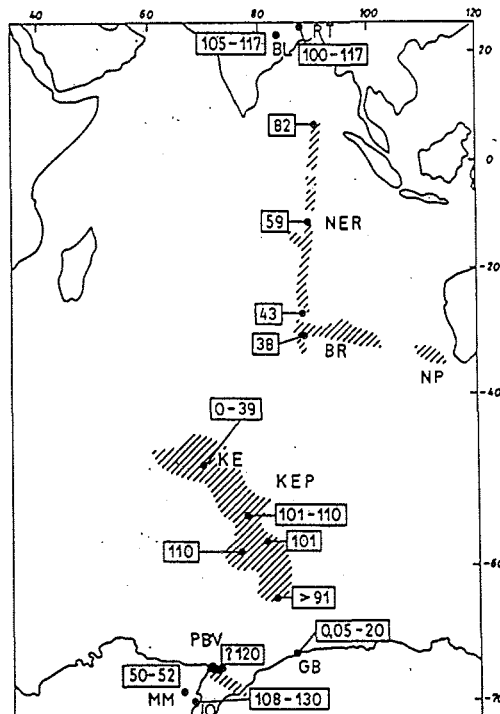
Tab.2: Die Entwicklung des Kerguelen Hotpot (KHS) und seiner Spuren.

<u>Nördliche Spur des KHS:</u>	Alter (MA):	Quelle:
Barakar-Lamproite	1 05 -1 21	MITCHELL et.al. [1 991 ]
Rajmahal Trapps	100 - 106, 117	DUNCAN [1990], McDOUGALL et.al.[1970
Ninety East Ridge, Basalte	43 - 82	COFFIN [1992]
Broken Ridge, Basalt	38	COFFIN [1992]
Isle de Kergulen, Basalte	0 - 39	GIROD et.al. [1972]
<u>Kerguelen Hotspot</u>		
Südl. Kerguelen Plat. Basalte	100 - 110, 114	LECLAIRE et.al. [1987]
		COFFIN [1992]
<u>Südliche Spur des KHS</u>		
Jetty-Oase, Alkali-Ultrabas.	103 -150	HOFMANN [1991], LAIBA et.al. [1987]
PrydzBay Kompl.	fruhcret.(?120MA)	STAGG [1985]
Manning Mass., NPCM, Bas.	50 - 52	SHERATON [1981]
Gaussberg, Leuzitite	0.052 - 20	STUIVER & PORTER [1985]

[LAWVER et.al.,1985] fixiert den Beginn der Öffnung des Indik mit dem Apt. Die Trennung von Ostanatartika und Indien kann über die Entwicklung des Kerguelen-Hotspot (KHS) und seiner Spuren verfolgt werden (Bild 4). Der basale Vulkanitkomplex des KHS entsteht im Alb (110 - 114 MA) [COFFIN 1992]. Im Bereich des MR stehen in räumlich-zeitlichem Zusammenhang mit dem KHS die mitfrühcertazische Prydz Bay Vulkanit- Intrusiv- Komplex (Tab.2). Die Entwicklung der nördlichen und der südlichen Spur des KHR kann unter Berücksichtigung jüngerer Vulkanitalter aus dem Indik und der ostantarktischen Küstenregion westlich und östlich des LR rekonstruiert werden (Tab.2). Die zeitliche Abfolge des hier skizzierten Vorgan-

ges entspricht Vorstellungen von SMITH (1993) über die Entwicklung kleinräumiger Konvektionszellen aus einem metasomatierten kontinentalen Mantel und die damit verbundene Förderung von Hotspot-Magmen.

Bild 4: Die Spuren des Kerguelen-Hotspot. Altersangaben s. Tab. 2. Schraffur - vulkanisch Rücken und Plateaus; in Rahmen - K-Ar Alter von Basalten und Alkali-Gesteinen. BL - Barakar-Lamproite; BR - Broken Ridge; GB - Gaussberg; JO - Jetty-Oase; KE - Ise de Kerguelen; KEP -Kerguelen-Plateau; MM - Manning Massiv; NER - Ninety East Ridge; NP - Naturaliste Plateau; PBV - Prydz Bay Vulkanit/Intrusivkomplex; RT - Rajmahal Trapps.



#### Zielsetzung weiterführender Untersuchungen im Mahanadi-Rift

Der allgemeine Kenntnisstand über LR und MR sowie der sich aus der strukturellen Analyse des Systems der W-Randstörungen und den Altern der damit verbundenen Ganggesteine im LR lassen eine Ausdehnung der tektonischen und geochronologischen Untersuchungen in den Bereich des MR sinnvoll erscheinen. Dabei stehen folgende Ziele im Vordergrund:

- Kartierung und räumlich-zeitliche Analyse der Randstörungsmuster des MR und der Basement-Struktur in ausgewählten (riffnahen) Bereichen auf der Grundlage einer Rechner-gestützten Bearbeitung von LANDSAT-Aufnahmen. In Verbindung damit sollen Feldarbeiten zur Feinkartierung, zur kinematischen Analyse und zur Definiton eines Structural Control von Elementen der Riftstruktur durch Elemente der Basement-Tektonik in kleineren Bereichen der kartierten Störungsmuster, vor allem am Westrand des Riftes, durchgeführt werden.

- Die Frage der bisher in Ostanatarktika nur vermuteten präexistenten Vorzeichnung des LR durch eine Sutur im kristallinen Basement [GRIKUROV 1980] sollte durch vergleichende Betrachtungen des Strukturbildes zwischen Bhandaraund Shingbum-Kraton westlich und östlich des MR (ROGERS, 1986) weiter verfolgt werden.

- Untersuchung der an die Rift-Randstörungen gebundenen Magmatite und, falls möglich, auch der Hydrothermalite mit dem Ziel einer petrogra-

phisch/petrologischen Charakteristik und der Definition der Lagebeziehungen zwischen Gängen und Elementen der Rifttektonik.

- K-Ar- und Rb-Sr-Geochronologie der an die Riftrandstörungen gebundenen Ganggesteine mit dem Ziel, die vom LR bekannte, paläozoisch-mesozoische Entwicklung des MR im prä-break up - Stadium detaillierter zu erfassen und den Kenntnisstand über die zeitliche Stellung der am MR bisher nur vereinzelt bekannten Alkali-Ultrabasite zu erweitern.

- Synoptische Betrachtung der Entwicklungen des MR und des LR mit dem Ziel einer Gesamtsynthese der Entwicklung des Ostanatarktisch-Indischen Riftes.

#### Literatur

- BALME, P.E. & PLAYFORD, G. [1972]: Later Permian Plant Microfossils from the Prince Charles Mts., Antarctica. - *Rev. Micropaleont.*, 10, 3, 17g - 192.
- BARKER, P.F. & GRIFFITH, D.H. [1977]: Towards a more certain reconstruction of Gondwanaland. - *R. Soc. Lond., Philos. Transact., Ser. B* 279, 143 - 159.
- BARRET, P.J., GRINDLEY, G.W. & WEBB, P.N. [1975]: The Beacon Supergroup in Antarctica. - *Adie, R.J.: Antarct. Geol. Geophys.-Oslo: Universitetsvorl.*, 319 - 332.
- CHAUDHURI, A.K. & SARKAR, S. [1987]: Proterozoic coastal Sabhka Halite Pans: an Example from the Pranhita-Godavari Valley, S.India. - *J. Prec.Res.*, 37, 305 - 321.
- COFFIN, M.F. [1992]: Emplacement and Subsidence of Indian Ocean Plateaus and submarine Ridges. - *Austin: Inst.Geophys, Univ.Texas at Austin*, 29 p..
- COOPER, A., STAGG, H. & GEIST, E. [1991]: Seismic Stratigraphy and Structure of Prydz Bay, Antarctica: Implications from Leg119 Drilling. - *Proc.OD, Scientif. Res. Vol. 119*, 5-21.
- FEDOROV, L.V. HOFMANN, J. & RAVICH, M.G. [1977]: Ein Vergleich des geologischen Baues Südindiens einschl. Sri Lankas und Ostantarktikas. - *Z. geol. Wiss., Berlin*, 5, 11/12, 1319 - 1336.
- FEDOROV, L.V., HOFMANN, J. & RAVICH, M.G. [1982]: Geologic Comparison of Southeastern Peninsula India and Sri Lanka with a part of East Antarctica etc.. - *Craddock, C.: Antarctic Geol. Geophys. - Madison: Univ.Wisc. Press*, 73 - 78.
- GIROD, M. & NOUGIER, J [1972]: Volcanism of the Subantarctic Islands. - *Adie, R.J.: Antarct. Geol. Geophys.. - Oslo: Universitetsvorl.*, 777 - 788.
- LAIBA, A.A., ANDRONIKOV, A.V., EGOROV, L.S. & FEDOROV, L.V. [1987]: Stöcke und Gänge von Alkali-Ultrabasiten derr Jetty-Oase, Prince Charles Mts., Ostantarktika (russ.). - *Ivanov, V.L. et.al. [1987]: Geol. u. geophysikal. Unters. in Antarktika. - Leningrad: Sevmorgeologija*, 36 - 47.
- HAMBREY, M.J. [1991]: Structure and Dynamics of the Lambert Glacier-Amery Ice Shelf System: Implications for the Origin of Prydz Bay. - *Proc. ODP, Scientific Results, Vol. 119*, 61 - 75.
- HOFMANN, J. [1992]: Die Entwicklung des Lambert Riftes, Ostantarktika. - *Freiberg: Vortrag Institut f. Geologie*, 20. Aug. 1992, 4 S.
- HOFMANN, J. [1991]: Bruchtektonik und Magmatismus im Gebiet der Jetty-Oase, McRobertson Land (Ostantarktika). - *Freib. Forsch. H., Leipzig*, C 438, 38 S..
- HOFMANN, J. [1989]: Fault tectonics and magmatic ages in the Jetty Oasis Area, MacRobertson Land: a contribution to the Lambert rift development.
- THOMPSON, M. R. A. et.al.: Geological Evolution of Antartctica. - *Cambridge: Camb.Univ.Press*, 107 -112.

- KRISHNAN, M.S. [1968]: Geology of India and Burma.- Madras: Higginbothams Ltd., 534 p.
- LAWVER, L.A., SCLATER, J.G. & MEINKE, L. [1985]: Mesozoic and Cenozoic Reconstruction of the South Atlantic. - *Tectonophys.*, 114, 233 - 254.
- McDOUGALL, I. & McELHINNY, M.W. [1970]: The Rajmahal traps of India - K/Ar-ages and Palaeomagnetism. - *Earth. Planet. Sc., Lett.*, 9, 371 - 378.
- MARSH, P.D. [1989]: Main fracture trends near the western margin of Antarctica. Thompson, M.R.A. et.al.: Geological evolution of Antarctica. - Cambridge: Cambridge Univ. Press, 113 - 116.
- MASOLOV, V.M., KURININ, R.G. & GRIKUROV, G.E. [1980]: Crustal Structures and Tectonic Significance of Antarctic Rift Zones. - Creswell, M.M. & Vella, P.: Gondwana Five. - Rotterdam: Balkema Verl., 303 - 309.
- MITCHELL, R.H. & BERGMANN, S.C. [1991]: Petrology of Lamproites. - New York: Plenum Press, 447 p.
- MOND, A. [1972]: Permian Sediments of the Beaver Lake Area, Prince Charles Mts. - Adie, R.J.: *Antarct. Geol. Geophys.* - Oslo: Universitetsvortl., 585 - 589.
- PLUMSTEAD, E.P. [1964]: Paleobotany of Antarctica. - ADIE, R.J.: *Antarct. Geol.*, Amsterdam: North Holland Publ. Comp. 637 - 654.
- QUILTY, P.G. & TINGEY, R.J. [1984]: Mineral resources of Australian Antarctic Territory. - ANARE Res. Notes, Canberra, No. 27, 51 p.
- RAVICH, G.M. [1974]: Das Profil permischer kohleführender Sedimente am Beaver Lake, Ostantarktika (russ.) - *Antarktika, Dokl. Komm.*, Moskau, 13, 19 - 36.
- RAVICH, M.G., SOLOVIEV, D.S. & FEDOROV, L.V. [1978]: Der geologische Bau des Mc-Robertson-Landes, Antarktika (russ.). - Leningrad: Gidrometeoizdat, 230 S.
- ROGERS, J.W. [1986]: The Dharwar Craton and the Assembly of Peninsular India. *J. Geol.* 94, 1 29 - 1 43.
- STAGG, H.M.J. [1985]: The structure and origin of Prydz Bay and McRobertson Shelf, East Antarctica. - *Tectonophys.*, 114, 315 - 340.
- STRAUB, S.M., DEHN, J. & SCHMINKE, H.U. [1993]: Globale Synthese "Submarine Tephra", Indischer Ozean. - DFG-Schwerpunkt Koll. "Ocean Drilling Program/Deep Sea Drilling Project", 10. - 12. März 1993, Freiberg/Sa, 57 - 71.
- SMITH, A.D. [1993]: The continental mantle as a source for hotspot volcanism. *Terra Nova* 5, 462 - 460.
- TEWARI, R.C. & VEEVERS, J.J. [1991]: Gondwana basins of India occupy the middle of a 7500 km sector of radial valleys and lobes in central-eastern Gondwanaland. - In: Findley et.al.: *Gondwana Eight*. - Rotterdam: Balkema Publ., 507 51 2.
- VERMA, R.K. [1991]: Geodynamics of the Indian Peninsula and the Indian Plate Margin. - Rotterdam: Balkema-Verl., 375 p.
- WADIA, D.N. [1966]: Geology of India. - London: McMillan & Co, 536 P.
- WALKER, K.R. & MOND, A. [1972]: Mica lamprophyres (alnoeite) from Radok Lake, Prince Charles Mts. - *Bur. Min. Res.*, Canberra, *Geol. & Geophys. Rec.*, 6 p.
- YOSHIDA, M., FUNAKI, M. & PIYADASA, W.V. 1992: Proterozoic to Mesozoic East Gondwana: The Juxtaposition of Indian, Sri Lanka, Antarctica.- *Tectonics*, 11, 2, 381-391 .

A) ANTARKTIS - Herzstück des südlichen Superkontinents,  
seine Bildungs- und Zerfallsphasen

3) Zerfallsprozesse des südlichen Superkontinents (Gondwana)  
und rezente Krustenstruktur

b) Ross-Meer-Bereich

mit Beiträgen von

Tessensohn, F.  
Molzahn, M. & Wörner, G.  
Olesch, M.  
Lisker, F. & Olesch, M.  
Damaske, D.  
Markis, I. & Trey, H.  
Reitmayr, G. & Damm, V.  
Delisle, G.

## **RIFT-PROZESSE IM ROSS-MEER-GEBIET DER ANTARKTIS UND IHRE URSACHEN:**

**Ein Beitrag zur Lithosphärenforschung in interdisziplinärer und internationaler Zusammenarbeit.**

Franz Tessensohn

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.

**Das Transantarktische Gebirge**, das den Kontinent mit Gipfelhöhen von bis zu 4000 m auf einer Länge von wenigstens 3000 km quert, ist das Ergebnis geologisch junger tektonischer Bewegungen. Dies wurde schon von den ersten Beobachtern auf den britischen Antarktis-Expeditionen um die Jahrhundertwende festgestellt, die das Gebirge als eine große Horst-Struktur interpretierten. Für mehr als 50 Jahre blieb dieses Bild unverändert, wurde nur dadurch ergänzt, daß die verantwortlichen Hebungsvorgänge von neuseeländischer Seite den Namen "Victoria Orogeny" erhielten. Über diesen Begriff sind wir heute nicht mehr besonders glücklich, da der *geologische* Begriff Gebirgsbildung (= Orogenese, Orogeny) neben der morphologischen Heraushebung in Form von Bergen vor allem die Internverformung der Gesteine durch tektonische Vorgänge umfaßt. Deshalb wird "Orogen" im geologischen Sinne auch gern mit "Faltengebirge oder Foldbelt" übersetzt.

Zu einer Neu-Interpretation des Transantarktischen Gebirges führten vor allem neue Ergebnisse aus zwei sehr unterschiedlichen Forschungsdisziplinen: Zum einen machte die vulkanologisch, petrographisch und geochemische Bearbeitung der Vulkanite, die das Transantarktische Gebirge zumindest in seinem nördlichen Teil begleiten (WORNER & VIREECK, 1990; MULLER et al., 1991), den ausgeprägten Alkali-Charakter der Ross-Meer Provinz deutlich und führte zum Vergleich mit anderen ähnlichen Provinzen der Erde.

Zum zweiten wurden ab 1978 von mehreren Nationen seismische Meßfahrten im Ross-Meer durchgeführt, das dem Transantarktischen Gebirge unmittelbar vorgelagert ist. Die Ergebnisse dieser Fahrten änderten das bisherige Bild grundlegend. Die Ross-Meer Senke ist danach gekennzeichnet durch sehr tiefe Sedimentbecken, von 6 bis maximal 11 km Sedimentfüllung (COOPER et al., 1987), Vulkanismus auch im Beckenbereich, Krustenausdünnung, hohen Wärmefluß und eine ausgesprochene Asymmetrie (mit dem tiefsten Becken unmittelbar vor dem TAM). Aufgrund dieser Daten von HINZ & BLOCK, 1984; COOPER & DAVEY, 1987; BEHRENDT et al., 1987 wurde eine erste geologisch genetische Interpretation der Becken von FITZGERALD et al., 1987, vorgestellt. TESSENSOHN & WORNER, 1991, interpretierten schließlich das ganze System als kontinentales Rift und die TAM als nach außen gekippte Riftschulter. Sie verglichen das Ross-Meer System mit anderen großen Riftsystemen der Erde. BEHRENDT et al., 1991 diskutierten die mögliche Fortsetzung des Rifts nach Süden unter das Eis der Westantarktis. Was bedeutet nun die Klassifizierung als Rift?

**Kontinentale Rifts** sind mehrere 100 km lange bedeutende Grabensysteme die gekennzeichnet sind durch Krustenausdünnung, Alkali-Vulkanismus und erhöhten Wärmefluß. Sie sind geotektonisch vor allem deshalb von Bedeutung, weil sie das Initialstadium bei der Entstehung neuer Ozeane darstellen. Die Spaltung einer kontinentalen Platte beginnt in der Regel mit einem Rift-Stadium, das durch die Existenz von einem ausgeprägten Graben (z.B. Oberrhein-Graben) oder Graben-System (z.B. Ostafrikanisches Rift-System) gekennzeichnet ist. Dieser Graben ist zusätzlich charakterisiert durch eine Ausdünnung der Kruste (auf 17-25 km) und



begleitenden Alkali-Vulkanismus. Das Rift-Stadium kann als embryonales Stadium bei der Entstehung eines neuen Ozeans betrachtet werden.

Die weiteren Schritte der Ozeanbildung führen dann zu vollständiger Spaltung der Kruste und Aufstieg von Mantelmaterial in der axialen Zone (Beispiel Rotes Meer) sowie symmetrisches Wachstum der ozeanischen Kruste durch kontinuierlichen Aufstieg von weiterem Mantelmaterial (Ocean Spreading, Beispiel Atlantik). Vielfach wird jedoch nicht dieser ganze Zyklus durchgemessen, sondern die Entwicklung geht aus unterschiedlichen Gründen nicht über das Rift-Stadium hinaus. Zahlreiche Beispiele von diesen sogenannten Failed Rifts sind auf der Erde bekannt.

Die Unterschiede im Detail der Entwicklung liefern Anhaltspunkte über die Rift-Genese. Folgende Besonderheiten des Ross Meer Rift Systems sind besonders bemerkenswert: die ausgesprochene Asymmetrie, die in dieser krassen Form mit nur einer ausgeprägten Riftschulter bei keinem anderen Rift bekannt ist; die fehlende seismische Aktivität, die nur zum geringsten Teil durch Lücken in der Beobachtung erklärt werden kann; die Extreme der höchsten Riftschulter und des tiefsten Riftbeckens, direkt nebeneinander; die große Gesamtbreite von ca. 1000 km in der Ross-Meer Depression.

#### **LIRA**

Das Ross-Meer ist für die Untersuchung der Struktur und der Entwicklung der antarktischen Lithosphäre besonders gut geeignet. Die Ausdünnung und das Aufreißen der Erdkruste, Prozesse, die der Bildung von neuer Ozeankruste vorausgehen, können hier besonders gut untersucht werden. An der Rift-Problematik arbeiten im Ross-Meer, auf dem Ross-Eisschelf, im angrenzenden Transantarktischen Gebirge und im Marie Byrd Land zahlreiche amerikanische, italienische, neuseeländische und deutsche Wissenschaftler. Um die geowissenschaftlichen Arbeiten der Lithosphären-Forschung besser zu koordinieren, wurde von deutscher und italienischer Seite aus das Projekt LIRA (Lithospheric Investigations in the Ross Sea Area) initiiert (TESSENSOHN, 1991). Es handelt sich um den Versuch, die hier tätigen Wissenschaftler auf Workshops und Symposien zusammenzuführen, um Daten und Interpretationen der laufenden Forschungsarbeiten auszutauschen. Daneben sollen laufende und geplante Arbeiten bekannt gemacht werden, um darauf aufbauend vielleicht gemeinsame Projekte zu konzipieren und auch die vorhandene Logistik wo immer möglich, gemeinsam zu nutzen. Ein wichtiges Ziel ist es auch, gemeinsam Projekte in Angriff zu nehmen, die für ein einzelnes Land zu groß und deshalb sowohl finanziell wie logistisch nicht durchführbar sind.

Ein gutes Beispiel hierfür ist das Projekt ACRUP (Antarctic Crustal Profile), das in der Saison 1993/94 mit italienischer Logistik und deutscher, neuseeländischer und amerikanischer Beteiligung an der Küste des Ross-Meeres südlich der Terra Nova Bucht durchgeführt wurde. Dabei wurden onshore und offshore Untersuchungen gekoppelt. Ein ähnliches Projekt wurde schon 1988/89 mit deutscher Logistik unternommen (MAKRIS et al., 1993; TREHU et al., 1993).

Dies Projekt führt uns zurück zu den wissenschaftlichen Fragestellungen und Arbeitszielen in diesem Raum. Im Anschluß an die ersten Rift-Interpretationen wurden gleich mehrere Modelle zur Erklärung der tektonischen Vorgänge an der Grenze Ross-Meer Depression / TAM vorgestellt (FITZGERALD et al., 1987; TESSENSOHN & WORNER, 1991; STERN & TENBRINK, 1989). Alle Modelle knüpfen an gängige Vorstellungen zur Rift-Genese an, müssen jedoch zur Zeit noch als spekulativ bezeichnet werden, da wichtige Daten über die Krustenstruktur, z.B. unter dem TAM, noch fehlen. Es wurde schnell klar, daß für eine fundiertere Interpretation vor allem geophysikalische Daten benötigt wurden. Die Aeromagnetik (BOSUM et al., 1989)

steuert Informationen über die eis- (und wasserbedeckten) Gebiete bei, die Gravimetrie (REITMAYR, in Vorbereitung.) zeigt die Massenverteilung im Vergleich zu den bekannten Becken und Gebirgen und liefert erste Hinweise auf die Krustenstruktur. Die besten Daten liefert die Seismik, doch bestehen technische Schwierigkeiten zur Daten-Akquisition in den eisbedeckten Gebirgsregionen (wo die Daten besonders wichtig sind). Diese Untersuchungen sind aufwendig, sollten durch die anderen Methoden vorbereitet und flankiert werden, und sind ohne Zusammenarbeit verschiedener Gruppen und nationaler Programme kaum zu bewältigen.

Ein wichtiger Faktor bei der Interpretation der tektonischen Riftvorgänge ist die zeitliche Abfolge. Hier bestehen noch große Lücken und es kann bestenfalls von einer relativen Zeitskala der Rift-Evolution gesprochen werden. Naturgemäß ist die Datenbasis in den Becken des Ross-Meerer besser als an Land, doch fehlt, abgesehen von den letzten 30 Ma (oder dem obersten Drittel der vorhandenen Sedimentpakete) jegliche zeitliche (stratigraphische) Eichung, d.h. die Geschichte der unteren zwei Drittel der Beckenbildung ist spekulativ. Hier soll die geplante internationale Forschungsbohrung Cape Roberts im südlichen Ross-See die Situation verbessern.

Ähnlich, wenn auch auf einer weniger dichten Datenbasis beruhend, ist die Situation an Land. Die letzten 40 Ma der Riftbildung sind durch Alkalimagmatismus belegt. Fissionstrackdaten ergeben einen ähnlichen Zeitpunkt für den Beginn der Hebung des TAM (in einzelnen Blöcken). Ältere Ereignisse sind bekannt (ROLAND & TESSENSOHN, 1987), aber nicht präzise zeitlich einzuordnen.

Bezüge zur Geschichte des angrenzenden Südlichen Ozeans, der seit 100 Ma zwischen Australien und der Antarktis existiert, bestehen gleichfalls.

Der fehlende Vulkanismus in den östlichen Becken, die flache Küste in Marie Byrd Land, die große Breite des Gesamtbeckens und das späte Ausreten des Alkalivulkanismus führen heute schon wieder zu einer engeren Rift-Definition: Nur seit ca. 50 Ma und nur im Victorialand Becken an der Ross-See Küste. Das bedeutet, daß man für die Entstehung der tieferen Teile der Becken andere Erklärungen finden muß.

Die Übersicht hat zu zeigen versucht, daß die Arbeiten am Ross-See Rift nicht nur regional für die Antarktis, sondern global und prinzipiell für die Entwicklung kontinentaler Riftsysteme und die Antriebsmechanismen der Plattentektonik von Bedeutung sind. Die große Chance, die die Antarktisforschung hier bietet, ist die Möglichkeit der interdisziplinären und internationalen Zusammenarbeit.

#### Literatur

- BEHRENDT, J.C., COOPER, A.K. & YUAN, A. (1987): Interpretation of marine magnetic gradiometer and multichannel seismic-reflection observations over the western Ross Sea Shelf, Antarctica. - In: Cooper, A.K. & Davey, F.J. (eds): The Antarctic Continental Margin: Geology and Geophysics of the Western Ross Sea, Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Science Series, v. 5B: Houston, Texas, 1 55-177.
- BEHRENDT, J.C., LeMASURIER, W.E., COOPER, A.K., TESSENSOHN, F., TREHU, A. & DAMASKE, D. (1991): Geophysical studies of the West Antarctic Rift System.- *Tectonics*, 10.6, 1257-1273.

- BOSUM, W., DAMASKE, D., ROLAND, N.W., BEHRENDT, J. & SALTUS, R. (1989): The GANOVEX IV Victoria Land / Ross Sea aeromagnetic survey: interpretation of anomalies. - *Geol. Jb. E* 38: 153 - 230, Hannover.
- COOPER, A.K. & DAVEY, F.J. (eds.) (1987): The Antarctic Continental Margin: Geology and Geophysics of the Western Ross Sea, Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Science Series, Vol. 5 B: Houston, Texas.
- COOPER, A.K., DAVEY, F.J. & BEHRENDT, J.C. (1987): Seismic stratigraphy and structure of the Victoria Land Basin, western Ross Sea, Antarctica. In: COOPER, A.K. & DAVEY, F.J. (eds.): The Antarctic Continental Margin: Geology and Geophysics of the Western Ross Sea, Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Science Series, Vol. 5 B: 27 - 65, Houston, Texas.
- FITZGERALD, P.G., SANDIFORD, M., BARRETT, P.J. & GLEADOW, A.J.W. (1987): Asymmetric extension associated with the uplift and subsidence of the Transantarctic Mountains and Ross Sea embayment.- *Earth Planet.Sci.Lett.*, 81, 67-78.
- H I N Z, K. & BLOCK, M. ( 1984 ) : Results of geophysical investigations in the Weddell Sea and Ross Sea.- *Proc. 1 1 th World Petroleum Congr.*, 279-291, New York (Wiley).
- MAKRIS, J., EGLOFF, F., ORBACH, S., FRITSCH, J., DAMASKE, D. & DURBAUM, H.-J. (1993): A seismic study of the Central Basin of the Ross Sea, Antarctica.*Geol. Jb.*, E 47, 277-290, Hannover.
- MÜLLER, P., SCHMIDT-THOME, M, KREUZER, H. & VETTER, U. (1991): Cenozoic peralkaline magmatism at the western margin of the Ross Sea, Antarctica.- *Mem. Soc. Geol. It.*, 46, 3 1 5-336.
- ROLAND, N.W. & TESSENSOHN, F. (1987): Rennick faulting - an early phase of Ross Sea Rifting.- *Geol. Jb.*, B 66, 203 - 229, Hannover.
- STERN, T.A. & TEN BRINK, U.S. (1989): Flexural uplift of the Transantarctic Mountains.- *J. Geophys. Res.*, 94, B 8, 10315-10330.
- TESSENSOHN, F. (1991): Lithosphere research in the Ross Sea area, Antarctica: achievements and targets.- *Mem. Soc. Geol. It.*, 46, 291-300.
- TESSENSOHN, F. & WÖRNER, G. (1991): The Ross Sea rift system, Antarctica: structure, evolution and analogues. - In: THOMSON, M.R.A., CRAME, J.A. and THOMSON, J.W. (eds.): *Geological Evolution of Antarctica*. Cambridge Univ. Press, 273-277.
- TREHU, A., BEHRENDT, J. & FRITSCH, J. (1993): Generalized crustal structure of the Central Basin, Ross Sea, Antarctica.- *Geol. Jb.*, E 47, 291-312, Hannover.
- WÖRNER, G. & VIERECK, L. (1990): Mt. Melbourne. - In: *Volcanoes of the Antarctic Plate and Southern Oceans*, W.E. LEMASURIER & J.W. THOMSON (eds.) Antarctic Research Series 48: 72 - 78.

## **Isotopenanalysen und Spurenelemente in Ferrar-Basalten: Wieviel Assimilation?**

MOLZAHN, M.<sup>1</sup> & WÖRNER, G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut für Geowissenschaften, Universität Mainz, Mainz

<sup>2</sup>Geochemisches Institut, Universität Göttingen, Göttingen

### **1. Einleitung und Problemstellung**

Unter den Flutbasaltprovinzen der Erde stellt die Ferrar-Provinz im Transantarktischen Gebirge der Antarktis mit einer heutigen Mächtigkeit von ca. 900 m und einer Fläche von ca. 7800 km<sup>2</sup> eher ein kleineres Vorkommen dar, geochemisch markieren diese Flutbasalte hingegen einen Extremfall. Diese Basalte zeichnen sich durch eine ausgesprochen homogene, deutlich krustale Komponente in der chemischen Zusammensetzung der Spurenelemente als auch durch eine deutlich krustale Isotopenzusammensetzung (Sr, Nd) aus.

Ziel dieses Projektes ist es, diese ungewöhnlichen geochemischen Charakteristika der Ferrar-Flutbasalte mit Hilfe neuer geochemischer und isotopengeochemischer Daten zu klären. Dabei stehen folgende Fragen im Vordergrund: (1) Ist die geochemische Anreicherung der Flutbasalte auf eine Magmenbildung in einer angereicherten Mantellithosphäre zurückzuführen (Kyle 1980; Hergt et al., 1991), oder haben sich die Schmelzen in einem verarmten Mantel gebildet und wurden in einem Krustenstockwerk mit Krustenmaterial kontaminiert (Faure et al., 1972, 1974; Hoefs et al., 1980; Mensing et al., 1984)? Führt also die Bildung dieser Flutbasaltprovinz zu einer Neubildung juveniler kontinentaler Kruste oder wird Krustenmaterial lediglich "umgelagert" (Recycling). Zur Lösung dieser Problemstellung wurden Haupt- und Spurenelementkonzentrationen von Gesamtgesteinsproben analysiert sowie Isotopenzusammensetzungen von Sr, Nd, O, Pb und - neu für kontinentale Flutbasalte - Os an Gesamtgesteinsproben und Mineralseparaten an Ferrar Gesteinen der Prince Albert Mountains bestimmt. (2) Zum zweiten wird die Bedeutung und das Alter eines jüngeren Alterationsereignisses untersucht. (3) Es wurden anhand einer quantitativen Korngrößenanalyse an Proben aus Sills und Strömen die Kristallisation dieser basaltischen Körper als Funktion der Keimbildungsrate und Abkühlung bestimmt (WILHELM, 1994). (4) Zusätzlich wurde das metamorphe Basement (Walker Rocks Nunataks) und Krusten Xenolithe in den alkalinen plio-pleistozanen Basalten des Ross-Rifts analysiert.

### **2. Ergebnisse**

#### **2.1. Basement an den Walker Rocks Nunataks**

Walker Rocks Nunatak liegt innerhalb des Wilson Mikrokontinentes, der vor ca. 570 Ma mit dem ostantarktischen Kraton kollidierte. Nach Osten schließen sich weitere Mikrokontinente an. Dies sind der Bowers-Mikrokontinent und der Robertson-Bay-Mikrokontinent.

Die Einheiten des Walker Rocks Nunatak bestehen aus kambrischen (?) Schiefem (Priestley Schists), einer subvulkanischen Einheit (Johnnie-Walker-Formation), und Intrusivgesteinen der Granite-Harbour-Serie. Die subvulkanische Andesit-Rhyolith-Folge wie auch die späteren Granitoide sind geochemisch durch eine Subduktionszonen-Charakteristik ausgezeichnet. Diese Gesteine sind somit einer späten Phase der Ross-Orogenese zuzuordnen.

Aus den Geländebeobachtungen auf Walker Rocks Nunatak, den geochemischen und isotopengeochemischen Daten sowie aus dem geotektonischen Rahmen wurde folgendes Entstehungsmodell für die einzelnen Gesteinseinheiten entwickelt:

(1) Nach der Kollision des Wilson-Mikrokontinentes mit dem ostantarktischen Kraton vor ca. 570 Ma bildete sich die Johnnie Walker Formation als Teil eines vulkanischen Inselbogens. Dieser Inselbogenvulkanismus konnte mit einer nach Westen gerichteten Subduktionszone zwischen dem Wilson-Mikrokontinent und dem Bowers-Mikrokontinent assoziiert sein.

(2) Im Anschluß an diese extrusive Phase wurde der Krustenbereich bis in eine maximale Tiefe von ca. 8 km versenkt. Diese maximale Tiefe ist durch eine in den Andesiten der Johnnie Walker Formation vorliegende grünschieferfazielle Metamorphose belegt.

(3) Post-Ross-orogene Granite intrudierten und überprägten zum Teil die vulkanische Johnnie-Walker-Formation. Eine Gesamtgestein/Mineral-Isochrone der Granite ergab ein Alter von 525±5 Ma (Molzahn et al., in prep.)

(4) In Verbindung mit der Bildung des Ross-See-Rifts und der Hebung der westlichen Rift-Schulter (Transantarktisches Gebirge) intrudierten basaltische und andesitische Gänge

## 2.2. Gabbroide Xenolithe

Die unradiogene Isotopenzusammensetzung der Unterkruste bezüglich der Sr-Isotopie konnte eindeutig bestätigt werden. Isotopenanalysen der Mineralseparate sowie einer Gesamtgesteinsprobe ergaben  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse von 0.702898 - 0.703547 und  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ - sowie  $^{187}\text{Os}/^{186}\text{Os}$ - Verhältnisse, die ebenfalls typisch für Mantelzusammensetzungen sind. Eine Sm-Nd Mineral-Isochrone an Gabbro-Xenolithen wurde versucht, um die mögliche Beziehung zu Ferrar oder älteren magmatischen Ereignissen (post-orogene Ross-Granitoide) zu testen. Leider waren die Minerale jedoch durch die magmatische Aufheizung im Wirtsbasalt homogenisiert und ergaben rezente Alter.

## 2.3 Petrogenese der Flutbasalte

Bei den Ferrar-Flutbasalten handelt es sich um andesitische Basalte und Andesite, vereinzelt auch um Dazite, also bereits differenzierte Gesteine. Konzentrationen und Verhältnisse von Spurenelementen und Seltenen Erd Elementen zeigen krustale Charakteristika (Anreicherung großkörniger inkompatibler Elemente, negative Nb Anomalie, Anreicherung der leichten REE).

Die Sr- und Pb-Isotopenverhältnisse der Gesamtgesteine wie auch der Mineralseparate sind deutlich radiogen. Die Nd-Isotopie weist niedrige  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  Verhältnisse auf. Damit deuten die o.g. Isotopenverhältnisse auf einen deutlichen Einfluß krustalen Materials auf die Petrogenese der Magmen hin. Wesentlich ist die Beobachtung, daß saubere, gelaugte Mineralseparate von Pyroxenen ein engeres Spektrum an isotopische Variation zeigen als Gesamtgesteine und Plagioklase. Damit ist belegt, daß frühere Gesamtgesteins-Analysen durch spätere Alterationseffekte stark gestört und somit unzuverlässig sind.

Die Osmium-Isotopenverhältnisse wiederum lassen keine Krustenkontamination im eigentlichen Sinne zu. (Magmenkontamination in der Kruste). Das  $^{187}\text{Os}/^{186}\text{Os}$ -

Verhältnis der Basalte erlaubt eine Kontamination der Magmen mit maximal 2% Krustenmaterial. Als mögliche Quelle der unbestreitbaren krustalen Komponente in der Zusammensetzung der Ferrar-Flutbasalte bleibt daher ausschließlich die Anreicherung der Magmenquelle durch Subduktion und anschließender Assimilation ozeanischer (?) Kruste (Quellenkontamination). Modellrechnungen haben einen Anteil von 4-8% subduzierten Krustenmaterials an der Genese der Ferrar-Flutbasalte ergeben. Damit ist die alte Kontroverse über die Genese der angereicherten Spurenelement- und Isotopenzusammensetzungen zugunsten der Deutung durch Quellenkontamination endgültig entschieden!

Als besonderes "Nebenprodukt" der Os-Isotopen-Analysen ergibt sich eine ReOs Gesamtgesteins-Isochrone mit einem Alter von  $184 \pm 15$  Ma. Dieses Alter ist im Fehler identisch mit den neuesten Ar-Ar-Altern. Diese Isochrone ist die erste ReOs-Isochrone, die an irdischen Gesteinen analysiert wurde. Die wenigen Analysen an Basalten im ozeanischen Milieu zeigen viel niedriger Re/Os-Verhältnisse als die der Ferrar Flutbasalte. Zur Zeit sind die hohen Re/Os Verhältnisse dieser Gesteine noch völlig ungeklärt.

#### 2.4. Alteration der Flutbasalte

Die große Variation innerhalb der  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte, speziell derjenigen der Plagioklase läßt sich durch eine thermische Überprägung erklären. Dieses thermische Ereignis ist durch Ar - Ar Alter von Sekundärmineralen bestimmt worden (117 Ma) und wird als Folge des Trennungsprozesses von Australien und Antarktis interpretiert. Eine Rb-Sr-Datierung an Alterationsmineralen (Apophylliten) erbrachte keine befriedigenden Ergebnisse.

#### 2.5. Unterscheidung Sill - Flow durch Analyse der Kristallgrößenverteilung

Die jurassischen Ferrar-Gesteine in Viktoria-Land (Antarktis) kommen vornehmlich als basaltische/andesitische Flows und Sills vor. Für beide zeichnen sich charakteristische Merkmale sowohl in der Petrographie, als auch in der Geochemie ab, die auf in-situ Differentiationen zurückzuführen sind. Gleichzeitig sind die Korngrößen bei der Abkühlung als Sill oder Flow vermutlich in ihrem Verlauf unterschiedlich. Diese Merkmale wurden exemplarisch an einem mächtigen Flow und einem Sill untersucht. Ein dritter Körper, in der Literatur meist als Flow bezeichnet, zeigt weder in der Geochemie noch in der Petrographie Ähnlichkeiten zu einem Flow oder Sill.

Bestimmungen der Kernbildungsrate und der Kristallwachstumsraten ergeben jedoch wider erwarten nur bedingt Aufschluß über die Abkühlung. Die Werte für den Flow liegen bei ca.  $10^{-11}$  bis  $10^{-10}$  cm/s für die Wachstumsraten und  $10^{-4}$  bis  $10^{-3}$  Keime/cm<sup>3</sup> x s für die Keimbildungsraten und stimmen ungefähr mit den in der Literaturwerten für basaltische Lavaseen. Für den Sill liegen die entsprechenden Werte mit  $10^{-13}$  bis  $10^{-12}$  cm/s bzw.  $10^{-7}$  bis  $10^{-5}$  Keime/cm<sup>3</sup> x s ein bis zwei Größenordnungen niedriger und in Ausnahmefällen sind die Keimbildungsraten noch geringer. Schwankungen innerhalb der Profile sind jedoch nur beim Sill zu beobachten und weisen auf Änderungen in den Wachstumsraten hin. Es stellt sich jedoch heraus, daß die zur Berechnung für Wachstums- und Keimbildungsraten notwendigen Abkühlungszeiten die Größenordnung gravierend beeinflussen, gleichzeitig aber schon von der Annahme abhängen, ob die Abkühlung als Flow oder als Sill erfolgte.

### 3. Schlußfolgerungen

Die Ferrar-Flutbasaltprovinz stellt in ihrer geochemischen und isotopengeochemischen Zusammensetzung einen Extremfall innerhalb der weltweit bekannten Flutbasaltprovinzen dar. Durch sorgfältige Probenaufbereitung (Mineralseparation) sowie Anwendung moderner Analysemethoden (Re/Os-Isotopenanalytik) konnte ein wesentlicher Beitrag zur Genese der Flutbasalte geleistet werden. Als eindeutiges Ergebnis steht fest, daß eine angereicherte subkontinentale Mantellithosphäre als wesentliche Quelle bei der Genese der Ferrar-Magmen anzunehmen ist, so daß die Genese der Ferrar-Flutbasalte effektiv als Neubildung juveniler kontinentaler Kruste betrachtet werden kann.

#### Literatur

- Faure, G., Hill R.L., Jones, L.M. & Elliot, D.H. (1972): Isotope composition of strontium and silica content of Mesozoic basalt and dolerite from Antarctica; in: ADIE, R.J. (ed): Antarctic geology and geophysics, 617 - 624
- Faure, G., Bowmann, J.R., Elliot, D.H. & Jones, D.M. (1974): Strontium isotope composition and petrogenesis of the Kirkpatrick Basalt, Queen Alexandra Range, Antarctica, *Contrib.Min.Petrol.*; 48,153 -169
- Hergt, J.M., Chappel, B.W., McCulloch, M.T., McDougall, I. & Chivas, A.R. (1991): Geochemical and isotopic constraints on the origin of the Jurassic dolerites of Tasmania; *J.Petrol.*, 30, 841 - 883
- Hoefs J, Faure G. & Elliot D.H. (1980): Correlation of  $\sim 180$  and Initial  $87\text{Sr}/86\text{Sr}$  Ratios in Kirkpatrick Basalt at Mt. Falla, Transantarctic Mountains; *Contrib. Min. Petrol.*, 75, 199 - 203
- Kyle, P.R. (1980): Petrogenesis of Jurassic Ferrar Supergroup tholeiites from the Transantarctic mountains, Antarctica; *Magma*, 59, 21 - 26
- Mensing, T.M., Faure, G. Jones, L.M., Bowmann, J.R. & Hoefs, J. (1984): Petrogenesis of the Kirkpatrick Basalt, Solo Nunatak, Northern Victoria Land, Antarctica, based on isotopic compositions of strontium, oxygen and sulfur; *Contrib.Min.Petrol.*, 87, 101 - 108
- Molzahn, M., Wilhelm, S. & Worner, G. (in prep.): Evidence for arc related magmatism associated to the accretion of the Wilson Terrane and the subsequent Ross Orogeny at the Walker Rocks Nunataks, South Victoria Land, Antarctica
- Wilhelm, S. (1994): Geochemische und quantitativ-petrographische Untersuchungen (Kristallgrößenverteilung) an Ferrar-Sills und KirkpatrickFlows, Victoria Land, Antarktis; *Dipl.-Arb.*, Universität Mainz, unveröff.

## Was bedeuten die 100 Ma - Spaltspurenalter in der Antarktis ?

Martin Olesch  
FB Geowissenschaften, Universität Bremen

### Einleitung

Untersuchungen von Spaltspuren erlauben die Abkühlungs-, Heraushebungs (uplift)- und/oder Denudationsgeschichte von Gesteinen zu klären, die entsprechende mineralische Bestandteile aufweisen. Im Folgenden werden die Spaltspuren in Apatiten und die daraus ableitbaren Daten betrachtet. Da unsere Arbeitsgruppe schwerpunktmäßig im pazifischen Sektor der Antarktis (North Victoria Land, NVL und Marie Byrd Land, MBL) in Zusammenhang mit den GANOVEX-Expeditionen der BGR, Hannover arbeitet, werde ich mich auf diesen Teil der Antarktis konzentrieren. Die vorgestellten Ergebnisse, Schlußfolgerungen und sich neu ergebende Fragestellungen gelten jedoch prinzipiell auch für die anderen terrestrischen Regionen der Antarktis.

Bei den Apatit-Spaltspurenuntersuchungen handelt es sich um eine **thermogeochronologische** Methode. Das scheinbare Spaltspurenalter kann entsprechen:

1. (konventionelle Betrachtungsweise) dem Durchgang von apatitführenden Gesteinen durch die 100°C - Isotherme oder
2. (dynamische Betrachtungsweise) dem Durchgang der 100°C - Isotherme in der Erdkruste zu diesem Zeitpunkt.

Bei der konventionellen Betrachtungsweise befinden sich Gesteine mit einem bestimmten Apatit-Spaltspurenalter in Abhängigkeit vom thermischen Gradienten in einer bestimmten Krustentiefe, i.e. bei einem Gradienten von 20°C/km bis 40°C/km also in 5 bis 2,5 km Krustentiefe. Die Isothermen besitzen ein statisches, ausgeglichenes Verteilungsmuster in der Erdkruste (steady state der Isothermen). Die Heraushebungs/Denudations-Rate weist eine einfache Abhängigkeit vom Spaltspurenalter auf.

Bei der dynamischen Betrachtungsweise befinden sich die Isothermen in einem non-steady state, der z.B. durch variierende Wärmeflüsse verursacht sein kann. Unterschiedliche Spaltspurenalter sind nicht unbedingt mit unterschiedlichen Heraushebungen/Denudationen verknüpft oder anders ausgedrückt: gleiche Spaltspurenalter können mit sehr unterschiedlicher Heraushebung/Denudation verbunden sein.

### Bisherige Ergebnisse

Die bisher von uns erarbeiteten, von anderen Autoren publizierten oder uns bekannt gewordenen Spaltspurenalter aus NVL und MBL weisen ein ausgeprägtes Häufigkeitsmaximum um 100 Ma (Millionen Jahre) auf (Fig. 1). Diese Häufung kann nur durch ein thermisch betontes, geodynamisches Ereignis erklärt werden, das von überregionaler Bedeutung ist. Im terrestrischen Bereich sind global oder mindestens überregional keine thermischen Großereignisse (z.B. intensiver Magmatismus) um 100 Ma dokumentiert. Im marinen Bereich findet sich jedoch ein starkes Maximum der weltweiten ozeanischen Krustenproduktion (Larson 1991) verbunden mit einem sehr stabilen Erdmagnetfeld ohne Polaritätswechsel über nahezu 40 Ma.



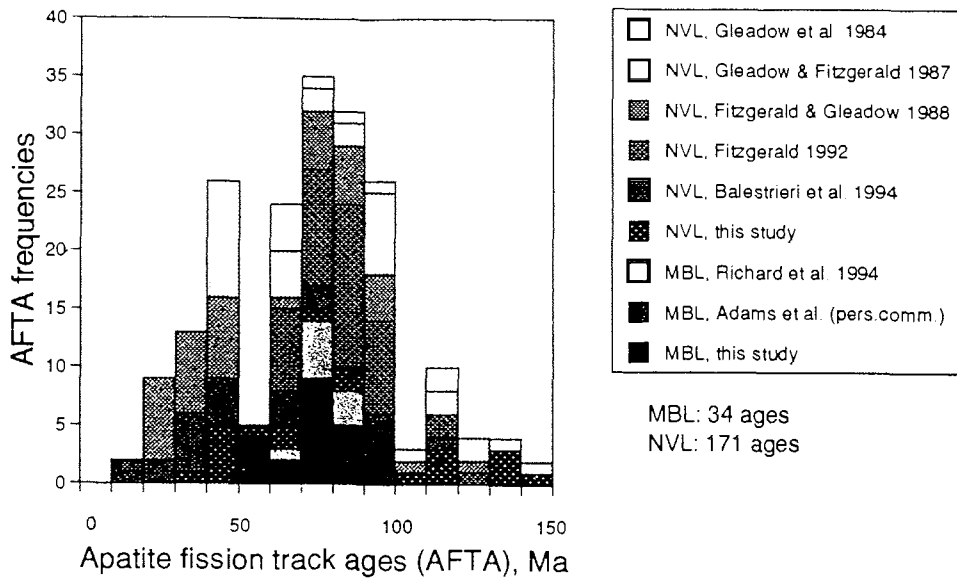


Fig. 1: Histogramm der Apatit-Spaltspurenalter von North Victoria Land (NVL) und Marie Byrd Land (MBL)

Wird nur die marine Krustenproduktion im pazifischen Raum ohne den Tethys-Bereich berücksichtigt, ist dieses Oberkreide-Ereignis um 100 Ma noch ausgeprägter. Larson führt das thermische Ereignis auf einen Superplume, eine heißere, aufwärtsgerichtete Konvektionsströmung im Erdmantel zurück. Das Zentrum dieser Mantelstruktur wurde bei 107°W, 10°S mitten im oberkreide-zeitlichen Pazifik rekonstruiert mit einer Ausdehnung von 6000x10000 km an der Grenze Litho/ Asthenosphäre. Welcher Zusammenhang besteht jedoch zwischen diesem Superplume und dem im pazifischen Sektor aus dem Häufigkeitsmaximum der Spaltspurenalter abgeleiteten thermischen Ereignis?

Irvine (1989) stellte ein globales Konvektionsgerüst (global convection framework) für den Erdmantel vor, das die rezent bekannten Plumes in einer  $\pm$ orthogonalen Anordnung verknüpft. Diese rotationssymmetrische Anordnung ist analog zum Magnetfeld der Erde und bezieht den rezenten Plume bei den Balleny Islands NNE von NVL mit ein. Kombiniert man die Ergebnisse von Larson mit dem Modell von Irvine, so liegt der von Larson postulierte Superplume der Oberkreide auf dem Rotationsäquator des von Irvine entwickelten Modells. Unter der geologisch allgemein akzeptierten Voraussetzung, daß die rezenten geodynamischen Mechanismen zumindest während des letzten Wilson-Zyklus unverändert geblieben sind, folgere ich daraus, daß um 100 Ma im pazifischen Sektor der Antarktis ein Superplume existierte (Fig. 2).

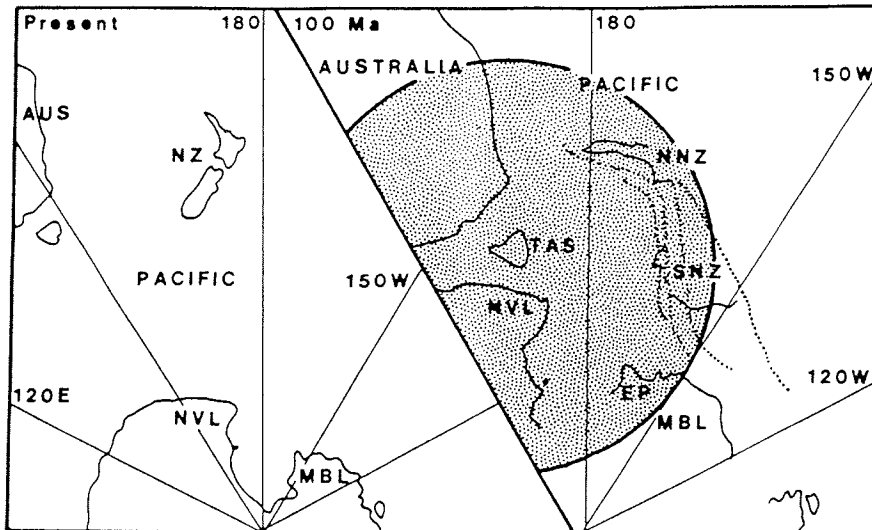


Fig. 2: Pazifischer Sektor der Antarktis, links mit gegenwärtiger, rechts mit oberkreide-zeitlicher Topographie. Der abgeleitete Superplume (angenommener Kopfdurchmesser 4000 km) ist gerastert dargestellt.

### Zusammenfassung

- 1) Durch ein thermisches Ereignis in der Oberkreide (100 - 80 Ma) erfolgte Zurückstellen der Apatit-Spaltspurenalter (Reset) auf Null im pazifischen Sektor der Antarktis (North Victoria Land und Marie Byrd Land).
- 2) Sehr wahrscheinliche Ursache des thermischen Ereignisses ist ein Superplume mit dem Zentrum NNE bis NE von NVL.
- 3) Als weitere Hinweise für einen Plume können herangezogen werden (die folgenden Belege wurden publizierten Daten von deutschen und ausländischen Kollegen entnommen, auf die Literaturnachweise wird an dieser Stelle aber verzichtet):
  - A-Typ-Magmatismus in MBL (einsetzend um 120, max. Aktivität um 105 Ma),
  - Kretazisch einsetzende Extensions-(Graben-)Tektonik in NVL,
  - Ausbildung des West Antarktis Rift System (Ross Sea Rift System) im Känozoikum (Subsummierung der Geophysikalischen Daten),
  - Alkali-Vulkanismus von Balleny Islands bis 87°S entlang des Transantarktischen Gebirges (mindestens seit 45 Ma).

### Ausblick und neues Konzept für weiterführende Untersuchungen

Aus dem Nachweis eines oberkreide-zeitlichen Superplume im pazifischen Antarktissektor muß sich für weiterführende und neu zu beginnende Untersuchungen ein **verändertes Konzept** ergeben. Der Superplume erfordert ein non-steady state Isothermen-Verteilungsmuster in der Lithosphäre, das für die reale thermische Struktur als Grundlage der Deutung der Hebungs/Denudations-Geschichte mit Hilfe von Apatit-Spaltspurenendaten von sehr großer Wichtigkeit ist. Welche stark unterschiedlichen Hebungs/Denudations-Raten bei variablem Isothermenverlauf aber konstantem Spaltspurenalter abgeschätzt werden können, illustriert Fig. 3 schematisch.

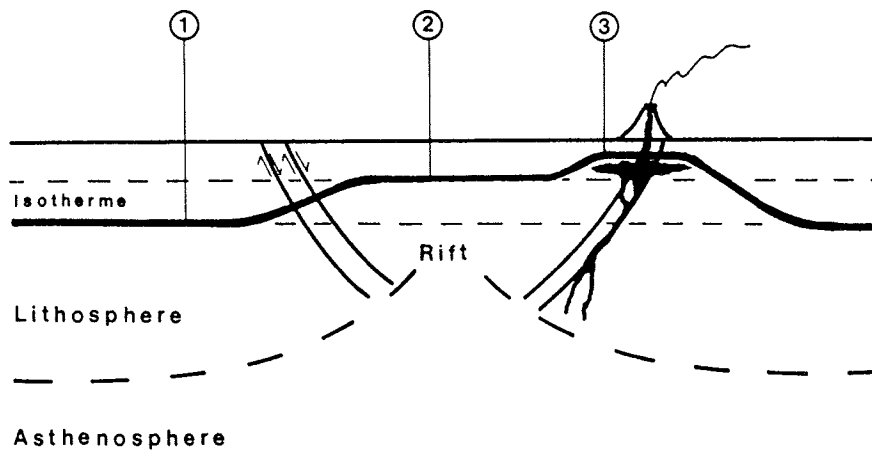


Fig. 3: Schematischer Verlauf von Isothermen in einem Riftbereich mit aktivem Magmatismus oberhalb eines Plume. Für die Lokationen (1) -(3) ergeben sich bei konstantem Spaltspurenalter unterschiedliche Heraushebungs/Denudations-Beträge

Für die 3 Proben-Konfigurationen 1-3 ergeben sich bei gleichem Spaltspurenalter jeweils um die Hälfte verringerte Hebungs/Denudations-Beträge. Zukünftige Untersuchungen werden nur bei Berücksichtigung struktureller und geophysikalischer Daten zu verlässlichen Spaltspuren-Analysen führen können. Unter dem Aspekt einer dynamischen Isothermen-Verteilung in der Erdkruste muß zumindest ein Teil der bisher publizierten Spaltspurendaten kritisch gewürdigt und gegebenenfalls re-interpretiert werden.

#### Literatur

- Balestrieri, M.L., Bigazzi, C., Ghezzi, C., Lombardo, B. (1994) *Terra Antarctica* 1, 82.  
Fitzgerald, P.G. (1992) *Tectonics* 11, 634-662.  
Fitzgerald, P.G., Gleadow, A.J.W. (1988) *Chemical Geology* 73, 169-198.  
Gleadow, A.J.W., Fitzgerald, P.G. (1987) *Earth and Planetary Science Lett.* 82, 1-14.  
Irvine, T.N. (1989) *Economic Geology* 84, 2059-2114.  
Larson, R.L. (1991) *Geology* 19, 547-550.  
Richard, S.M., Smith, C.H., Kimbrough, D.L., Fitzgerald, P.G., Luyendyk, B.P., McWilliams, M.O. (1994) *Tectonics* 13, 837-857.

## Apatit-Spaltspurendatierung in Marie Byrd Land

Frank Lisker und Martin Olesch  
FB Geowiss., Universität Bremen, Bremen

Spaltspuren (fission tracks) sind Veränderungen im Kristallgitter, die beim spontanen Zerfall von  $^{238}\text{U}$  in elektrisch nichtleitenden Kristallen und Gläsern entstehen. Sie können mittels Anätzen sichtbar gemacht und unter dem Mikroskop ausgezählt werden. Da die Dichte der Spaltspuren proportional zum Akkumulations-Zeitraum ist und sich die Spuren in Apatiten bei Temperaturen um  $100^\circ\text{C}$  verkürzen bzw. ausheilen, wird die Spaltspurenmethode als Gesteinsthermochronometer im Niedrigtemperaturbereich eingesetzt. So lassen sich anhand der Spurendichte Abkühlungsalter von Temperaturen um  $100^\circ\text{C}$  ermitteln. Darüberhinaus liefert die Spurenlängenverteilung wichtige Informationen über die thermische Geschichte von Gesteinen, so daß unter anderem Aussagen über Hebungs/Denudations-Alter und -Raten getroffen werden können.

Während die Hebungsgeschichte der östlichen Riftschulter des Ross-Riftsystems durch detaillierte Untersuchungen in Süd- und Nordviktorialand bearbeitet wurde (Gleadow & Fitzgerald 1987, Fitzgerald & Gleadow 1988, Stump & Fitzgerald 1992, Balestrieri et al. 1994), liegen diesbezügliche Daten von der westlichen Riftschulter bisher noch nicht vor. Hierzu wurden zunächst 12 Proben aus den Alexandra Mountains und Rockefeller Mountains (Edward VII Peninsula, Marie Byrd Land; Abb.1) untersucht. Beprobte wurden ausschließlich Byrd Coast Granite. Dies sind mittelkretazische Leukogranite und Monzogranite, deren K-Ar-Biotit-Alter zwischen 107 und 94 Ma beträgt (Wade & Wilbanks 1969; Adams 1987).

Unter Verwendung des Dosimeterglases SRM 612 und eines Zeta-Wertes von  $350,5 \pm 16,3$  wurden mittlere Apatit-Spaltspurenalter zwischen 68,9 und 92,8 Ma bestimmt, welche direkt zu den gemessenen Höhen (210 bis 870 m über NN) korrelieren (Abb.2). Ein regionales Muster der Alter ist nicht erkennbar, der Hebungsvorgang läßt sich jedoch in zwei Stufen untergliedern. Die oberhalb einer Höhe von 400 m entnommenen Proben weisen ein anderes Abkühlungsverhalten als die Proben unterhalb dieser Höhe auf. Das betrifft sowohl die Gesteine der Alexandra Mountains als auch die der Rockefeller Mountains.

1. Die Apatit-Spaltspurenalter der Proben über 400 m kommen dem K-Ar-Alter der Granite sehr nahe und liegen zwischen 81,2 und 92,8 Ma. Die Spaltspurenalter nehmen zu mit steigender Höhe. Die mittlere Spaltspurenlänge (confined tracks) beträgt 13,4  $\mu\text{m}$  mit Standardabweichungen zwischen 1,0 und 2,3  $\mu\text{m}$  (Abb.2). Die Steigung der empirischen Regressionsgeraden belegt eine scheinbare Hebungsrate von  $81 \pm 5$  m/Ma. Die Verteilung der Spurenlängen spricht für eine längere Verweildauer des Materials in der PAZ (partial annealing zone), dem Temperaturbereich zwischen 120 und  $60^\circ\text{C}$ , wo es zu einer Ausheilung der Spaltspuren und damit verbundenen Verkürzung der Spurenlängen kommen kann. Offensichtlich befanden sich die Proben längere Zeit im unteren Bereich einer PAZ, möglicherweise im Basisbereich, bis es im Zuge der spätkretazischen Hebung zur weiteren Abkühlung kam.

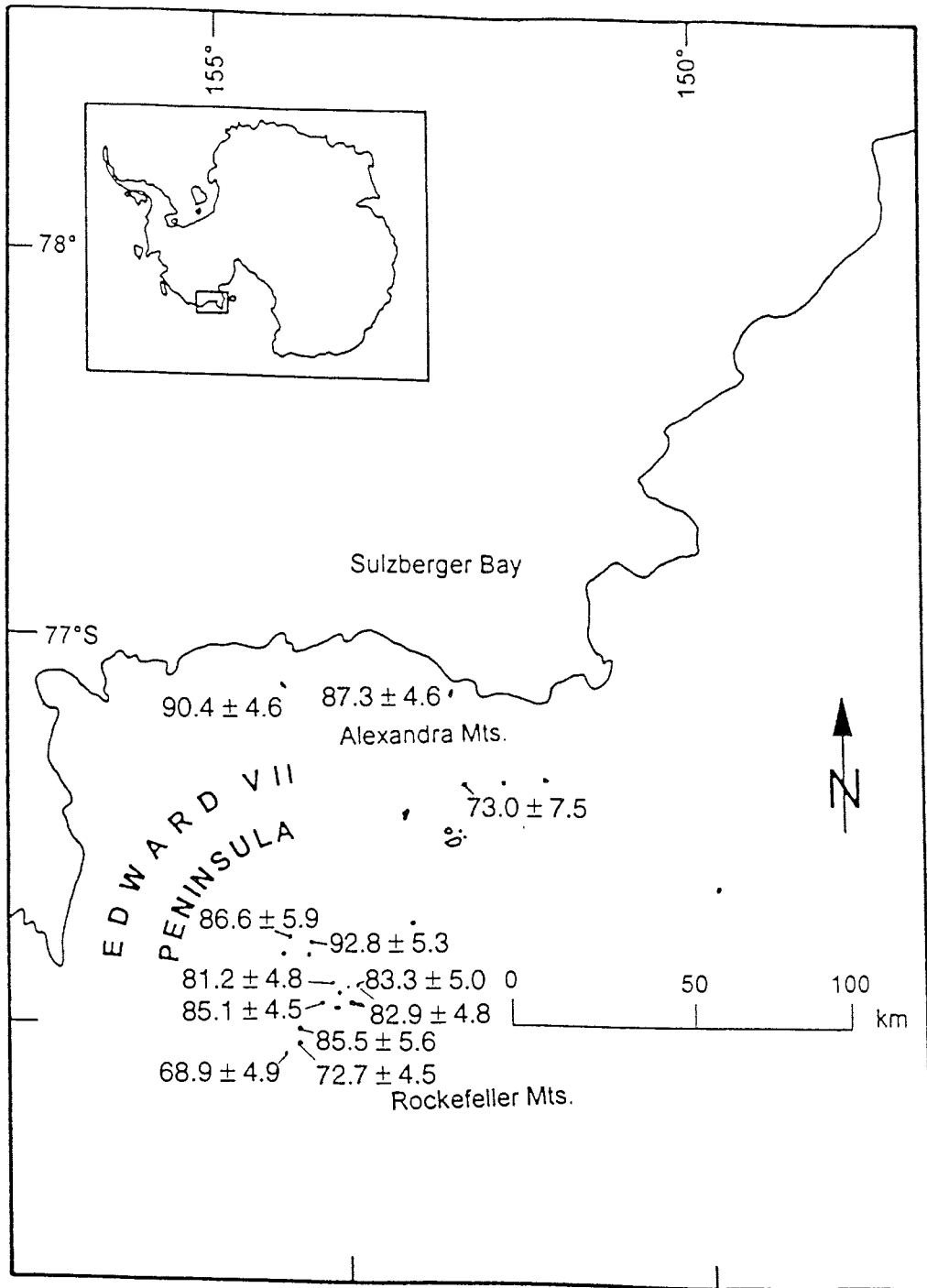


Abb.1: Lage der Rockefeller Mts. und Alexandra Mts. in Marie Byrd Land und Apatit-Spaltspurenalter der beprobten Byrd Coast Granites

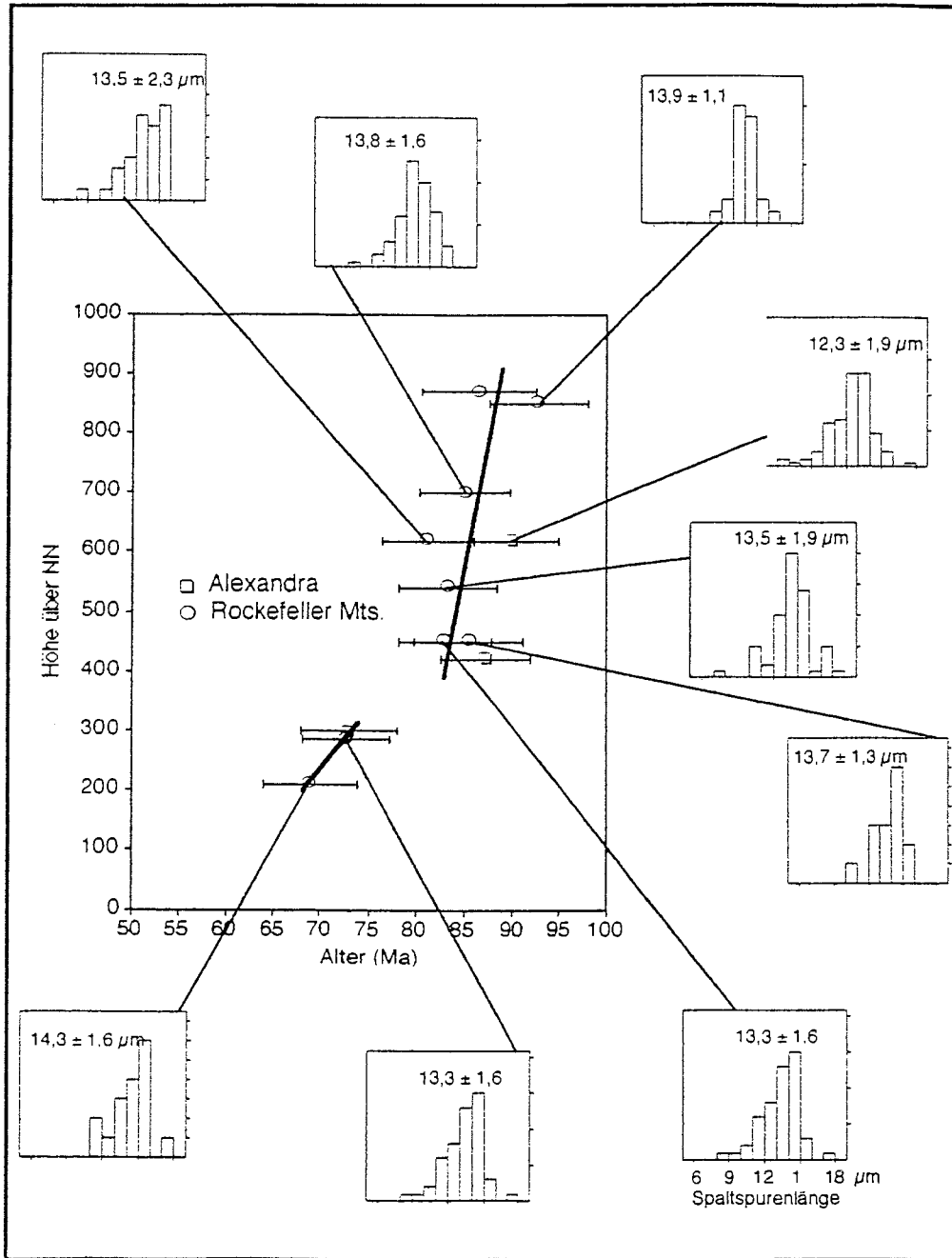


Abb.2: Apatit-Spaltspurenalter von Byrd Coast Granites der Alexandra Mts. und Rockefeller Mts., Marie Byrd Land, aufgetragen gegen die Höhe der entnommenen Proben; sowie Angaben der mittleren Spaltspuren-Längenverteilungen

2. Ein etwas anderes Bild liefern die drei Proben unterhalb 320 m. Die Spaltspurendichte belegt jüngere Alter zwischen 68,9 und 73,0 Ma sowie eine Hebungsrate zwischen lediglich 5 und 30 m/Ma. Auch die Verteilung der Spaltspurenlängen zeigt ein anderes Verhalten. Durchschnittliche Spurenlängen von 13,3 bzw. 14,3mm mit einer Standardabweichung von 1,6 mm bedeuten, daß die jeweilige Probe einen kürzeren Zeitraum in der PAZ verweilte. Zu Beginn des Hebungsprozesse befanden sich diese Proben wahrscheinlich noch in der Zone der totalen Ausheizung (>150°C). Im Verlauf der Hebung wurden sie relativ schnell durch die PAZ gehoben, so daß sie gegen Ende dieser Phase deren Top bildeten. Ab ca. 80 Ma verlangsamte sich die Hebung bzw. setzte völlig aus. Zu diesem Zeitpunkt befanden sich die untersuchten Proben bereits im obersten Bereich der PAZ, so daß es lediglich zu einer geringfügigen Verkürzung der Spurenlängen kam.

#### **Zusammenfassung und Ausblick**

Es ergibt sich ein deutlicher Unterschied zur Hebungsgeschichte Nordviktoralands nach Stump & Fitzgerald (1992) oder auch Balestrieri et al. (1994). Läßt sich eine spätkretazische Hebung, wenngleich in geringeren Hebungsraten von 70 bis 90m/Ma, auch im Westen Marie Byrd Lands nachvollziehen, so stagniert die thermotektonische Entwicklung im Anschluß daran. Eine weitere Hebung zu Beginn des Kanozoikums erfolgte in nennenswertem Umfang nicht mehr. Unterstützt wird diese Interpretation durch Apatit-Spaltspurendaten, die C. Adams 1991 auf einem Workshop in Christchurch präsentierte.

Die durch Apatit-Spaltspurenalte belegbare asymmetrische Entwicklung des westantarktischen Riftsystems ist für Riftsysteme dieser Größenordnung weltweit einmalig. Eine weitere Bearbeitung der Heraushebungs/Denudations-Geschichte im pazifischen Sektor der Antarktis läßt damit Einsichten in wichtige Rift-Mechanismen erwarten. Eine Deutung der Spaltspurendaten unter thermisch dynamischen Voraussetzungen der Krustenverhältnisse sollte ihnen besser entsprechende Daten als bisher erbringen.

#### **Literatur**

- Adams, C.J. (1987) *New Zealand journal of geology and geophysics* 30, 51-72  
Balestrieri, M.L.; Bigazi, G.; Ghezo, C., Lombardo, B. (1994) *Terra Antarctica* 1, 8287  
Fitzgerald, P.G. & Gleadow, A.J.W. (1988) *Chemical Geology* 73, 169-198  
Gleadow, A.J.W. & Fitzgerald, P.G. (1987) *Earth & Planetary Science Lett.* 82, 1-14  
Stump, E. & Fitzgerald, P.G. (1992) *Geology* 20, 161-164  
Wade R.A. & Wilbanks, J.R. (1972) in: Adie, R.J. ed. *Antarctic geology and geophysics*, Oslo, Universitetsforlaget, 201-214

## **GEOPHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUM AUFBAU UND ZUR ENTWICKLUNG DES WESTANTARKTISCHEN RIFTSYSTEMS**

Detlef Damaske  
BGR, Hannover

### **Das "Westantarktische Riftsystem"**

Der Begriff "känozoisches Westantarktisches Riftsystem" wurde erstmals 1978 von Wes LeMasurier benutzt, um ein Gebiet zu beschreiben, das sich parallel zum Transantarktischen Gebirge rund 3000 km erstreckt und über das gesamte Marie Byrd Land ausdehnt ist. Dieser durch känozoischen Vulkanismus und Extension geprägte Bereich wird - wenigstens Teilbereiche davon - auch als "Ross Sea Rift System" bezeichnet. Seismische Untersuchungen im Ross-Meer Abschnitt des Riftsystems belegen eine Krustenausdünnung durch Extension. Gravimetrische und aeromagnetische Untersuchungen haben eine Anzahl von Strukturen und Anomalienmuster ergeben, wie sie auch in anderen Riftsystemen zu finden sind. Im Folgenden wird über die deutschen Aktivitäten im "nördlichen" Abschnitt des Riftsystems- Ross-Meer, Ross-Eisschelf, Victoria-Land- berichtet.

### **Bisherige - terrestrische - geophysikalische Untersuchungen**

#### **Aeromagnetik:**

Nach ersten marinen Programmen Ende der 70er Jahre wurde mit der BGR-Expedition GANOVEX IV die "terrestrische" geophysikalische Erkundung aufgenommen. Die 1984/85 mit den deutschen Polarflugzeugen und in Kooperation mit dem USGS und der NSF durchgeführte aeromagnetische Vermessung war so angelegt, daß der Meßlinienabstand und die Höhe des Meßniveaus über den zu erwartenden magnetischen Quellen eine vollständige Erfassung der Anomalien ermöglichte (BOSUM 1981). Der im Vergleich zu früheren aeromagnetischen Messungen enge Abstand der Profile von 4.4 km erbrachte ein detailliertes Bild der magnetischen Strukturen. Das "dichte" Meßnetz wurde Standard für alle folgenden aeromagnetischen Programme in diesem Teil der Antarktis, nicht nur für die deutschen oder den mit deutscher Beteiligung, sondern auch für andere nationale Programme wie dem amerikanischen Programm CASERTZ (BLANKENSHIP et al. 1993) .

In der aus dieser Befliegung entstandenen Anomalienkarte (BGR & USGS 1987) waren nun eine Reihe für den Aufbau des Riftsystems wichtige Strukturen zu erkennen. Im südwestlichen Ross-Meer konnte so der zentrale Teil des Viktoria Land Beckens (VLB) als Grabenstruktur parallel zur Küste identifiziert werden (BOSUM et al. 1989, vgl. auch COOPER et al. 1987). In den anderen Teilen des Ross-Meer Meßgebietes zeigte sich überwiegend ein Anomalienmuster mit Anomalien von schwacher Amplitude, typisch für kontinentale Kruste. Innerhalb dieses Bereiches fanden sich einige engräumige Anomalien oder Anomaliengruppen, vorwiegend parallel zum Streichen des VLB angeordnet, die als typisch für die "Rift Struktur" des Westantarktischen Riftsystems angesehen werden (BEHRENDT et al. 1991).

Die südliche Fortsetzung dieser Riftstrukturen konnte durch aeromagnetische Messungen über dem nordwestlichen Ross-Eisschelf (GANOVEX VI 1990/91), an denen BGR, AWI und USGS sowie die NSF gemeinschaftlich beteiligt waren, nachgewiesen werden. Obwohl hier keine Grabenstruktur wie im zentralen VLB erkennbar ist, unterstützt die Anwesenheit von engräumigen Anomalien die These,



daß Prozesse, die in Verbindung mit der Grabenbildung im VLB stehen, auch weiter südlich gewirkt haben. Anomalien von größerer Amplitude (bis fast 1000 nT) und größerer Ausdehnung (bis aber 100 km) bilden einen Großteil des magnetischen Komplexes um Ross Island. Derartige Anomalien sind auch weiter östlich über dem Ross-Eisschelf zu finden. Diese gesamte Zone ähnelt stark der magnetischen Einheit um die Polar-3-Anomalie vor der Ross-Meer Küste und hat auch eine vergleichbare Streichrichtung. Als Quellen dieser Anomalien sind tiefe und ausgedehnte Intrusionen anzunehmen. Beide magnetischen Einheiten begrenzen das Extensionsgebiet kontinentaler Kruste im Ross-Meer. Ihr Entstehen mag daher aneinander gekoppelt sein; sie sind möglicherweise der Ausdruck von regionalen Transferstörungen (DAMASKE et al. 1994), die aufgrund von anderen Hinweisen bereits für diese Bereiche ins Gespräch gebracht wurden (TESSENHORN & WÖRNER 1991, COOPER et al. 1991, FITZGERALD 1992).

Das Anomalienmuster des zentralen Transantarktischen Gebirges ist durch kleinräumige magnetische Anomalien geprägt, die mit aufgeschlossenen Vulkaniten assoziiert sind (z.B. Mesa Range). Sie können sogar noch weiter in das aufschlußlose polare Plateau verfolgt werden, ein Indiz für das Vorkommen der jurassischen Vulkanite auch in diesem total eisbedeckten Gebiet. Noch weiter im Westen werden die magnetischen Anomalien wieder ausgedehnter; vergleichbar ist dieses Anomalienmuster mit dem aus anderen Kratonen oder Kratonrandgebieten.

Südlich an diesen Bereich anschließend wurden in den vergangenen Jahren 1991/92/93/94 über dem polaren Plateau und dem Transantarktischen Gebirge weitere aeromagnetische Vermessungen durch das GITARA Programm vorgenommen. GITARA ist das Acronym für "German Italian Aeromagnetic Research in Antarctica" und ist ein deutsch-italienisches Programm im Rahmen von LIRA (Lithospheric Investigations in the Ross Sea Area). Die Durchführung dieser (Hubschrauber-) Vermessungen lag wechselseitig in den Händen von GANOVEX oder dem italienischen Antarktisprogramm, das Datenprocessing und die Interpretation wurden und werden noch in enger Kooperation der beteiligten Institutionen vorgenommen. Erste Ergebnisse lassen die Verteilung der jurassischen Vulkanite unter dem Eis in Fortsetzung von aufgeschlossenen Vorkommen erkennen. Auch die ausgedehnten "Schildanomalien" können weiter verfolgt werden.

Die Grenze zum Ostantarktischen Schild war ebenfalls ein Ziel der Hubschrauberbefliegung während der Expedition GANOVEX V 1988/89 und auch der mit den Polarflugzeugen gemeinsam mit dem AWI durchgeführten Vermessung im nördlichen Viktorialand 1990/91. Über dem polaren Plateau westlich des unteren Rennick-Gletschers wurde ein markantes magnetisches Lineament gefunden, das als größere Störung innerhalb der Plattform oder als Grenze zum antarktischen Schild selbst angesehen werden kann (DAMASKE & BOSUM 1993). Starke positive Anomalien kennzeichnen den nordöstlichen Rand des Rennick Graben. Sie setzen sich allerdings nicht weiter nach Süden fort, d.h. sie folgen nicht der Rennick-Struktur. Sie werden durch ein NW-SE streichendes magnetisches Lineament begrenzt, das möglicherweise eine ältere Strukturgrenze anzeigt.

#### Gravimetrie:

Bei BGR-Expeditionen bzw. den im Rahmen des internationalen LIRA-Konzepts unter Beteiligung der BGR durchgeführten Messungen wurden über 800 Einzelpunkte vermessen, in den meisten Fällen in Verbindung mit Eisdickenmessungen, die für eine korrekte Interpretation unbedingte Voraussetzung sind. Schwerpunkt der Messungen waren in den ersten Jahren die küstennahen Inlandgebiete des Viktorialandes einschließlich der Oates Coast. In den folgenden Jahren wurde

eine regionale, flächenhafte Verteilung des Meßpunktnetzes angestrebt. Aus im wesentlichen logistischen Gründen ist die bis heute erreichte Verteilung der Meßpunkte im Victoria Land bei weitem nicht homogen.

Trotz des immer noch lückenhaften Meßnetzes an Land (bzw. Eis) lassen sich einige regionale Strukturen erkennen (siehe Bericht REITMAYR). So erstreckt sich fast kontinuierlich längs der Küste des Ross-Meeres ein negativer Schweregradient vom Ross-Meer zum Kontinent, entsprechend einer Krustenverdickung zum ostantarktischen Schild hin. Unklar ist jedoch, wie weit das Schwereminimum in den Kontinent hineinreicht. Einzelne Schwereminima im nördlichen Victoria Land über den weit in das Transantarktische Gebirge hineinreichenden Rennick und Lillie Gletschern können als tiefe sedimentgefüllte Troge interpretiert werden, ohne hier eine Krustenverdickung annehmen zu müssen. Ihre gravimetrische Verfolgung zur Ross-Meer Küste und damit eine tektonische Deutung im Zusammenhang mit den Riftstrukturen in der Ross See ist aufgrund fehlender Daten noch nicht möglich.

#### Seismik:

Neben den schon Ende der 70er Jahre erfolgten ersten marinen Aktivitäten der BGR im Ross-Meer, wurde mit dem onshore-offshore Programm von GANOVEX V 1988/89 erstmals eine seismische Erkundung durchgeführt, die den "terrestrischen" Teil des Riftsystems ansprach. Als seismische Quelle dienten dabei Airgun-Schüsse von Bord des Expeditionsschiffes, von wo aus gleichzeitig ein internationales seegeophysikalisches Programm gefahren wurde. Wichtigste Ergebnisse des in Zusammenarbeit mit der Ohio-State-University sowie der Universität Hamburg durchgeführten Landprogrammes waren die Bestimmung von Mohotiefen unter dem Transantarktischen Gebirge von ca. 22 km an der Küste bis etwa 35 km weiter landeinwärts (O'CONNELL & STEPP 1993).

Eine weitere, über das Transantarktische Gebirge zum Kontinent führende, seismische Studie konnte u.a. aufgrund fehlender Landschüsse nicht erfolgen. Ein solches Krustenprofil wurde erfolgreich in der vergangenen Saison in einem internationalen Projekt unter italienischer Leitung durchgeführt. Das "Antarctic Crustal Profile 1" fand im Rahmen des LIRA Programmes und mit Beteiligung von deutschen Wissenschaftlern von der Universität Hamburg und der BGR statt.

#### **Zukünftige Aktivitäten**

Obwohl die bisherigen Untersuchungen eine Reihe von Erkenntnissen zum Aufbau und der tektonischen Entwicklung erbracht haben, sind noch weite Gebiete im Bereich des "Westantarktischen Riftsystems" nur wenig oder überhaupt nicht erforscht. Wichtig für das Verständnis der Entwicklung dieses Riftsystems im gesamtantarktischen Zusammenhang sind genauere Kenntnisse von Strukturen im Hinterland des Transantarktischen Gebirges, also zum Ostantarktischen Schild hin. Geophysikalische Untersuchungen sind die einzige Möglichkeit, in diesem total eisbedeckten Gebiet Informationen zu gewinnen. Bisher sind hier nur wenige Messungen durchgeführt worden. Diskutiert werden aerogeophysikalische Messungen in einem "Korridor" von der westlichen Ross-Meer Küste über das Transantarktische Gebirge und das Wilkes Becken bis Dome C. Diese Messungen könnten mit einer Twin Otter durchgeführt werden, die im amerikanischen CASERTZ-Projekt mit einer kompletten aerogeophysikalischen Anlage (also Magnetik, Gravimetrie, Eisdicke) ausgerüstet wurde und die nun für weitere Projekte von der NSF zur Verfügung gehalten wird. Vorgespräche zur Nutzung dieses Meßflugzeuges hat es bereits zwischen Wissenschaftlern aus den Programmen CASERTZ und GITARA gegeben.

Landgestützte geophysikalische Untersuchungen sollten ein solches Projekt begleiten, d.h. insbesondere Durchführung von konventionellen gravimetrischen Messungen und auch gezielte landseismische Profile.

Auf der anderen Schulter des Riftsystems liegen bislang nur wenige geophysikalischen Messungen vor, auch die über dem nördlichen Marie Byrd Land hat nur ein relativ kleines Gebiet abgedeckt. Flächenhafte Vermessungen, die auch den Zusammenhang mit den westlichen Riftstrukturen herstellen, sind notwendig.

Für beide "Korridore" sind internationale Absprachen oder gemeinsame Projekte, wie sie z.B. im Rahmen des LIRA-Konzepts vorgesehen sind, unerlässlich.

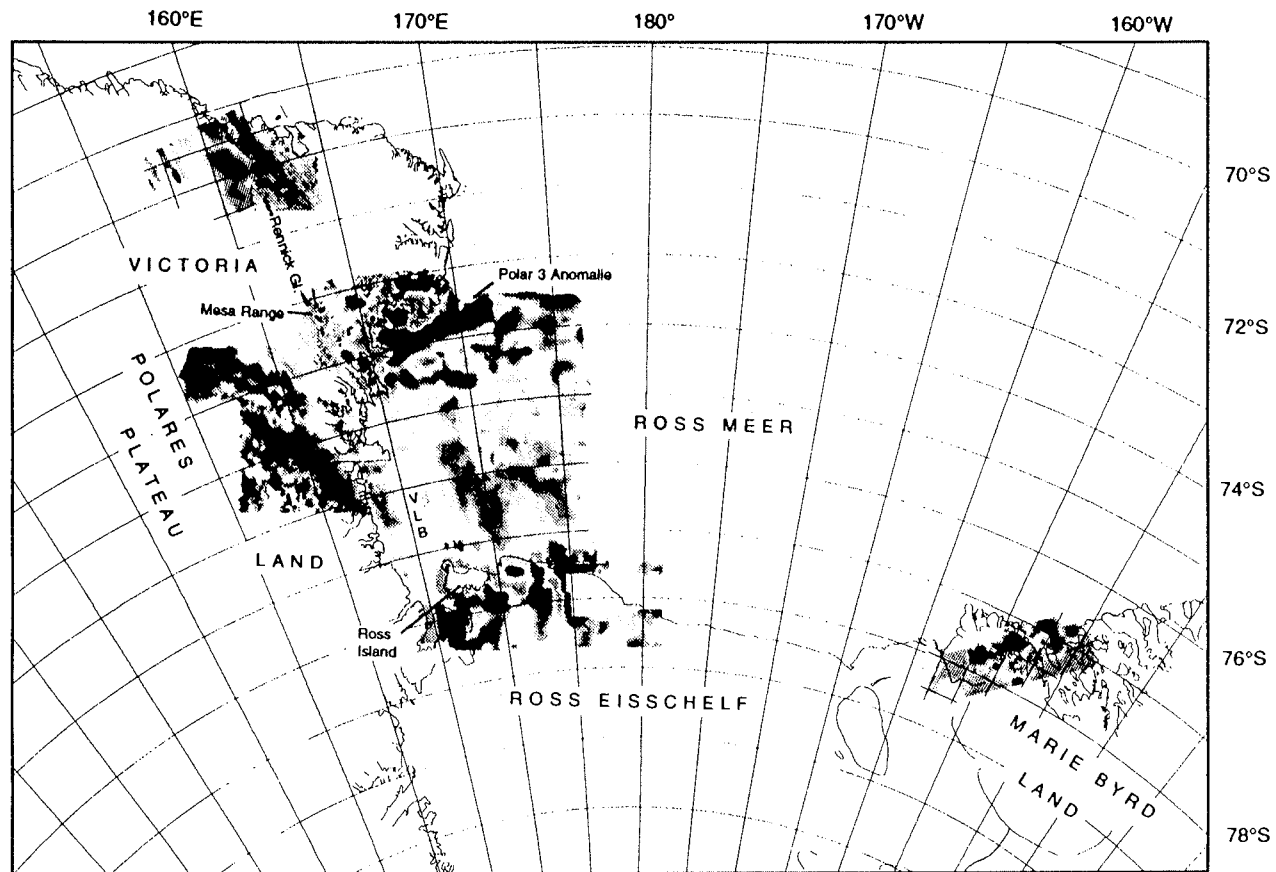
In Fortsetzung des deutsch-italienischen Programms GITARA werden in der kommenden Saison aeromagnetische Messungen im Bereich des nördlichen Viktorialandes durchgeführt. Neben den unmittelbaren Untersuchungen zur magnetischen Signatur des mittleren Rennick Grabens soll die Verbindung zwischen den früheren aeromagnetischen Befliegungen im Norden und Süden hergestellt werden. Damit wird eine homogene Grundlage für eine Gesamtinterpretation der Rennick Struktur ermöglicht. Parallel dazu werden gravimetrische Messungen im gleichen Gebiet durchgeführt.

Dem diesjährigen GITARA-Programm vorgeschaltet wird eine sehr detaillierte Befliegung (500 m Profilabstand) für das internationale "Cape Roberts Drilling Project". Aus bisherigen aeromagnetischen und marinen Messungen in der Umgebung der vorgesehenen Bohrungen in die Sedimentserien des VLB sind einige Anomalien bekannt, die als vulkanische Intrusionen interpretiert werden. Genauere Aussagen lassen sich anhand dieser zu weiträumigen Messungen nicht machen. Mit der nun kurzfristig mit in das GITARA-Programm aufgenommenen Befliegung wird eine detaillierte Interpretation ermöglicht, die Aussagen zu Lage und Tiefe möglicher Intrusionen erlauben wird. Ebenfalls für diese Saison sind von amerikanisch-neuseeländischer Seite seeseismische Messungen geplant. Die Ergebnisse beider Vorerkundungen werden gemeinsam interpretiert und einen wichtigen Beitrag für das Gelingen dieses internationalen und geowissenschaftlich interdisziplinären Großprojekts liefern.

#### Literatur

- Behrendt, J.C., LeMasurier, W.E., Cooper, A.K., Tessensohn, F. & Damaske, D. 1991. The West Antarctic rift system - a review of geophysical investigations. *Contributions to Antarctic Research II, Antarctic Research Series, 53*, American Geophysical Union, Washington, D.C., 67-112.
- BGR & USGS 1987. Total Magnetic Anomaly Map: Victoria Land/Ross Sea, Antarctica, 1:250000, 7 sheets; Hannover.
- Blankenship, D.D., Bell, R.E. and the CASERTZ group 1993. Aerogeophysics in the Interior Ross Embayment of West Antarctica. Proceedings of the *Workshop on Crustal Structure of the Transantarctic Mountains and the Adjacent Ross Sea Depression*, Trieste.
- Bosum, W. 1981. Anlage und Interpretation aeromagnetischer Vermessungen im Rahmen der Erzprospektion. - *Geologisches Jahrbuch, E20*, 3-63.
- Bosum, W., Damaske, D., Roland, N.W., Behrendt, J. & Saltus, R. 1989. The GANOVEX IV Victoria Land/Ross Sea Aeromagnetic Survey: Interpretation of Anomalies. *Geologisches Jahrbuch, E38*, 153-230.

- Cooper, A.K., Davey, F.J. & Behrendt, J.C. 1987. Seismic Stratigraphy and Structure of the Victoria Land Basin, Western Ross Sea, Antarctica. In Cooper, A.K. & Davey, F.J. eds. *The Antarctic Continental Margin: Geology and Geophysics of the Western Ross Sea*. Circum Pacific Council on Energy and Mineral Resources, Earth Science Series, **5B**, 27-65.
- Cooper, A.K., Davey, F.J. & Hinz, K. 1991. Crustal extension and origin of sedimentary basins beneath the Ross Sea and Ross Ice shelf, Antarctica. In THOMSON, M.R.A., CRAME, J.A. & THOMSON, J.W. eds. *Geological Evolution of Antarctica*. Cambridge: Cambridge University Press, 285-292.
- Damaske, D. & Bosum, W. 1993. Interpretation of the Aeromagnetic Anomalies above the Lower Rennick Glacier and the Adjacent Polar Plateau West of the USARP Mountains. - *Geologisches Jahrbuch*, **E47**, 139-152.
- Damaske, D., Behrendt, J., McCafferty, A., Saltus, R. & Meyer, U. 1994. Transfer Faults in the Western Ross Sea: new evidence from the McMurdo Sound/Ross Ice Shelf aeromagnetic survey (GANOVEX VI). *Antarctic Science*, **6**, 359-364.
- Fitzgerald, P.G. 1992. The Transantarctic Mountains of southern Victoria Land: The application of apatite fission analysis to a rift shoulder uplift. *Tectonics*, **11**, 634-662.
- LeMasurier, W.E. 1978. The Cenozoic West Antarctic rift system and its associated volcanic and structural features. - *Gel. Soc. Am. Abstr. Programs*, 10, 443.
- O'Connell, D.R.H. & Stepp, T.M. 1993. Structure and Evolution of the Crust at the Transantarctic Mountains - Ross Sea Crustal Transition: Results from the Tourmaline Plateau Seismic Array of the GANOVEX V Ship-to-Shore Seismic Refraction Experiment. *Geologisches Jahrbuch*, **E47**, 229-276.
- Tessensohn, F. & Womer, G. 1991. The Ross Sea rift system, Antarctica: structure, evolution and analogues. In THOMSON, M.R.A., CRAME, J.A. & THOMSON, J.W. eds. *Geological Evolution of Antarctica*. Cambridge: Cambridge University Press, 273-277.



Aeromagnetische Vermessungen (im engen Profilabstand von weniger als 5 km für die meisten Gebiete) im Ross-Meer Sektor der Antarktis aus den Jahren 1984 - 1993.

## **LIRA - Geotraverse - Krustenstruktur des Rossmeeres**

Makris, I. & Trey, H.  
Universität Hamburg, Hamburg

### **1. Einleitung:**

Im Rahmen des LIRA (Lithospheric Investigation of the Ross Sea Area) wurden im antarktischen Sommer 1994 in Zusammenarbeit mit dem DINMA (Department of Naval Architecture Ocean and Environmental Engineering) Trieste und dem OGS (Observatorio Geofisico Sperimantale) Trieste, Italien, dem USGS (United States Geological Survey), Menlo Park, USA und dem Institut für Geophysik der Universität Hamburg insgesamt drei weitwinkelreflexionsseismische Profile (WARP) im Rossmeer und dem angrenzenden Transantarktischen Gebirge vermessen.

Die Hauptziele dieser Meßkampagne lassen sich in folgenden Punkten zusammenfassen :

1. Bestimmung des Krustenaufbaus im Übergangsbereich zwischen dem Transantarktischen Gebirge und dem Rossmeer durch onshore offshore Registrierungen
2. Fixierung der Geschwindigkeitsstruktur und lateraler Geschwindigkeitsinhomogenitäten durch eine Vielzahl von Aufnehmern und Schüssen.
3. Untersuchung der Krustenstruktur im östlichen Becken des Rossmeeres.
4. Entwicklung eines Krustenmodells aus den registrierten Daten unter Implementierung der Ergebnisse der GANOVEX V Expedition sowie weiterer verfügbarer Daten der Reflexionsseismik und der Potentialverfahren.
5. Aufhellung der tektonischen Prozesse dieser Region.

Die im weiteren vorgestellten Ergebnisse beziehen sich auf den aktuellen Stand der Auswertung und stellen ein vorläufiges Modell der Geschwindigkeitsverteilung und Krustenstruktur des Profils im östlichen Becken dar.

### **2. Vermessung:**

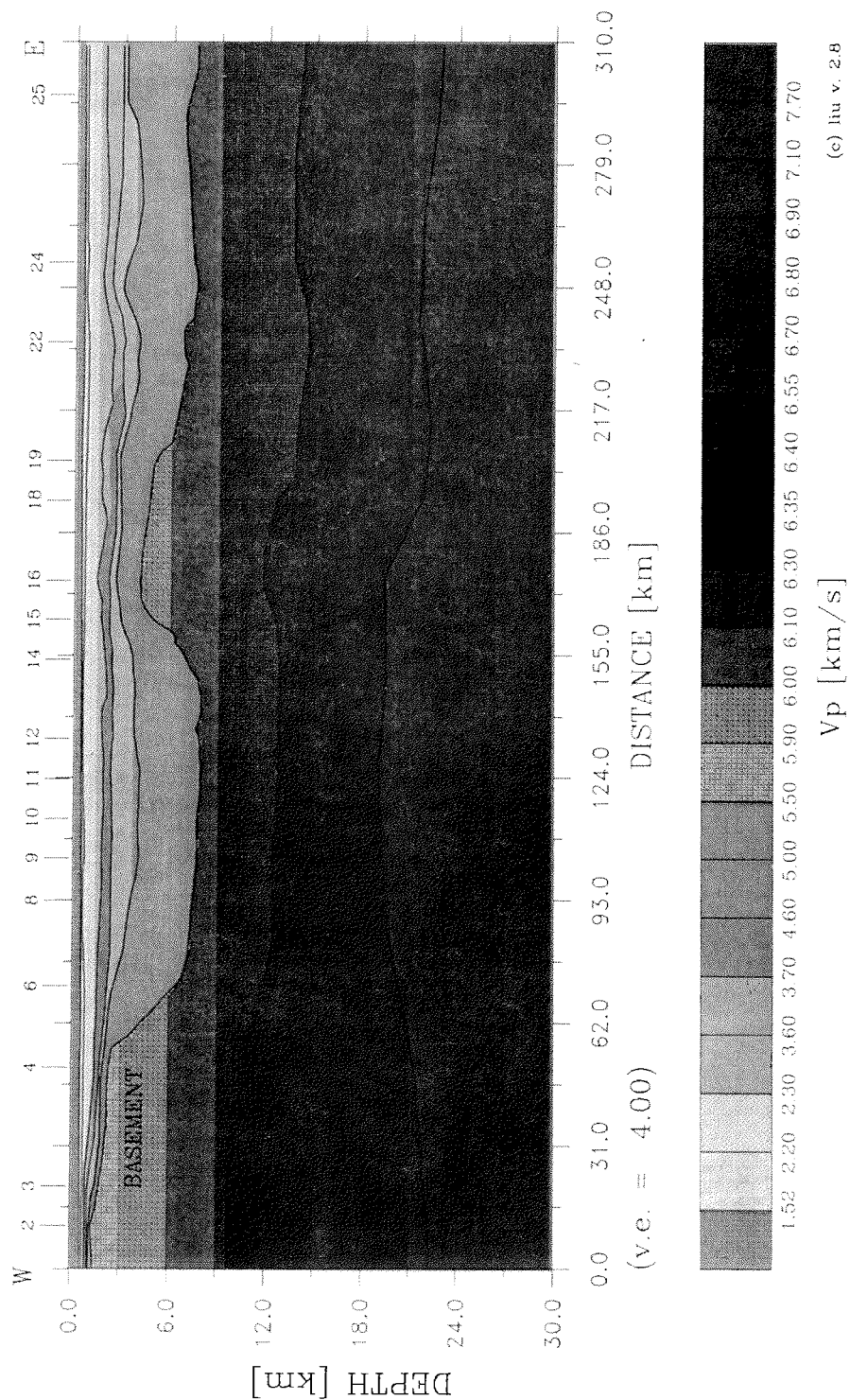
Es wurden drei weitwinkelreflexionsseismische Profile vermessen.

Profil I überdeckt mit 57 seismischen Landstationen und 4 Ozean-Boden-Seismographen den Bereich vom Victoria Land Becken zum Transantarktischen Gebirge südlich der Drygalski- Eiszunge. Registriert wurden 4 Landschüsse und 40 Airgunschüsse.

Die beiden offshore Profile II (Eastern Basin Profile) und III (Western Ross Sea Profile) verlaufen nördlich des Ross Eisschelfs und bilden als Geotraverse die Verbindung des Zentralbeckens mit dem östlichen Becken (siehe Abbildung 1). Auf beiden Profilen wurden insgesamt je 24 Ozean-BodenSeismographen ausgesetzt und überschossen. Durch ein Schußintervall von 2 Minuten wurde ein durchschnittlicher Schußabstand von ca. 240 Metern erreicht.

Für die Positionierung der Ozean-Boden-Seismographen und die Schußnavigation stand GPS zur Verfügung.

VELOCITY DISTRIBUTION OF LIRA 94 PROFILE II

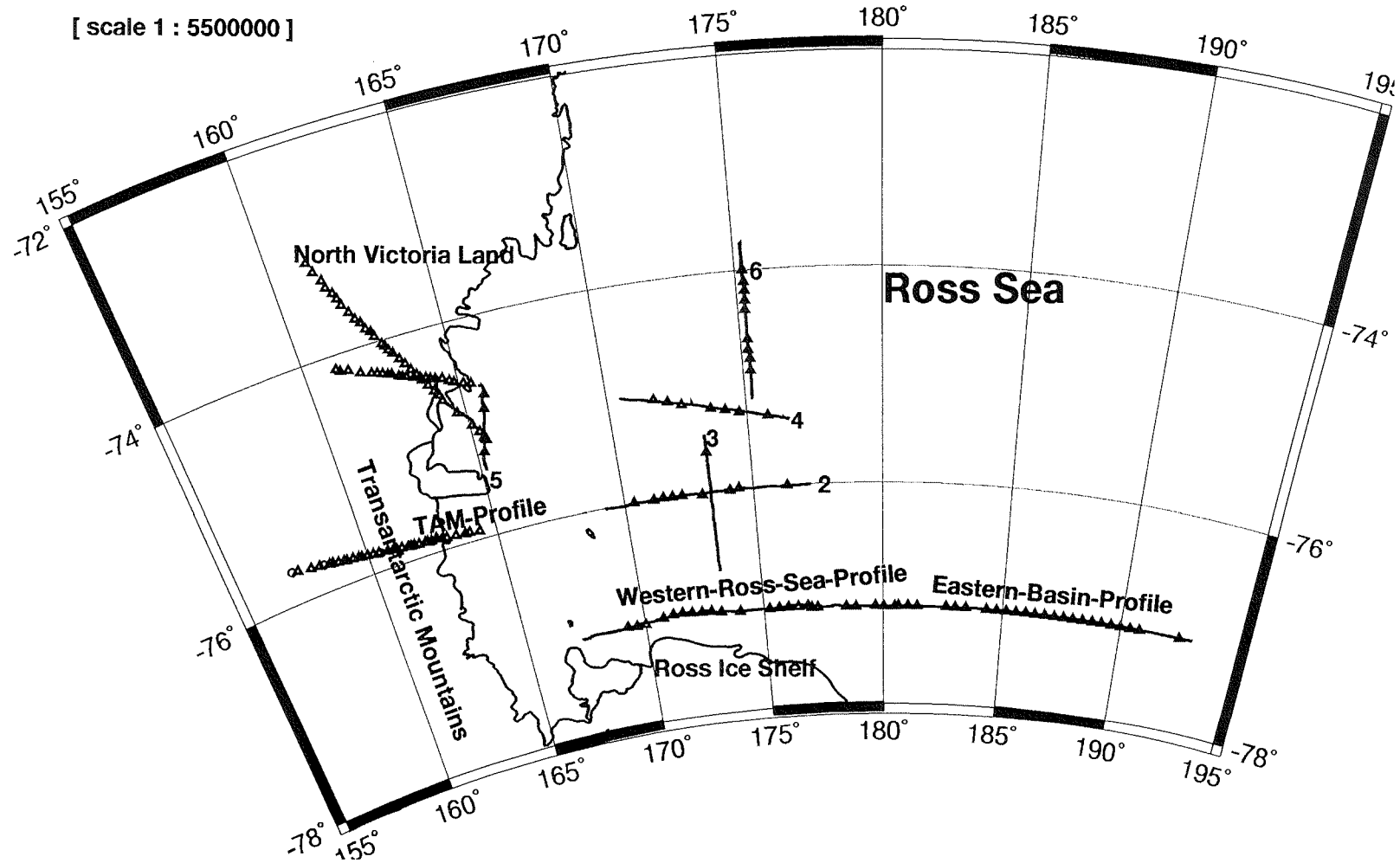


# Location of GANOVEX V and LIRA profiles

compiled by H. Trey, Institute of Geophysics, Hamburg University

GANOVEX V Airgun profiles  
LIRA Airgun profiles  
Seismic Stations  
Shotpoints

[ scale 1 : 5500000 ]





### **3. Datenverarbeitung:**

Die auf C90 Kassetten analog aufgezeichneten Daten wurden mit einer Sampling-Frequenz von 128 Hz digitalisiert und auf DAT - Kassetten gespeichert. Die digital vorliegenden Schüsse wurden mit Hilfe der GPS - Navigation entfernungsabhängig und zeitkorrigiert in Form von Seismogrammsektionen geplottet.

Der erste Schritt der Auswertung beinhaltete die Korrelation dominierender seismischer Einsätze und die Erstellung eines einfachen Startmodells durch eindimensionale Geschwindigkeits-Tiefen-Inversion (Tau-Pi-Methode). Dieses Startmodell wurde durch interaktive, strahlenseismische Modellierung (Cerveny und Psencik) für alle Seismogrammsektionen des Profils modifiziert bis die bestmögliche Anpassung aller Laufzeiten und Amplituden erreicht war. Die große Anzahl von Aufnehmern ermöglichte dabei eine gute Kontrolle der Geschwindigkeits - Tiefenstruktur, so daß auch laterale Variationen der Geschwindigkeit gut aufgelöst werden konnten.

### **4. Krustenstruktur des östlichen Beckens:**

Die Abbildung 2 zeigt die Krustenstruktur des östlichen Beckens. Die Sedimentgeschwindigkeiten variieren zwischen 1.8 km/s im Neogen, 3.5 km/s im Palaeogen und 4.8 in den spätmesozoischen Sedimenten. Im zentralen Teil des östlichen Beckens tritt eine Geschwindigkeitsinversion, eine Schicht geringerer Geschwindigkeit, auf, die wahrscheinlich dem Palaeogen zuzuordnen ist. Im diesem Teil des Beckens ist die Sedimentmächtigkeit am größten und erreicht Werte von über 6 km. Analog zur Reflexionsseismik von Hinz & Block (1984) und Cooper et al (1987a) fällt das Basement von ca. 2 km Tiefe im Bereich des Central High auf über 6 km im zentralen Teil des östlichen Beckens steil ab und kennzeichnet so die Flanke des Beckens. Ein Basement-Hoch etwa in der Mitte des Profils gliedert das Becken in einen westlichen und einen östlichen Teil. Die Sedimentmächtigkeiten von 6 bis 7 km sind in beiden Teilen vergleichbar.

Der Verlauf der Moho, der Conrad, das Verhältnis der Mächtigkeiten und die Geschwindigkeitsverteilung spiegeln eindeutig den gedehnt kontinentalen Charakter der Kruste wider. Im zentralen Teil des Beckens wurde anhand von deutlichen PmP-Einsätzen die Moho in einer minimalen Tiefe von ca. 18 km kartiert. Das Verhältnis von Unter- zu Oberkruste ist dort etwa 1:3. Die Tiefe der Moho und den Flanken des Beckens beträgt ca. 22 km. Durch Implementierung der Daten der GANOVEX V Expedition und anderer verfügbarer Daten (Reflexionsseismik, Potentialverfahren) wird eine kombinierte Auswertung erfolgen.

Diese Synthese wird Aufschluß geben über die Krustenstruktur und Geschwindigkeitsverteilung im gesamten Rossmeer und stellt eine gute Grundlage für die geotektonische Interpretation zur Entwicklung des Ross-Meer-Riftsystems dar.

#### Literatur:

- Cooper, A.K., Davey, F.J., Behrendt, J.C. (1987a) Seismic stratigraphy and structure of the Victoria Land Basin, western Ross Sea, Antarctica. In *The Antarctic Continental Margin: Geology and Geophysics of the Western Ross Sea*, Earth Science Series, Vol 5B; Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources.
- Hinz, K., Block, M. (1984) Results of geophysical investigations in the Wedell Sea and in the Ross Sea, Antarctica. Pr

## **Ergebnisse gravimetrischer Untersuchungen und begleitender Eisdickenmessungen im Nord-Viktoria-Land**

G.Reitmayr, V.Damm  
BGR, Hannover

Die Gravimetrie stellt insbesondere in Gebieten mit niedrigem Erkundungsstand wie in der Antarktis ein optimales Meßverfahren zur Analyse verdeckter Krustenstrukturen dar.

Aus den kartierten Schwereanomalien sind über Modellrechnungen Vorstellungen über die Verbreitung und den Bau geologischer Strukturen, tektonische Störungen sowie Stoff- und Materialgrenzen verschiedener geologischer Einheiten ableitbar. Infolge des Äquivalenzprinzips sind derartige Strukturmodelle zwar vieldeutig, die Vieldeutigkeit läßt sich jedoch durch die Auswahl geeigneter Modellparameter weitgehend eingrenzen.

Problematisch für gravimetrische Messungen in der Antarktis ist jedoch neben anderen Faktoren vor allem die Eisbedeckung des Untergrundes, die einen zusätzlichen Schichthorizont darstellt. Um zu Aussagen über den tieferen Krustenbau zu gelangen, ist es erforderlich, die Wirkung dieser durch Eisdickenmessungen bestimmbaren Störmassen zu berechnen und bei der Reduktion der gravimetrischen Felddaten neben den herkömmlichen Korrekturen zu berücksichtigen.

### **Gravimetrische Daten**

Seit 1989 wurden im Verlauf mehrerer Expeditionen (GANOVEX V bis VII und ACRUP-1) insgesamt mehr als 800 Einzelmessungen im Viktoria Land vorgenommen. Während in den ersten Jahren die Inlandgebiete nahe der Gondwana-Station an der Terra Nova Bay sowie die Nordküste des Viktoria Landes Schwerpunkt der Arbeiten waren, wurde nachfolgend eine flächenhafte Verteilung des Meßpunktnetzes angestrebt. Aus vorrangig logistischen Gründen ist die bislang erreichte Meßpunktzahl jedoch noch nicht ausreichend und ihre Verteilung ausreichend homogen.

Für die Durchführung der Messungen wurden LaCoste-Romberg Gravimeter eingesetzt. Die Ortsbestimmung (einschließlich Höhenbestimmung) der Meßpunkte wurde mittels GPS-Messungen vorgenommen. Die dabei erzielbare Genauigkeit liegt bei Verwendung von Relativstationen unter 1 m, so daß der daraus ableitbare Fehler 0.3 mGal nicht übersteigt.

Für die topographische Reduktion der Meßdaten wurde das Verfahren nach BERIOZKIN modifiziert und angewendet, mit dem radial um den Meßpunkt segmentartig Geländeunregelmäßigkeiten bis zu einer Entfernung von 5 km berücksichtigt werden. Grundlage für die Bestimmung des Geländereiefs in der Umgebung der Meßpunkte bildete die digitalisierte Topographie der Karten des USGS im Maßstab 1:250000.

Zur Berechnung der Bougueranomalien ist es erforderlich, die Wirkung der zwischen Meß- und Bezugsniveau befindlichen Massen zu berücksichtigen. Der Dichteunterschied zwischen Eis und dem unterlagernden Kristallin erfordert eine zweistufige Reduktion und somit eine Eisdickenkorrektur. Während für die Eisdickenreduktion mit einer Dichte von 0.86 g/cm<sup>3</sup> gerechnet wurde, wird für die eigentliche Bouguerplattenreduktion die mittlere Krustendichte von 2.67 g/cm<sup>3</sup> verwen-

det. Für eine exakte Eisdickenkorrektur sind Daten über die Eisbedeckung bzw. die Subeistopographie am gravimetrischen Meßpunkt und der unmittelbaren Umgebung gefordert.

Die weithin ungenügende Kenntnis über die Subeismorphologie und somit eine ungenaue topographische und Bouguer-Reduktion wird bislang als eine der wesentlichsten Fehlerursachen bei der Bearbeitung und Interpretation gravimetrischer Daten der Antarktis angesehen. Informationen über die Eisbedeckung sind zudem für weitere geophysikalische Verfahren und glaziologische Fragestellungen von Bedeutung.

### **Radar-Daten**

Die Aufgabenstellung für die vorgenommenen Radar-Eisdickenmessungen leitete sich vorrangig aus dem Bedarf ab, den gravimetrischen Untersuchungen die erforderlichen Korrekturwerte bereitzustellen.

Während zunächst die Eisbedeckung nur punktuell an den gravimetrischen Meßpunkten bestimmt wurde, wurde in den beiden letzten Meßkampagnien zu einer flächenhaften Radarvermessung übergegangen. Hierdurch wird es möglich, auch laterale Variationen im Subeisrelief zu berücksichtigen.

Die Eisdickenmessungen wurden mit Radarmessungen (RES) im Frequenzbereich 40 bis 60 MHz vorgenommen. Die erzielbare Genauigkeit der RES-Daten liegt bei ca. 1 bis 2% des Meßwertes. Für eine 1000 m mächtige Eisbedeckung beträgt die eindimensionale Eisdickenkorrektur ca. 76 mGal, der Fehler in der Eisdickenkorrektur ergibt sich daraus zu ca. 1 bis 2 mGal.

Für ein Teilgebiet des gravimetrischen Meßgebietes liegen neben den bodengestützten Punktmessungen an den gravimetrischen Meßpunkten Profildaten entlang von Fluglinien vor, mit denen eine flächenhafte Darstellung der Eismächtigkeit und der Subeistopographie vorgenommen wurde. Die erstellten Karten wurden durch ein Glättungsverfahren über ein 2 x 2 km Gitternetz erzeugt. Gebiete geringer Datendichte (Punktabstand < 5 km) wurden ausgeblendet. Die Karte der Subeistopographie wurde als Differenzgrid aus der digitalisierten Topographie des Meßgebietes berechnet.

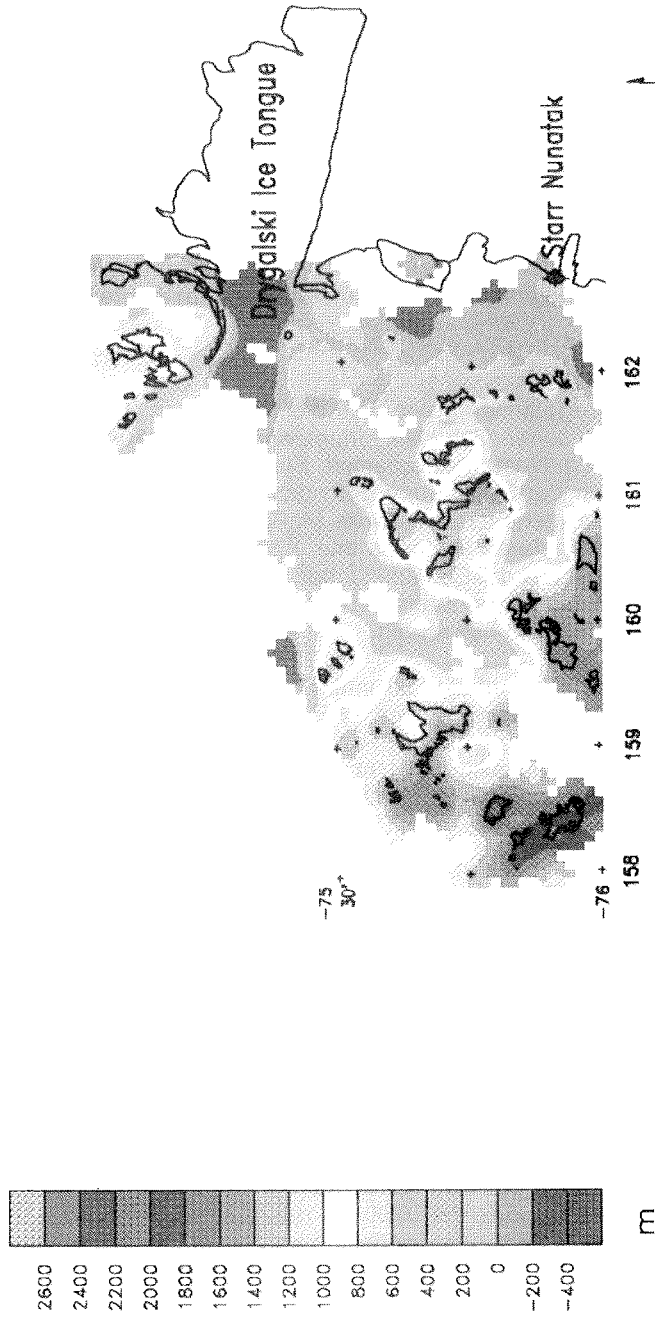
Trotz inhomogener Verteilung der Meßdaten bieten die Ergebnisse dieses Teilgebietes eine erste Grundlage für die Berücksichtigung auch lateraler Variationen des Subeisreliefs für die Eisdickenkorrektur der Gravimetriedaten.

### **Ergebnisse**

Der vorliegende gravimetrische Datensatz (ca. 800 Punkte) wurde ergänzt durch publizierte Daten älterer Expeditionen, so daß landseitig insgesamt ca. 1400 Daten im Untersuchungsgebiet vorliegen. Ferner wurden in die Kartenkompilation see-gravimetrische Meßdaten und die US-amerikanischen SEASAT-Daten hoher Datendichte nördlich 72°S miteinbezogen. Die gravimetrischen Karten des Viktorialandes beinhalten somit ca. 10.000 Einzelwerte.

Da aufgrund fehlender bzw. ungenauer Daten über die Eisbedeckung nicht für alle Gravimetriedaten die Bouguerkorrektur vorgenommen werden konnte, deckt die Karte der Bougueranomalie das Meßgebiet weniger gut ab als die Freiluftanomalie.





# Subice-Topography Mt. Joyce Area

RES Data of GANOVEX VII and ACRUP-1 Expedition

Trotz der noch unzureichenden flächenhaften Verteilung der Daten sind einige markante Strukturen erkennbar. Es wird eine grobe Dreigliederung erkennbar: im Nordosten weiträumig positive Schwerewerte im marinen Bereich, küstenparallel entlang des Transantarktischen Gebirges negative Werte in der Bouguerschwere und im Südosten der intermediäre Bereich der Ross See. Die Ausdehnung des Schwereminimums Richtung des polaren Plateaus ist aus den vorliegenden Daten nicht eindeutig bestimmbar. Während die älteren Daten (Crary 1963) eine Begrenzung auf den Bereich des Transantarktischen Gebirges und erhöhte Krustenmächtigkeiten nur für diesen Bereich vermuten lassen, ist aus den während ACRUP-1 ermittelten Werten dieser Trend nicht ableitbar. Die lokalen Schwereminima im Bereich der im Norden weit ins Inland reichenden Gletscher sind nicht zwangsläufig an erhöhte Krustenmächtigkeiten gebunden, sondern deuten eher auf tiefe Sedimenttroge hin.

#### **Zukünftige Aktivitäten**

Zur Klärung der Fragestellung, wie sich die ableitbaren Krustenstrukturen im Bereich des ostantarktischen Schildes fortsetzen, ist eine Ausdehnung des Untersuchungsgebietes nach Westen erforderlich. Für die Fortsetzung der gravimetrischen Arbeiten sind neben der Schließung der noch vorhandenen Datenlücken im Nordviktoraland und der insgesamt weiteren Meßpunktverdichtung vor allem Messungen im Bereich des polaren Plateaus interessant. Da hier mit großen Eismächtigkeiten zu rechnen ist, sind RES-Messungen in diesem Gebiet von besonderer Bedeutung. Hierzu ist die flächenhafte Erfassung der Eisbedeckung durch Einsatz eines Aero-RES-Verfahrens notwendig.

Darüber hinaus werden auf der Grundlage der vorhandenen Daten Modellrechnungen entlang eines ausgewählten W-E-Krustenschnittes vorgenommen. Diese Arbeiten sind ein Teilbeitrag der BGR zu dem italienischen Projekt ACRUP-1, mit dem komplexe geophysikalischen Untersuchungen entlang eines 160 km langen Transects vom Ross Meer bis zum polaren Plateau vorgenommen wurden.

#### Literatur

- Damm, V.: EMR-Eisdickenmessungen im Rahmen des italienischen Antarktisprojektes ACRUP-1.- BGR-Archiv 112080. 1994
- Reitmayr, G.; Thierbach, R.: Bericht über gravimetrische und Eisdickenradar-Messungen im Nord-Viktoria-Land, Antarktis, während GANOVEX VI.- BGR-Archiv 108432. 1991
- Reitmayr, G.: Gravity Surveys of the Mount Melbourne and Rennick-Lillie-Glacier Areas. Antarctica.- Zeitschr. f. Polarforschung 60 (2), 1992
- Reitmayr, G.: Bericht über gravimetrische Messungen und sie begleitende GPS-Ortsbestimmungen zwischen Brimstone Peak und Coulman Island, sowie südlich der Lillie Marleen Hütte, Nord-Viktoraland, und an der Oates Küste, Antarktis, während GANOVEX VII, 1992/93.- BGR-Archiv 112208. 1994
- Verbers, A.; Damm, V.: A model for the Cenozoic glacial evolution in the area between the David and Mawson Glacier, Victoria Land, Antarctica.- Ann. Glac. 1994

## **Wärmeflußmessungen: Erste Ergebnisse aus Victoria Land und Folgerungen für Vorhaben in Dronning Maud Land ("GEOMAUD")**

D. Delisle

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

**Einleitung:** Victoria Land liegt an der Grenze zwischen dem antarktischen Kraton und dem Extensionsbecken des Ross-Meeres (Abb. 1, aus Stern & TenBrink, 1989). Aus geodynamischer Sicht sollte das Extensionsbecken, insbesondere solange es tektonisch nicht zur Ruhe gekommen ist, einen erhöhten terrestrischen Wärmestrom ( $q$ ) aufweisen, während für die kratonische Kruste niedrige  $q$ -Werte erwartet werden. Gemessene  $q$ -Werte im offshore-Bereich sind in Abb. 1 dargestellt. Von der Landseite war lange Zeit nur ein Wert aus der Bohrung in den eisfreien Dry Valleys bekannt ( $79 \text{ mW/m}^2$ ). Die Messung des terrestrischen Wärmestromes in der Antarktis ist schwierig, da das Temperaturfeld in dem sich bewegenden Eis durch mehrere Faktoren beeinflusst ist. Unterstützt durch die DFG hat die BGR in den vergangenen Jahren begonnen, in Bohrungen, die in sogenannten "stagnierenden" Eisfeldern niedergebracht wurden,  $q$ -Messungen durchzuführen. Damit sind Eisfelder gemeint, deren Eigenbewegung in der Vertikalkomponente in der Regel unter  $1 \text{ dm/a}$  liegt.

**Wärmestrommessungen auf stagnierenden Eisfeldern:** Zur Identifizierung von geeigneten Eisfeldern werden in ausgewählten Regionen Radarmessungen zur Erkundung der Subeistopographie und weiterhin Messungen zur Bestimmung der Oberflächentopographie durchgeführt. Aus diesen Daten läßt sich rechnerisch die Eigenbewegung des Eises errechnen. Bei der Bestimmung des  $q$ -Wertes wird über Korrekturrechnungen der Einfluß der Eisbewegung auf das in der Eisbohrung gemessene Temperaturlog herausgerechnet. Als Beispiel dient hier die  $83 \text{ m}$  tiefe Eisbohrung am Mt. Howard, ca.  $40 \text{ km}$  landwärts der Küste Victoria Lands gelegen ( $161^\circ 12,8'E, 75^\circ 39,5'S$ ). Der gemessene  $T$ -Verlauf ist in Abb. 2 gezeigt. Wegen der lokal minimalen Eisbewegung (vertikale Eisbewegung um  $1,5 \text{ cm/a}$ ) erübrigt sich eine Korrekturrechnung. Der  $T$ -Gradient multipliziert mit der Wärmeleitfähigkeit des Eises ( $2,1 \text{ W/mK}$ ) ergibt  $q$  zu  $50 \text{ mW/m}^2$ .

**Wärmestrommessungen im marinen Bereich:** Abb.3 zeigt ein Wärmestromprofil von der Mt Howard-Bohrung bis zur DSDP Site 270 inmitten des Ross-Meeres. Sieht man von der Dry Valley Bohrung ( $79 \text{ mW/m}^2$ ) ab, die, in einem Tal gelegen, möglicherweise durch zirkulierendes Tiefengrundwasser gestört ist (im Umfeld sind warme Quellen bekannt), scheint sich das eingangs gezeichnete Bild über den Wärmestromkontrast Kraton - Extensionsbecken zu bestätigen. Erstaunlich ist jedoch die Variabilität von  $q$  im marinen Bereich. Zum Vergleich sei hier das Ergebnis japanischer  $q$ -Messungen (Kaminuma & Nagao, 1983) im marinen Bereich entlang eines Profils von der Küste Enderby Lands nach Norden gezeigt (Abb. 4). Der Wärmestrom sinkt in dieser geodynamisch in der jüngeren Vergangenheit nicht gestörten Region systematisch von hohen Werten um  $200 \text{ mW/m}^2$  auf den für alte kratonische Kruste zu erwartenden Wert um  $40 \text{ mW/m}^2$  ab. Dieses Ergebnis ist nur deutbar, wenn man für die erhöhten Werte eine von der Küste nordwärts abnehmende Störkomponente annimmt. Als wahrscheinlichste Quelle kommen aufströmende Tiefenwasser in Frage.

In meinem DFG-Abschlußbericht (De 442/1-3; "Wärmestrom Antarktis") habe ich darauf verwiesen, daß unter Teilen der Zentralantarktis Schmelzwasser unter hoher Eisauflast existieren müssen, die bei genügender Klüftpermeabilität im Grund-

gebirge lateral zur Küste abwandern und dort im marinen Bereich aufsteigen würden. Die Tatsache, daß im unmittelbaren Küstenbereich sowohl im Ross-Meer (siehe Abb. 3, DIZ-Werte um  $110 \text{ mW/m}^2$ ; aus Della vedova et al., 1992) als auch im Enderby Land immer hohe q-Werte gemessen werden, läßt es immer wahrscheinlicher werden, daß sich die postulierte Tiefenzirkulation der Schmelzwasser tatsächlich auswirkt.

Um diese Frage weiter zu klären, wird in der BGR derzeit, auch im Hinblick auf die anstehende Expedition nach Dronning Maud Land, eine Wärmestromsonde für den marinen Bereich entwickelt, die von einem Schlitten aus durch eine Öffnung im Packeis zum Meeresboden abgelassen werden kann (Abb. 5). Vergleichbar mit dem japanischen Ansatz soll auch hier versucht werden zu klären, ob auch in Dronning Maud Land Belege für den genannten Tiefenwasser-Zirkulationsprozess gefunden werden können. Sollte dieser Nachweis gelingen, wäre die Interpretation der heute aus dem Ross-Meer bekannten q-Werte zu modifizieren. Für die in Küstennähe beobachtbaren geothermischen Anomalien brauchten keine speziellen geodynamischen oder tektonischen Ursachen mehr herangezogen werden. Unser Bild von der Eis-Massenbilanz der Ostantarktis wäre zu modifizieren.

**Weitere Ergebnisse:** Die q-Messungen zu Land wären in der vorgestellten Form nicht möglich, wenn sich analog zur Arktis eine rezente Klimaerwärmung um ca.  $4^\circ\text{C}$  eingestellt hätte. Der Temperaturverlauf in der Bohrung am Mt Howard (Abb. 2) zeigt eindeutig einen linearen Verlauf, der bei einer eintretenden Klimaschwankung nicht gegeben wäre. Durch q-Messungen an Land während GEOMAUD soll auch geklärt werden, ob diese Aussage auch für Dronning Maud Land zutrifft. Eine weiterhin nicht restlos geklärte Frage betrifft das Problem der wahrscheinlichen Schwankungen der Eisstände in den letzten Jahrtausenden. Begleitend zu den q-Messungen in Dronning Maud Land wird angestrebt, über glazialgeologische Beobachtungen und auch über die Messung sog. "rock exposure ages" (in Kooperation mit Dr. Herpers, Univ. Köln) diesbzgl. Informationen zu erhalten. Angaben über die Situation in Victoria Land sind in Delisle (1993) enthalten.

#### Literatur:

- Delisle G.: Global Change, Antarctic Meteorite Traps and the East Antarctic Ice Sheet. - *Journal of Glaciology*, Vol. 39, No. 132, 397-408, 1993.
- Delisle G.: Subice topography and its implications on the glacial erosion history and tectonic evolution of Victoria Land during the Cenozoic. - *Terra Antarctica*, 1(2), 441-443, 1994.
- Delisle G.: Measurement of terrestrial heat flow in glaciated terrain. - *TERRA ANTARCTICA*, 1(3), (in press), 1994.
- Della Vedova B., Pellis G., Lawver L.A., Brancolini G.: Heat flow and tectonics of the Western Ross Sea. - In: Yoshida Y., Kaminuma K., Shiraishi S., (Eds.) *Recent Progress in Antarctic Earth Science*, Terra Scientific Publ. Comp. (TERRAPUB), Tokio, 627-638, 1992.
- Kaminuma K., Nagao T.: Heat flow measurements in Lutzow-Holm Bay, Antarctica - A preliminary study. - In: Oliver R.L., James P.R., Jago J.B. (Eds.), *Antarctic Earth Science, Proc. of IV Int. Symp. on Ant. Earth Sciences*, Adelaide, Australian Academy of Science, Canberra, 115-518, 1983.
- Stern T.A., TenBrink U.: Flexural uplift of the Transantarctic Mountains, *JGR* 94(B8), 10315-10330, 1989.
- Zeibig M., Delisle G.: Drilling into Antarctic ice - the new BGR ice drill. - *Polarforschung*, (in press), 1994.



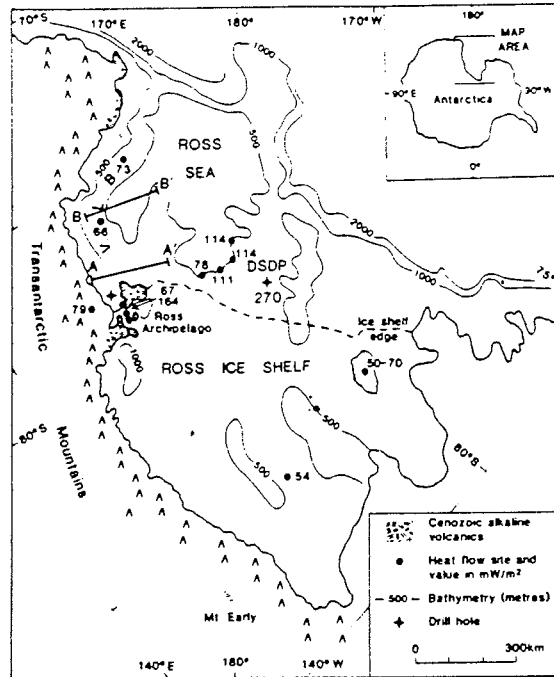


Abb. 1: Wärmestrommessungen im Ross-Meer (aus. Stern & TenBrink, 1989).

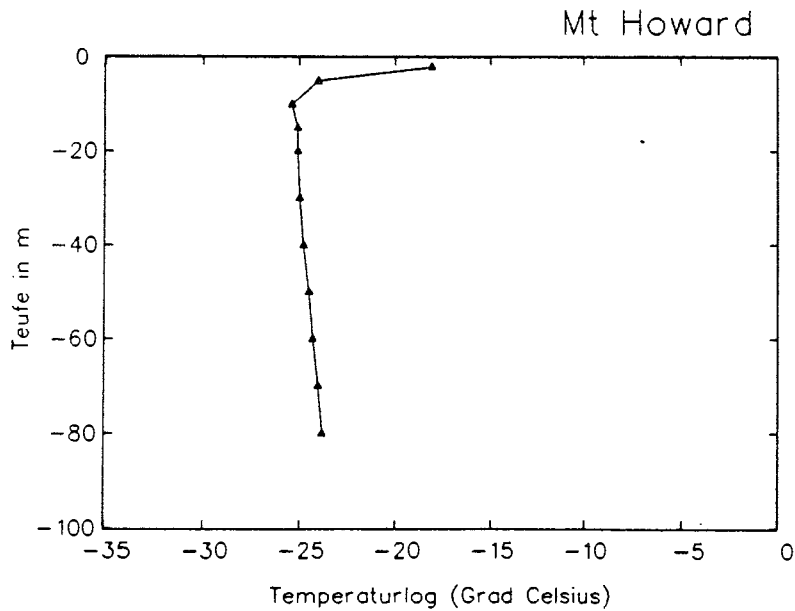


Abb. 2: Gemessener Temperaturverlauf in der Bohrung Mt Howard (Victoria Land). DFG-Projekt De 442/1-3, Wärmestrom Antarktis

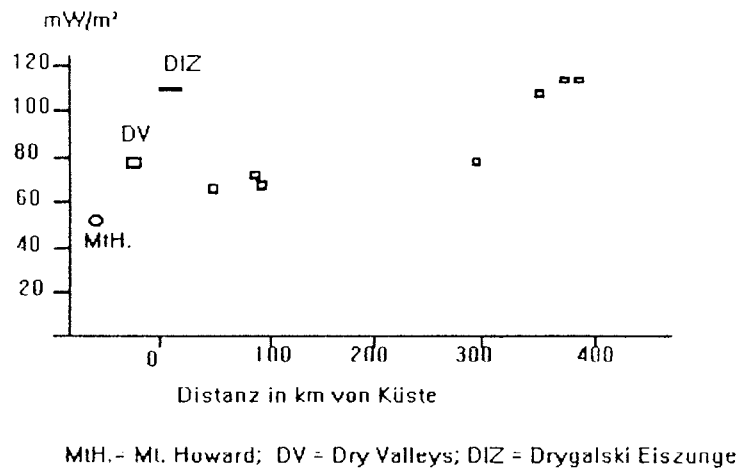


Abb. 3: Wärmestromwerte entlang eines Profils von Victoria Land zur DSDP Site 270 (siehe zu Daten auch Abb. 1)

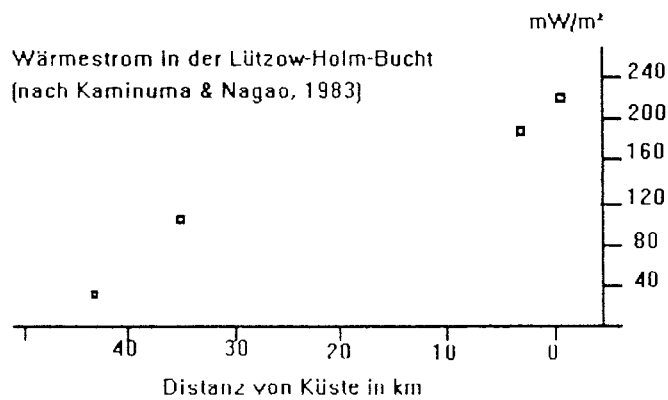


Abb. 4: Wärmestromwerte entlang eines Profils von der Küste Enderby Lands seewärts.

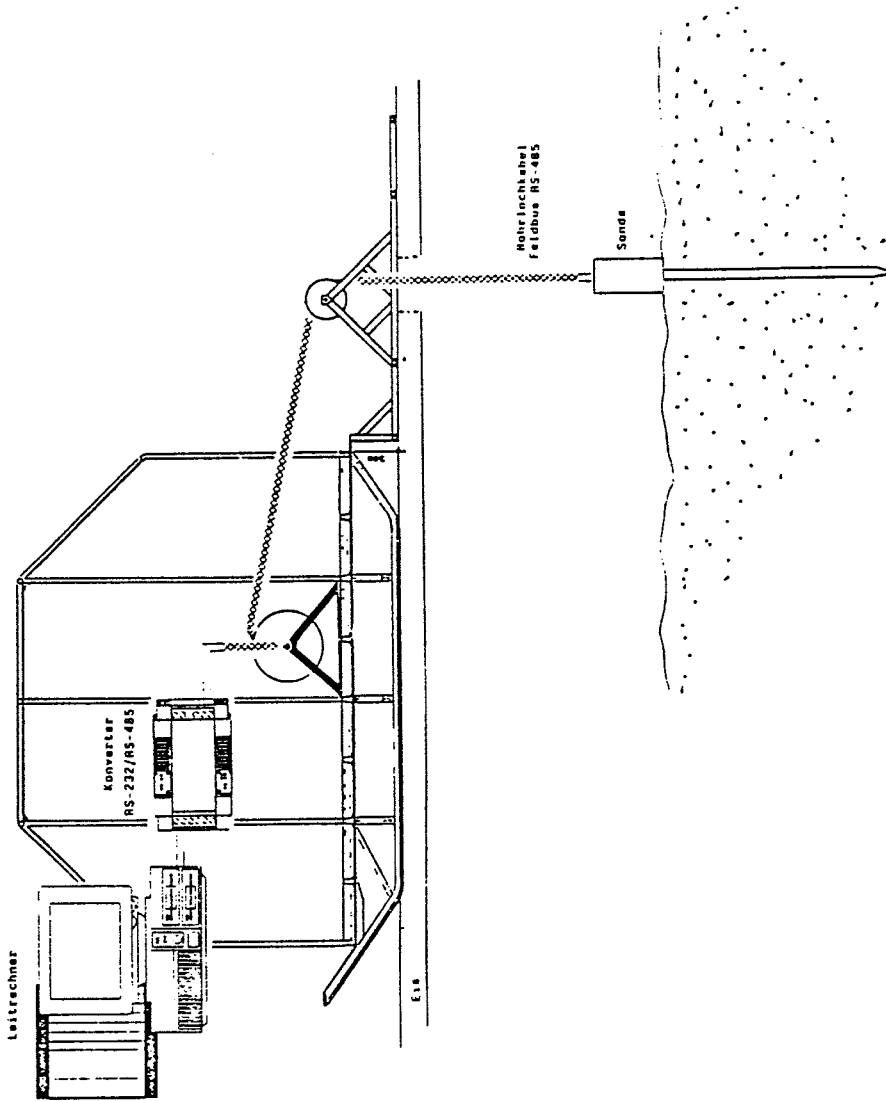


Abb. 5: Konfiguration der Meßapparatur. Der Schlitzen wird per Hubschrauber zum Einsatzort transportiert. Die Meßsonde wird vom Schlitzen aus gefahren. Die Meßdatenaufnahme erfolgt digital im Schlitzen. Die typische Wassertiefe an den geplanten Einsatzorten beträgt 500 m.

A) ANTARKTIS - Herzstück des südlichen Superkontinents.  
seine Bildungs- und Zerfallsphasen

- 3) Zerfallsprozesse des südlichen Superkontinents (Gondwana)  
und rezente Krustenstruktur
- c) Weddell-Meer-Bereich

mit Beiträgen von

Jacobs, J., Kaul, N., & Weber, K.  
Jokat, W. & Miller, Heinz  
Boldt, G., Degutsch, M. & Kösters, M.

## **Tektono-thermische Entwicklung des Kontinentalrands im Bereich der östlichen Weddell See**

Joachim Jacobs<sup>1</sup>, Norbert Kaul<sup>2</sup> und Klaus Weber<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Geologie und Dynamik der Lithosphäre, Göttingen, <sup>2</sup>Fachbereich 5, Geowissenschaften, Bremen

### **Einleitung**

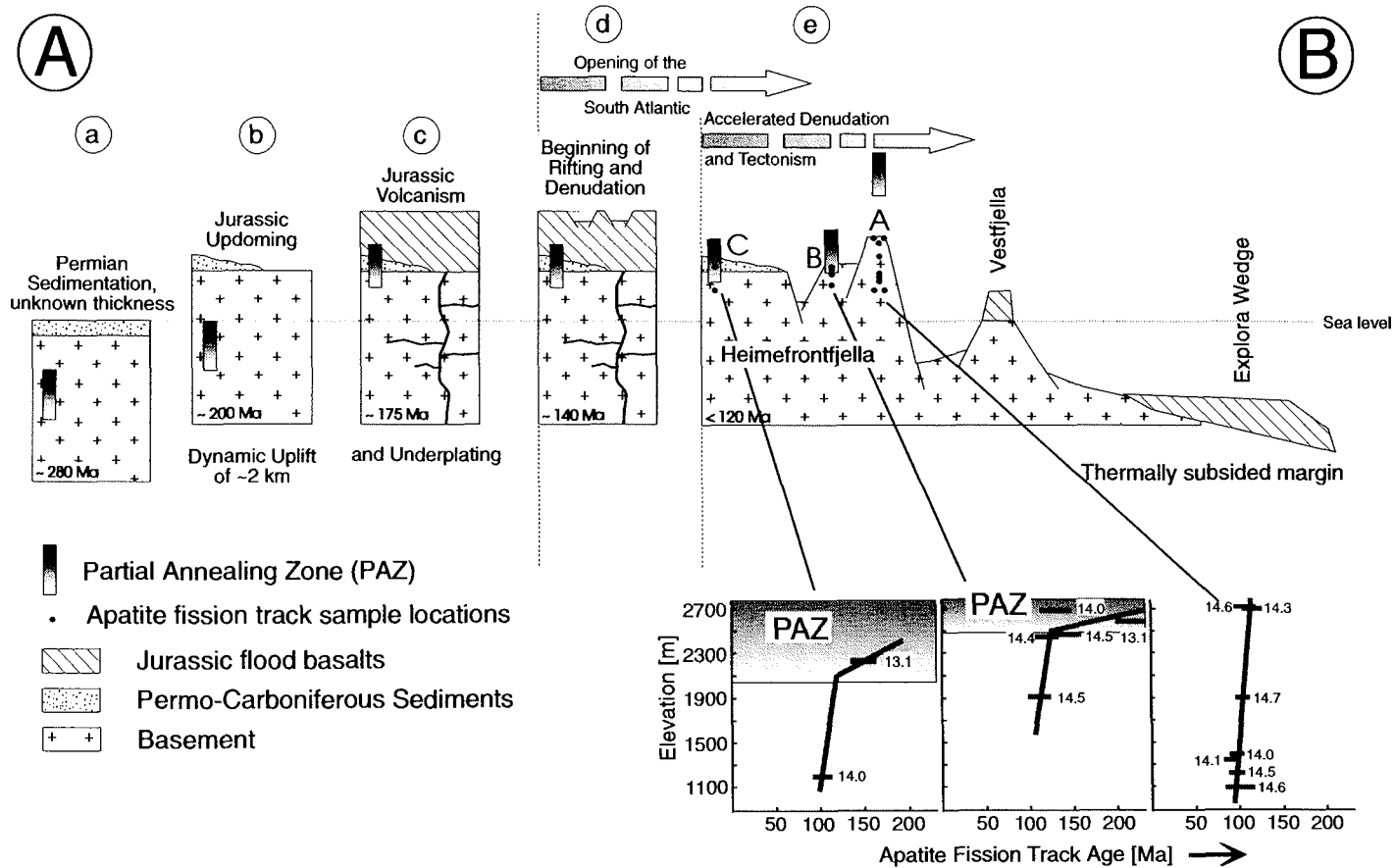
Zeitpunkt und Prozeß des Gondwanazerfalls kann sowohl anhand der tektonothermischen Geschichte der entstehenden Kontinentalränder als auch anhand der Sedimentationsgeschichte auf den Schelfs bzw. Küstenplateaus modelliert werden: Der Kontinentalrand im Bereich der östlichen Weddell See entwickelte sich im Jura während des initialen Rifting zwischen Ost- und West-Gondwana. Dieser Bereich des antarktischen Kontinentalrands hat für die Kenntnis der initialen Gondwanafragmentierung eine besondere Bedeutung.

Der Begriff Kontinentalrand wird in der folgenden Darstellung für den Saum des Kontinents verwendet, der vom Rifting betroffen wird; das ist der Bereich vom Schelf bis einige 100 km kontinenteinwärts. Rifting führt im Bereich des Kontinentalrands zu einem erhöhten topographischen Relief und bewirkt dadurch hohe Abtragungsraten. Der Beginn dieser beschleunigten Abtragungsgeschichte kann mit der Spaltspurmethode an Apatit bestimmt und modelliert werden. Die Ablagerungsgeschichte auf dem angrenzenden Schelf bzw. Küstenplateau wird mit marin-geophysikalischen Methoden und Bohrungen erschlossen. In diesem Projekt wurde die Abtragungsgeschichte der Heimefrontfjella (ca. 500 km südlich der Neumayer Station), abgeleitet aus Apatit-Spaltspurdaterungen, mit der Sedimentationsgeschichte, abgeleitet aus marin-geophysikalischen Daten und ODP Bohrungen, auf dem Küstenplateau westlich Kap Norwegias verglichen.

### **Geochronologische Quantifizierung der Abtragungsgeschichte mittels Spaltspurmethode**

Mit Hilfe der Spaltspurmethode können Abkühlungs-, Abtragungs- und Hebungsgeschichten in der kontinentalen Kruste modelliert werden. Dabei ist die Spaltspurmethode an Apatit eine sensitive Methode zur Ableitung der Temperaturgeschichte unterhalb 120°C. In der Heimefrontfjella wurden drei vertikale Profile beprobt und mit der Populationstechnik datiert (Jacobs, 1991; Jacobs et al., 1992). In einem tektonisch ungestörten Höhenprofil erwartet man eine positive Korrelation von Spaltspuraltern und Höhe. Aus der Alterszunahme mit der Höhe kann dann auf Abkühlungs-, Hebung- und Abtragungsraten geschlossen werden.

In der Heimefrontfjella wird das ca. 1100 Ma alte metamorphe Grundgebirge von permo-karbonen Sedimenten diskordant überlagert. Dies beweist, daß das Basement bereits im Paläozoikum auf Oberflächentemperatur abgekühlt gewesen sein muß. Die Apatit-Spaltspuralter weisen jedoch jüngere Alter zwischen 230 und 90 Ma auf. Das Basement muß also post-permisch auf Temperaturen > 100°C erwärmt worden sein. Die Spaltspuralter fallen in zwei Altersgruppen. Proben mit Altern zwischen 125 und 90 Ma weisen überwiegend lange Spuren auf. Dies deutet darauf hin, daß diese Proben den Bereich partieller Spurenverheilung (120-60°C) schnell durchschritten haben und demzufolge als Abkühlalter interpretiert werden müssen.



**Abb. 1:** Tektono-thermische Entwicklung des Kontinentalsaums seit dem Jura. Karbon bis Perm: Ablagerung fluviatiler und flach-mariner Sedimente (a). Der 'Bouvet hot spots' führt im Jura zur dynamischen Hebung des Kontinentalrands um ca. 2 km (b). Effusion von 2-3 km Karoo Flutbasalten vor ~180 Ma (c) und Temperung des Basement  $\geq 100^\circ\text{C}$ . Einsetzen intensiver Störungstektonik als Folge der Öffnung des Südatlantiks (d). Rezentes Profil (e).

Im Gegensatz dazu weisen die Proben, die Alter größer als 125 Ma ergaben, einen relativ großen Anteil verkürzter Spuren auf. Das post-permische thermische Ereignis hat in diesen Proben nicht zur vollständigen Ausheilung der Spaltspuren geführt. Diese Alter müssen deshalb als Mischalter interpretiert werden.

Wir vermuten, daß Basement und Sedimente während des initialen Gondwanazerfalls von einer Schicht jurassischer Flutbasalte überlagert waren, wie sie heute noch in Vestfjella aufgeschlossen, aber in der Heimefrontfjella nur noch in wenigen Erosionsresten erhalten ist. Diese Basalte wurden mit ca. 180 Ma datiert und finden ihre Äquivalente in den Karoo Basalten Südafrikas (Rex, 1972; Fitch & Miller, 1984). Diese Basaltschicht hat zur Basementversenkung, dem langsamen Anstieg der Isothermen und der subsequenten Ausheilung bzw. Temperung des Apatit-Spaltspursystems geführt. Die Spaltspuralter, die Mischalter ergaben, befinden sich in der Nähe der permo-karbonen Landoberfläche. Hier können die Temperaturen also ca. 100°C nicht überschritten haben. Dies ermöglicht eine grobe Quantifizierung der Überlagerungsmächtigkeit der jurassischen Basalte. Diese muß, abhängig vom jurassischen thermischen Gradienten, ~2-3 km betragen haben. In zwei von drei Profilen ist ein deutlicher Altersknick vorhanden, der den Übergang von reinen Abkühlaltern in den unteren Profilbereichen zu Mischaltern in den oberen Profilbereichen indiziert (Abb. 1). Dieser Altersknick indiziert gleichzeitig den Beginn schneller Abkühlung, also vermutlich dem Einsetzen von tektonischer Aktivität und Abtragung. Die Probe mit dem größten Abkühlalter hat ein Alter von 125 Ma. Mit der üblichen positiven Korrektur muß ein Alter von ca. 140 Ma für das Einsetzen von Störungstektonik angenommen werden. Die jurassische Basaltschicht hat also ca. 40 Ma das Basement der Heimefrontfjella getempert, bevor sie in bedeutendem Maße wieder erodiert wurde. Es dauerte also vermutlich 40 Ma bis das Gondwanarifting auch den Bereich der Heimefrontfjella erfaßte. Die Altersknicke treten in den verschiedenen Profilen in unterschiedlichen Höhenlagen auf, so ist er in Profil A (Abb. 1) überhaupt nicht aufgeschlossen; er muß hier bereits erodiert sein. Das beweist, daß verschiedene Basementblöcke der Heimefrontfjella unterschiedlich stark herausgehoben wurden und daß sich zwischen den Profilen Störungen mit differentiellen Verwerfungsbeträgen von bis zu 3000 m befinden müssen. Die tektono-thermale Geschichte der Heimefrontfjella ist in Abb. 1 zusammenfassend dargestellt.

### **Sedimentationsgeschichte auf dem Küstenplateau vor Kap Norwegia.**

Das untersuchte Küstenplateau um Kap Norwegia ist ~ 40-80 km breit. Seine nördliche Begrenzung bildet das Explora Escarpment, das den Übergang zur ozeanischen Kruste der Weddell See markiert und als dextrale Blattverschiebung zwischen Ost- und Westgondwana interpretiert wird (Hinz & Krause, 1982; Henriot & Miller, 1990; Miller et al., 1990; Kaul, 1991). Das Basement des Küstenplateaus zeichnet sich durch seewärts einfallende Reflektoren aus, die als jurassische Basalte interpretiert werden (Hinz und Krause, 1982) und für die deshalb ein Alter von 180 Ma angenommen wird. Das Basement wird von einer bis zu drei km mächtigen Sedimentschicht überlagert, die teilweise von den ODP-Bohrungen 692 und 693 durchteuft wurde. Die sedimentare Abfolge kann in fünf deutlich unterschiedliche Einheiten (W1-W5) untergliedert werden, die von den Reflektoren w1-w5 getrennt werden. Die beiden liegenden Einheiten W1 und W2 sind bis zu 2000 m mächtig, dickbankig und zeichnen sich durch markante on laps aus. Dies deutet auf schnelle Schüttungen hin. Nimmt man für die Hangendgrenze (w3) ein Alter von 140 Ma an (s. unten), dann ergibt sich eine Sedimentationsrate von > 60 m/Ma für die Lie-

gendserie (W1 und W2). Die Diskordanz w3 markiert den Übergang von schneller Sedimentation zu einem hemipelagischen bis pelagischen ruhigen Sedimentationsmilieu. w3 markiert außerdem die Terminierung der dextralen Scherung entlang des Explora Escarpments, da die Hangendserie (W3-W5) das Explora Escarpments ungestört überlagern. Die Hangendserie ist ca. 1000 m mächtig und weist einen großen Hiatus (w4) von ~60 Ma auf. Die ältesten durch ODP-Bohrungen erbohrten Sedimente konnten mit Hilfe von Nannofossilien auf ca. 140 Ma datiert werden (Doyle, 1990; Mohr, 1990; Mutterlose, 1990). Dadurch läßt sich eine Sedimentationsrate von ~15 m/Ma für die Hangendserie ableiten.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die Sedimentation auf dem Küstenplateau vor Kap Norwegia mit hohen Schüttungsbeträgen von > 60 m/Ma vom mittleren bis oberen Jura begann und in der Kreide von bedeutend geringeren Sedimentationsraten unter pelagisch- bis semipelagischen Bedingungen abgelöst wurde. In der Hangendserie treten zwei größere Hiati auf, einer markiert wahrscheinlich den Übergang vom Jura zur Kreide, der andere den Zeitraum von der Grenze Alb/Apt bis Oligozän.

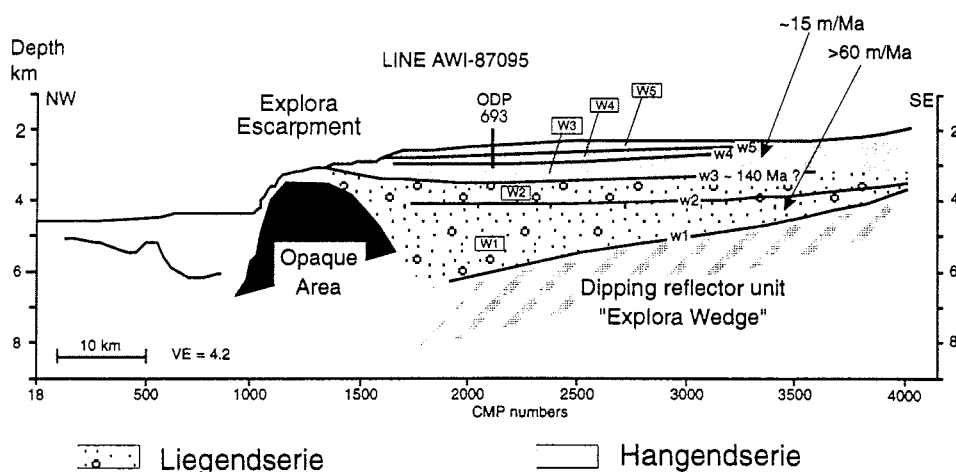


Abb. 2: Das Profil AWI-87095 zeigt eine bis zu 3 km mächtige Sedimentabfolge, die den 'Explora Wedge' überlagert. Die Sedimente können in eine Liegendserie, die durch schnelle Schüttungsraten (> 60 m/Ma) charakterisiert ist, und eine Hangendserie, mit niedrigeren Sedimentationsraten (~15 m/Ma), untergliedert werden. Die beiden Abfolgen werden von einem ausgeprägten Erosionshorizont (w3) voneinander getrennt.

### Diskussion der Ergebnisse

Apatit Spaltspuruntersuchungen an prakambrischen Gesteinen der Heimefrontfjella haben gezeigt, daß das Basement durch die Überlagerung einer ca. 2-3 km mächtigen jurassische Basaltschicht auf Temperaturen von 2100° C für ca. 40 Ma erwärmt wurde. In der Unterkreide wurde das Gebiet der Heimefrontfjella vom Gondwana-Riftprozeß erfaßt, in dessen Folge die Basaltschicht wieder abgetragen wurde. Dies dokumentiert sich in den Apatit-Spaltspur Abkühlaltern. Dieses Er-



gebnis steht zunächst im Widerspruch zu der Sedimentationsgeschichte auf dem Küstenplateau bei Kap Norwegia, wo die frühe Riftphase von 180-140 Ma durch hohe Sedimentationsraten belegt ist. Von der Unterkreide an - als in der Heimfrontfjella schnell abgetragen wurde - ist jedoch nur noch ein geringer Detrituseintrag dokumentiert.

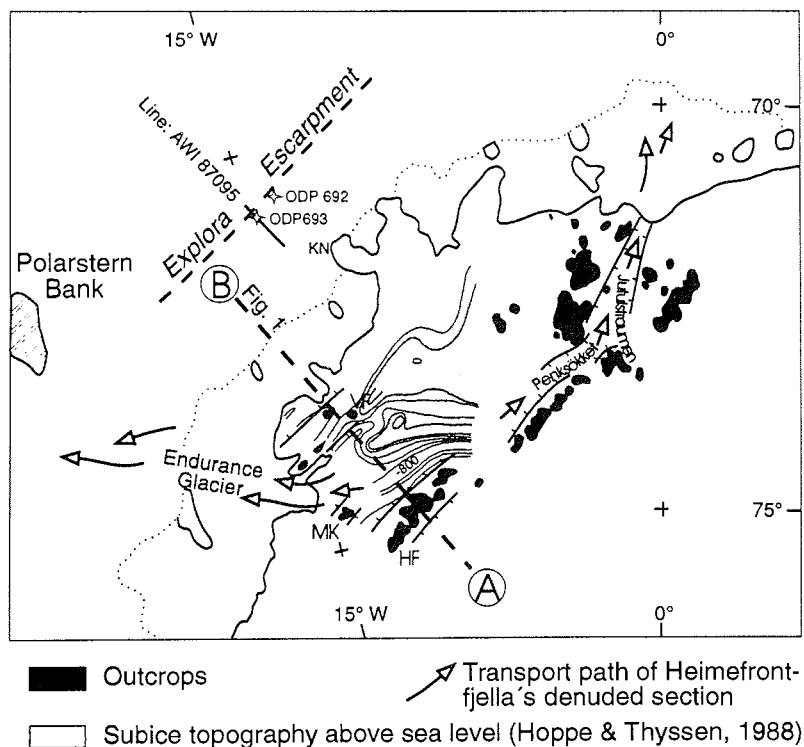


Abb. 3: Vermutete Transportrichtung des Abtragungsschutt der Heimfrontfjella. Da es keine Hinweise für die Existenz des kretazischen Abtragungsschutt auf dem Küstenplateau vor Kap Norwegia (KN) gibt, wird vermutet, daß dieser entlang tiefer Gräben in Richtung Endurance Gletscher sowie durch den Jutul-Penck Graben abtransportiert wurde. Zwischen dem bis zu -800 m tiefen, der Heimfrontfjella vorgelegerten Graben, und dem Küstenplateau befindet sich außerdem ein topographisches Hoch, so daß es auch sehr unwahrscheinlich ist, daß die kretazischen Abtragungsprodukte das Küstenplateau auf direktem Wege erreicht haben könnten. Subeis Isolinienabstand ist 200 m.

Dies kann nur so interpretiert werden, daß sich während der frühen Riftphase (180-140 Ma) der Riftprozess auf einen schmalen Saum des Kontinentalrandes beschränkte, bald von den dextralen transpressionalen und transtensionalen Bewegungen entlang des Explora Escarpments abgelöst wurde, und erst in der Kreide weiter ins Hinterland übergrieff, wo dann auch der Bereich der Heimfrontfjella erfaßt wurde. Es stellt sich jedoch die Frage, wohin der Abtragungsschutt der Heimfrontfjella transportiert wurde. Nördlich der Heimfrontfjella befindet sich ein tiefes Grabensystem, welches ungefähr parallel zur Langserstreckung der Heimfrontfjella verläuft (Hoppe und Thyssen, 1988) und vermutlich mit dem Jutul-Penckgra-

ben korreliert werden kann (Abb. 3). Da es keine Hinweise auf die Abtragungsprodukte der Heimefrontfjella auf dem Küstenplateau bei Kap Norwegia gibt, vermuten wir, daß der Abtragungsschutt in westlicher Richtung durch ein Grabensystem, welches heute vom Endurance Gletscher eingenommen wird, und in nordöstlicher Richtung durch den Jutul-Penck Graben abtransportiert wurde (Abb. 3).

#### Literatur

- Doyle, P., Crame, J.A. and Thompson, M.R.A., 1990. Late Jurassic-Early Cretaceous microfossils from Leg 113, Hole 692b, Eastern Weddell Sea. In: *Barker, P.F., Kennett, J.P., et al. (ed) Proceedings ODP, Scientific Results, 113: 443-447, College Station, TX ODP.*
- Fitch, F.J. and Miller, J.A., 1984. Dating Karoo igneous rocks by the conventional K-Ar and <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar age spectrum methods. *Spec. Publ. Geol. Soc. S. Afr., 13, 247-266.*
- Henriet, J.P. and Miller, H., 1990. Some speculations regarding the nature of the Explora-Andenes Escarpment, Weddell-Sea. In: *Bleil, U. and Thiede, J. (eds) Geological history of the polar oceans: Arctic versus Antarctic, 163-169.*
- Hinz, K. and Krause, W., 1982. The Continental Margin of QueenMaud Land, Antarctica: Seismic sequences, structural elements and geological development. *Geol. Jahrbuch, E23: 17-41.*
- Hoppe, H. and Thyssen, F., 1988. Ice thickness and bedrock elevation in western Neuschwabenland and Berkner island, Antarctica. *Annals of Glaciology, 11: 42-45.*
- Jacobs, J., 1991. Strukturelle Entwicklung und Abkühlungsgeschichte der Heimefrontfjella (Westliches Dronning Maud Land / Antarktika). *Ber. Polaff., 97: 141 pp.*
- Jacobs, J., Hejl, E., Wagner, G.A. and Weber, K., 1992. Apatite fission track evidence for contrasting thermal and uplift histories of metamorphic basement blocks in western Dronning Maud Land. In: *Yoshida, Y., Kaminuma, K. and Shiraishi, K (eds) Recent progress in Antarctic earth science. TERRAPUB, Tokyo, 323-330.*
- Kaul, N., 1991. Detaillierte seismische Untersuchungen am östlichen Kontinentalrand des Weddellmeeres vor Kapp Norwegia, Antarktis. *Berichte zur Polarforschung, 89, 120 pp.*
- Miller, H, Henriett, J.P., Kaul, N. and Moons, A., 1990. A fine-scale seismic stratigraphy of the eastern margin of the Weddell Sea. In: *Bleil, U. and Thiede, J. (eds) Geological history of the polar oceans: Arctic versus Antarctic, 131-161.*
- Mohr, B.A.R., 1990. Early Cretaceous Palynomorphs from ODP Sites 692 and 693, the Weddell Sea, Antarctica. In: *Barker, P.F., Kennett, J.P. (eds) Proceedings ODP, Scientific Results, 113: 449-464, College Station, TX ODP.*
- Mutterlose, J., Sherwood, W. and Wise, W., 1990. Lower Cretaceous nannofossil biostratigraphy of ODP Leg 113 Holes 692b and 693a, continental slope off East Antarctica, Weddell Sea. In: *Barker, P.F., Kennett, J.P., et al. (eds) Proceedings ODP, Scientific Results, 113, 325-351, College Station, TX ODP.*
- Rex, D.C., 1972. K-Ar age determinations on volcanic and associated rocks from the Antarctic Peninsula and Dronning Maud Land. In *Adie, R.J. (ed) Antarctic geology and geophysics. Universitetsforlaget, 133-136; Oslo.*

## **Tektonische Entwicklung des Weddellmeeres Neue geophysikalische Ergebnisse**

Wilfried Jokat und Heinz Miller  
Alfred Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven

### Einführung

Der antarktische Kontinent ist mit ca. 14 Millionen km<sup>2</sup> Fläche etwa so groß wie Nordamerika (USA, Kanada). Allerdings ist der geologische Aufbau des Kontinents aufgrund der Eisbedeckung (98% der Gesamtfläche) nur in den Teilbereichen bekannt, wo Gebirge bzw. größere Flächen nicht vom antarktischen Eisschild bedeckt sind. Diese eisfreien Regionen sind die Zielgebiete geologischer Expeditionen, um erste Erkenntnisse über die geologische Geschichte (Entstehungsgeschichte, Alter) zu sammeln. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen liefern u.a. wichtige Randbedingungen für die Interpretation von maringeophysikalischen und marin-geologischen Daten, die in den Randmeeren der Antarktis gewonnen werden. So werden z.B. die geologisch kartierten vulkanischen Gesteine des Dronning Maud Landes mit dem beginnenden Auseinanderbrechen des Südkontinentes Gondwana in Verbindung gebracht. Die Datierung dieser Gesteine liefert ein Alter von 200-180 Millionen Jahren für dieses einschneidende geologische Ereignis. Auch die Position der Ostantarktis relativ zu Südafrika konnte durch entsprechende Kartierungen auf beiden Kontinenten eingegrenzt werden. Hinweise zur jüngeren, geologischen Geschichte (jünger 180 Millionen Jahre) findet man allerdings überwiegend in den marinen Sedimenten und in der Verteilung der kontinentalen bzw. ozeanischen Kruste. Daher sind die Ergebnisse der marin-geophysikalischen Experimente notwendige Ergänzungen, um auch diesen geologischen Zeitraum abzudecken. Für den Bereich der Ostantarktis/Westantarktis/Weddell Meer haben sich für die oben beschriebene Problemstellung zwei Regionen als außerordentlich wichtig herausgestellt:

Das Filchner-Rønne Schelf. Dieses Gebiet liegt zwischen der Ost- und Westantarktis (Abb. 1). Zur Erklärung von paläomagnetischen Daten bzw. geologischen Kartierungen (Grunow, 1993; Dalziel und Elliot, 1982) werden für diese Region verschiedene geodynamische Entwicklungen postuliert. Sie beinhalten überwiegend umfangreiche Bewegungen von Mikroplatten (z.B. Ellsworth-Whitmore Mountains). Keines dieser außerordentlich dynamischen Modelle konnte allerdings bisher durch weitere geophysikalische Daten bestätigt werden.

Die Kontinent-Ozean Grenze des Ostantarktis im Bereich des Weddell Meeres. Für die Rekonstruktion des Südkontinentes Gondwana ist der Verlauf dieser geologischen Struktur entscheidend. Während ihr Verlauf für den Bereich des Explora Escarpments (0°W bis 20°W) in der Literatur kaum kontrovers diskutiert wird, ist die Interpretation der Andenes Struktur als Kontinent-Ozean Grenze umstritten (Kristoffersen und Haugland, 1986; Hinz und Kristoffersen, 1987; Lawver et al., 1991). Der Verlauf dieser Übergangszone im südwestlichen Weddell Meer (20°W bis 55°W) beeinflusst entscheidend die zulässige Zahl der möglichen plattentektonischen Modelle dieser Region.

### Datenbasis

Seit 1984 sind vom Alfred Wegener Institut (AWI) in diesen beiden Gebieten u.a. marin-geophysikalische Programme (Schwerpunkt Reflexions-/Refraktionsseismik) durchgeführt worden. Während die reflektionsseismischen Daten das existierende Profilnetz (seit 1978 durch die Universität Bergen, Norwegen und der Bundesan-

stalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover vermessen; Hinz und Kristoffersen, 1987) verdichteten bzw. ergänzten, sind die dicht vermessenen Land/See Refraktionslinien (seism. Quelle - Airgun/Schiff; seism. Aufzeichnungseinheit - Land/Eis) in dieser Region ein Novum. Sie erlaubten zum ersten Mal eine detaillierte Interpretation der Krustenstruktur in Teilbereichen des Filchner-Rønne Schelfs (Hübscher, 1994). Ergänzend zu den seismischen Daten wurden ferner marine Schwere- und Magnetikdaten während mehrerer Expeditionen gewonnen. Diese Daten haben sich für eine integrierte geophysikalische Interpretation der vorhandenen geologischen Strukturen als unabdingbar erwiesen. Ferner konnte nach dem Start des europäischen Satelliten ERS-1 auch für das südliche Weddellmeer eine Altimeter Karte (Freiluftschwere) erstellt werden. Aufgrund der zum Teil dichten bzw. variablen Eisbedeckung konnte diese Karte jedoch erst nach intensiver Datenverarbeitung erstellt werden. Die nun flächig vorhandenen Potentialfelddaten (Aeromagnetik, Schwere, Altimeter) sowie die neu gewonnenen Reflexions- und Refraktionsdaten machen eine Modifikation des existierenden geodynamischen Modells für das Weddell Meer notwendig.

#### Ergebnisse

Zu der notwendigen Modifikation des geodynamischen Modells der Weddellmeer Region haben im wesentlichen drei Resultate entscheidend beigetragen:

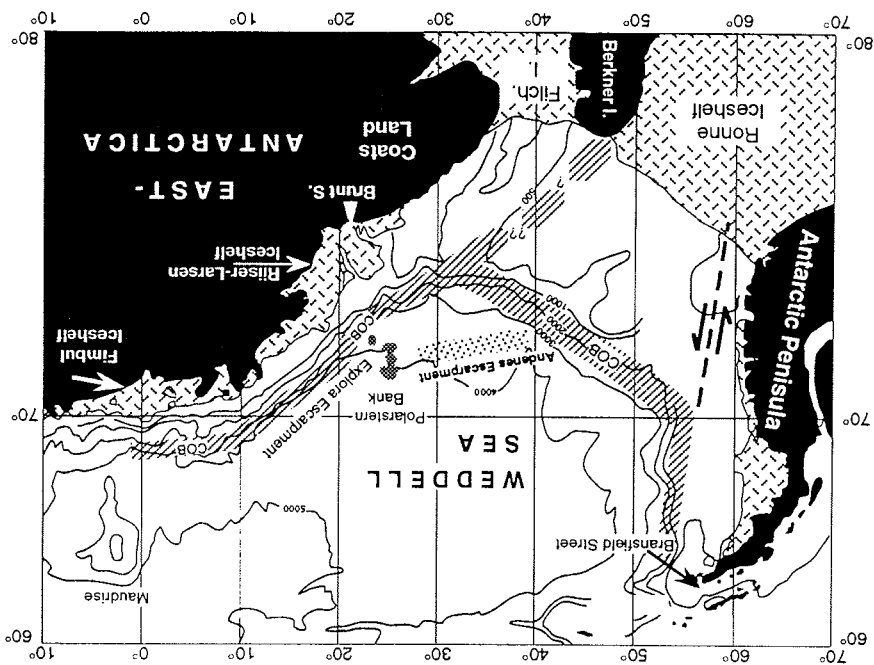
Die seismischen Experimente im Bereich des vermuteten Explora-Andenes Escarpments (EAE) haben gezeigt, daß keine strukturelle Verbindung zwischen den beiden Strukturen (Explora und Andenes) existiert. Die seismischen Daten zeigen vielmehr nord-süd streichende Strukturen, die wir als Seamounts (Polarstern Bank; Miller et al., 1990) interpretieren. Konsequenterweise muß die Interpretation des EAE als zusammenhängende Plattengrenze der Ostantarktis in Frage gestellt werden.

Die gemeinsame Kompilation von russischen und britischen aeromagnetischen Daten für den Bereich der Ost- und Westantarktis (Johnson et al., 1992) zeigt eine starke positive magnetische Anomalie, die parallel zur heutigen Küstenlinie der Ostantarktis verläuft. Die Position dieser ausgedehnten Anomalie ist weitgehend identisch mit dem aus den neueren seismischen Profilen postulierten Verlauf der Kontinent-Ozean Grenze.

Qualitativ hochwertige refraktionsseismische Daten parallel zum Filchner Rønne Schelf stützen die Interpretation von russischen Daten in dieser Region, die hier gedehnte kontinentale Kruste postulieren. Dies läßt sich durch eine Position der antarktischen Halbinsel näher zur Ostantarktis mit einer anschließend Westdrift erklären. Unsere Daten zeigen allerdings Unterschiede zur russischen Interpretation in der Mächtigkeit der Sedimente (10 km statt 20 km) unterhalb des Filchner-Rønne Schelf Gebietes. Westlich von 30°W im Bereich der Andenes Struktur und nördlich des Filchner Rønne Schelfs konnten aufgrund der schwierigen Eisbedingungen leider keine neuen marin-geophysikalischen Daten gesammelt werden, um hier die möglichen Modelle weiter einzugrenzen.

Zusammenfassung und Ausblick  
 Obwohl die vorhandenen geophysikalischen Daten weitgehend zweifelstfrei zeigen, daß die Kontinent-Ozean Grenze der Ostantarktis zwischen 0°W und 30°W der heutigen Küstenlinie folgt, sind Aussagen für den südwestlichen Teil des Weddell Meeres weiterhin spekulativ. Die geophysikalische Datenbasis für die Region ist einfach zu dünn.

Abbildung 1  
 Dieses Gebiet markiert den aufgrund der vorhandenen geophysikalischen Daten wahrscheinlichsten Verlauf der Kontinent-Ozean Grenze (COB) im südlichen Weddell Meer. Der Verlauf zwischen 0°W und 30°W ist weitgehend durch seismische Daten sowie Potentialfelddaten gesichert. Spekulation ist die Position dieser Übergangszone nördlich des Filchner-Ronne Schelfs.



Damit bleibt das Weddellmeer die Region der Antarktis, die bzgl. dem Verständnis ihrer geodynamischen Entwicklung seit dem Aufbruch Gondwanas große Lücken aufweist. Die entsprechenden geodynamischen Modelle werden in der Wissenschaft außerordentlich kontrovers diskutiert. Wir hoffen, durch die zukünftige Gewinnung neuer Daten in den beschriebenen Regionen die Zahl der möglichen geophysikalischen Modelle weiter einzugrenzen. Wichtiges Experiment hierfür ist eine dichte tiefenseismische Vermessung der Krustenstruktur vor der Filchner-Rønne Schelfeiskante sowie die Gewinnung von reflexionsseismischen Daten nördlich des Filchner Rønne Schelf Randes.

#### Literatur

- Dalziel, I.W.D. and Elliot, D.H. 1982. West Antarctica: problem child of Gondwanaland. *Tectonics*. 1(1), 3-19
- Grunow, A.M. 1993. Creation and destruction of Weddell Sea floor in the Jurassic. *Geology*, 21, 647-650
- Hinz, K. and Kristoffersen, Y. 1987. Antarctica, recent advances in the understanding of the continental shelf. *Geol. Jb.*, 37, 3-54
- Hübscher, C., 1994. Krustenstrukturen und Verlauf des Kontinentalrandes im Weddell Meer/Antarktis. Ph. D. thesis, Berichte zur Polarforschung, 147.
- 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., Kaminuma, K., Shiraishi, K. (eds.) *Recent progress in Antarctic Earth Science*, 545-553
- Kristoffersen, Y. and Haugland, K. 1986. Geophysical evidence for East Antarctic plate boundary in the Weddell Sea. *Nature* 322, 538-541
- Lawver, L.A., Royer, J.Y., Sandwell, D.T., Scotese, C.R. 1991. Evolution of the Antarctic continental margins. In: Thomsons, M.R.A., Crame, J.A. and Thompson, J.W. (eds) *Geological Evolution of Antarctica*. Cambridge University Press, Cambridge, 533-540
- Miller H.; De Batist, M.; Jokat, W.; Kaul, N.; Steinmetz, S.; Uenzelmann-Neben, G.; Versteeg, W. 1990. Revised Interpretation of tectonic features in the Southern Weddell sea, Antarctica, from new seismic data. *Polarforschung* 60 (1), 33-38

**Reflexionsseismik sowie hochauflösende seismische Verfahren zur Untersuchung von Krustenstrukturen in Polarregionen: Ergebnisse aus dem westlichen Neuschwabenland (Antarktis), methodische Weiterentwicklungen und Perspektiven**

Gerd Boldt, Manfred Degutsch und Michael Kösters  
Institut für Geophysik der Westfälischen Wilhelms-Universität, Münster

Seismische Verfahren ermöglichen die Bestimmung von Struktur und Lithologie der Erdkruste. Dabei werden Auflösungsvermögen und Aufschlußtiefe wesentlich durch Frequenzbandbreite und Stärke der gewählten Anregungsquelle festgelegt. Im Bereich der Antarktis liegen neben umfangreichen marinen seismischen Messungen nur wenige Ergebnisse von reflexionsseismischen Untersuchungen des Übergangsbereichs Eis/Gestein und aus tiefenseismischen Experimenten auf dem Kontinent vor. Derartige Profile sind aber von besonderem Interesse, da sie zur Prüfung und Stützung geologischer Modellvorstellungen dienen. Die geringe Zahl vorhandener seismischer Profile ist begründet in der Problematik der Übertragung hinreichend hoher seismischer Energie aufgrund der physikalischen Eigenschaften der Gradientenschicht im Eis und der hohen Reflexionskoeffizienten an der Grenzfläche Eis/Wasser bzw. Eis/Gestein. Hinzu tritt ein enorm großer logistischer Aufwand für mehrfach überdeckte Reflexionsseismik. Letzteres wurde von unserer Arbeitsgruppe in Münster zum Anlaß genommen, die Streamertechnik auf den Einsatzbereich in Polarregionen zu übertragen (Boldt, 1989; Eiken et al., 1989). Streamertechniken werden heute bei fast allen polaren reflexionsseismischen Profilmessungen international eingesetzt.

Während der Expedition Antarktis-VIII/5 wurde ein 72,4 km langes Reflexionsprofil mit maximal 24-facher Überdeckung im Bereich der Heimefrontfjella vermessen. Es wurde mit einer 96-kanaligen Apparatur mit Aufnehmerabständen von 60 m registriert. Das Schußoffset betrug 120 m, die Ladungsstärken 5 bzw. 10 kg handhabungssicheren Sprengstoff. Aus theoretischen Energieabschätzungen (Robin, 1958) ergaben sich Schußteufen von mindestens 10 m. Geplante zusätzliche hochauflösende Messungen zur Bestimmung der Geschwindigkeitstiefenfunktion im Eis und der Feinstruktur des Übergangsbereiches Eis/Gestein konnten wegen technischer Probleme nicht durchgeführt werden (Degutsch et al., 1991).

Eine Vorstellung von der Fließbewegung des Eises und inneren Strukturen im Eis sowie der Dreidimensionalität des Felsuntergrundes im Bereich Kibergdalen zeigen Ausschnitte zweier elektromagnetischer Reflexionsprofile (Abb. 1). In diesem Bereich ist eine Strukturauflösung aus den reflexionsseismischen Daten nicht möglich. Im weiteren Profilverlauf wird die Grenzfläche Eis/Gestein aus den seismischen Messungen festgelegt (Abb. 2). Genaue Amplitudenauswertungen der Reflexionseinsätze führen Grenzfläche und damit verbunden zu Vorstellungen über das Transmissionsverhalten. Letztere lassen Rückschlüsse auf die Aufschlußtiefe zu. Zur Interpretation der Amplituden der Reflexionseinsätze wurden Modellrechnungen mit der Reflektivitäts-, Finiten Differenzen- und Gauß-Beam-Methode durchgeführt (Kösters, 1994). Alle berechneten synthetischen Seismogrammsektionen berücksichtigen den Verlauf der während der Expedition eingemessenen Oberflächentopographie und der aus den reflexionsseismischen Daten ausgewerteten Morphologie und Tiefenlage der Grenzfläche Eis/Gestein. Variiert wurden die Modelle unter nachstehenden Aspekten, wobei jeweils auch die physikalischen Parameter und die Mächtigkeiten der eingefügten Übergangsschichten in plausiblen Bereichen verändert wurden:

- a) Diskontinuität erster Ordnung mit überlagerter Schicht aus homogenem Eis;
- b) Grenze Firn/Eis als diffuser Streuer;
- c) kontaminiertes Eis unter Druckeinfluß an der Basis der Eisbedeckung;
- d) Schicht mit Moränenmaterial am Grund der Eisbedeckung (Bentley, 1971 );
- e) homogene Eisbedeckung mit unterlagerter Gesteinsschicht, die im oberen Bereich stark verwittert ist und einem Permafrostmodell entspricht;
- f) Überlagerung der abgeleiteten Topographie der Grenzfläche Eis/Gestein mit einer zusätzlichen Rauigkeit in der Größenordnung bis zu einigen Wellenlängen.

Vergleiche zwischen synthetischen und registrierten Einzelschußseismogrammen sowie entsprechend bearbeiteten Constant-Offset- und Stapelsektionen gestatten die beobachteten Signalstrukturen und Amplitudenvariationen zu erklären. Nur in Einzelfällen sind in den realen Daten Diffraktionen von Gesteinsbrocken nahe dem Grund der Eisbedeckung zu erkennen. Die zu geringe räumliche Auflösung und die Tiefpaßfilterung durch die Meßapparatur sind der wesentliche Grund, daß sich im Eis mittransportiertes Material erst mit Abmessungen größer 20 m in den realen Daten durch korrelierbare Signale abzeichnen wird. Dadurch kann die Frage der Existenz und des Aufbaus einer Schicht mit Geröllmaterial ohne den Einsatz einer hochauflösenden Reflexionsseismik nicht abschließend geklärt werden. Die beobachteten Amplitudenvariationen der Reflexionssignale lassen sich im wesentlichen durch eine Kombination der Modellvorstellungen e) und f) in Betrag und Phase sehr gut interpretieren. Hieraus folgt, daß das Transmissionsverhalten dieses Übergangsbereiches entsprechend stark variiert und somit unterlagerte Horizonte ebenfalls starke Amplitudenvariationen zeigen müssen bzw. nur als räumlich begrenzte Reflexionselemente erkennbar sein werden. Dies trifft für die ausgewerteten Signalphasen im Laufzeitbereich bis ca. 2 s zu (Abb. 3 oben).

Im längeren Laufzeitbereich sind nur wenige Reflexionssignale anhand der Energieverteilung innerhalb der Stapelsektion korrelierbar (Abb. 3 unten). Aufgrund der guten Übereinstimmungen zwischen Modellrechnungen und Auswertergebnissen für die Tauchwellen und die primären Reflexionssignale vom Übergangsbereich Eis/Gestein wurden mit unterschiedlichen Krustenmodellen (Hungeling & Thyssen, 1989; Kogan, 1972; Kudryavtzev et al., 1991) quantitative Amplitudenanalysen für den längeren Laufzeitbereich durchgeführt. Sie ergeben, daß bei dem vorliegenden Feldexperiment die Aufschlußteufe unter alleiniger Berücksichtigung von Ladungsstärke, Dynamik der Aufnahmeapparatur und Untergrundmodell bis zur Kruste Mantelgrenze reichen sollte (Abb. 4). Wird der in den realen Daten vorhandene Storpegel in die Überlegungen einbezogen, so sollte die Aufschlußteufe etwa im Bereich von 15 - 20 km liegen. Da in dem entsprechenden Laufzeitbereich nur wenig korrelierbare seismische Energie zu finden ist, kann dieser Tiefenbereich als reflexionsarm angesehen werden. Die zu korrelierenden Signalphasen sind wegen fehlender genauer Geschwindigkeitwerte einem Reflektor um ca. 5 km Tiefenlage sowie einem weiteren um ca. 15 km zuzuordnen.

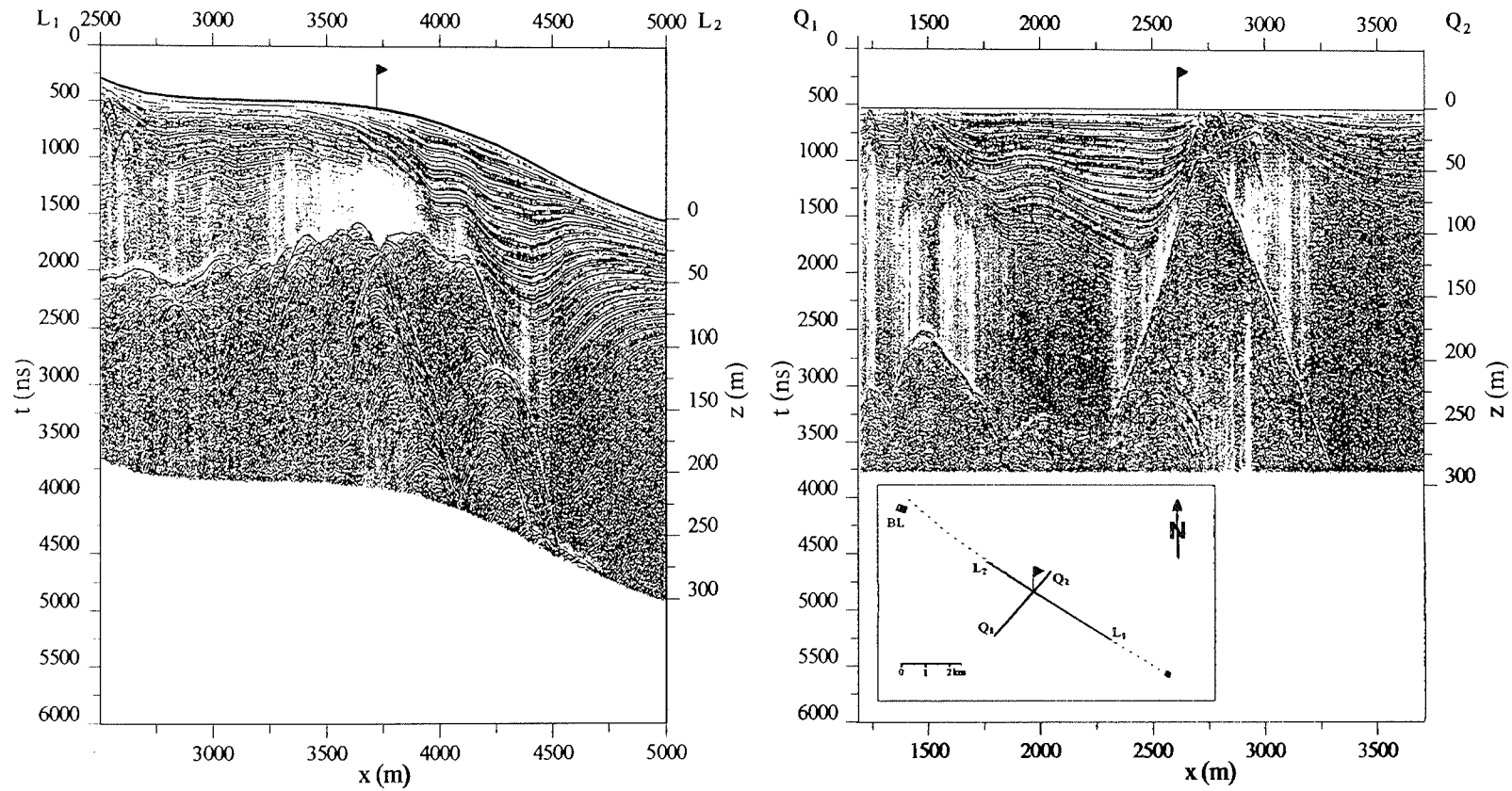
Künftige seismische Messungen sollten möglichst als kombinierte Land-Seeprojekte durchgeführt werden, um den Anschluß an den i.a. gut erschlossenen marinen Bereich zu ermöglichen. Die Airgunquellen auf See können gleichzeitig auf dem Kontinent für refraktionsseismische Messungen mit Stationsabständen zwischen 2,5 km und max. 5 km sowie zusätzliche Weitwinkelreflexionsseismik genutzt werden. Bis auf weiteres wird für die Tiefenseismik auf dem Kontinent für gegengeschossene Profile Sprengstoff als Quelle einzusetzen sein. Aus den Ergebnissen der refraktionsseismischen Messungen sind diejenigen Profilabschnitte festzule-



gen, auf denen zur erforderlichen Strukturauflösung Steilwinkelreflexionsseismik durchgeführt werden muß. Hierbei müssen die Untersuchungen des Übergangsbereiches Eis/Gestein inklusive Deckschichten hochauflösend und ggf. dreidimensional durchgeführt werden. Im Einzelfall konnte auch der Einsatz von seismischer Tomographie notwendig werden. Für diesen Teufenbereich sehen wir, bislang nur gestützt auf theoretische Überlegungen und erste Modellrechnungen, den Einsatz sprengstoffloser Quellen von der Oberfläche als Möglichkeit. Für den größeren Tiefenbereich sind der Einsatz einer digitalen Streamertechnik zur Verbesserung des Signal-Störverhältnisses und seismische Quellen in einer Tiefenlage 215 m zwingend erforderlich. Aufgrund unserer bisherigen Ergebnisse und Vorarbeiten erscheint es uns sinnvoll, das in der Heimefrontfjella begonnene Profil entsprechend diesen Überlegungen fortzusetzen, zumal hier auch refraktionsseismische Ergebnisse (Eckstaller, 1991) bereits vorliegen.

Literaturverzeichnis:

- Bentley, C. R. (1971): Seismic Evidence for Moraine Material within the Basal Antarctic Ice Sheet, in: Antarctic Snow and Ice Studies II, Antarctic Research Series, 16, 89-129, ed.: A. P. Crary
- Boldt, G. (1989): Die Entwicklung eines Ice-Streamers und seine Erprobung in polaren Gebieten, unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Geophysik der Westfälischen Wilhelms-Universität, Münster
- Degutsch, M., G. Boldt, C. Hübscher & W. Weniger (1991): Reflexionsseismik und EMR-Messungen, in: Berichte zur Polarforschung: Die Expedition ANTARKTIS-VIII mit FS "Polarstern" 1989/90, 86,105-108, Hrsg.: H. Miller und H. Oerter, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven
- Eiken, O., M. Degutsch, P. Riste & K. Rød (1989): Snowstreamer: An efficient tool in seismic acquisition, *First Break*, 7, 374-378
- Ekstaller, A., A. Brodscholl, H. Mandler, G. Miller, U. Nixdoff, G. Patze/t, M. Pietschmann & H. Rott (1991): Refraktionsseismik, in: Berichte zur Polarforschung: Die Expedition ANTARKTIS-VIII mit FS "Polarstern" 1989/90, 86,108-122, Hrsg.: H. Miller und H. Oerter, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven
- Hungeling, A. & F. Thyssen (1989): Reflection seismic measurements in Western Neuschwabenland, in: Geological Evolution of Antarctica, 73-76, Fifth International Symposium on Antarctic Earth Sciences, 1987, ed: Thomson, M. R. A., J. A. Crame & J. W. Thomson, Cambridge University Press, Cambridge
- Kosters, M. (1994): Interpretation von Reflexionsseismogrammen aus der Antarktis mit Hilfe kinematischer und dynamischer Modellierung, unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Geophysik der Westfälischen Wilhelms-Universität, Münster
- Kogan, A. L. (1972): Results of Deep Seismic Sounding of the Earth's Crust in East Antarctica, in: Antarctic Geology and Geophysics, 485489, ed: Adie, R. J., Universitetsforlaget, Oslo
- Kudryavtzev, G. A., V. V. Butzenko & I. N. Kadmina (1991): Crustal section across the Western Queen Maud Land continental margin from geophysical data (poster presentation) Sixth International Symposium on Antarctic Earth Sciences, 330 - 335 Robin, G. de Q. (1958): Seismic Shooting and Related Investigations Norwegian-British-Swedish Antarctic Expedition, 1949-52, Scientific Results, Vol. V, Glaciology 111, Norsk Polarinstitut, Oslo



**Abb. 1: Hochauflösende EMR-Kartierungen im Bereich des Kibergdalen**

Die Markierung gibt die Lage des Kreuzungspunktes der EMR-Profile auf dem reflexionsseismischen Profil an.  
 Spurabstand: 1 m, Zeit- und Mächtigkeitsskalen sind relative Achsen.

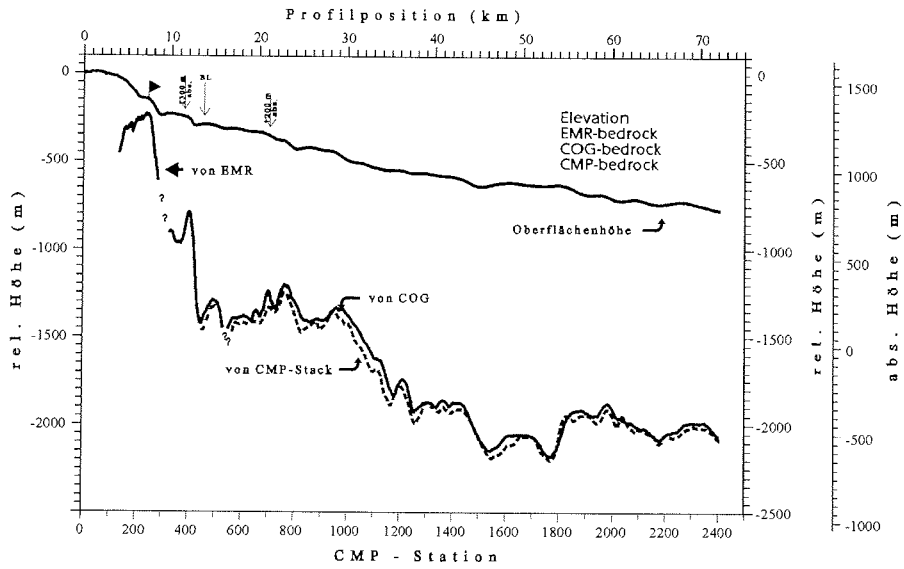


Abb. 2: Topographie der Eisoberfläche und des Felsuntergrundes

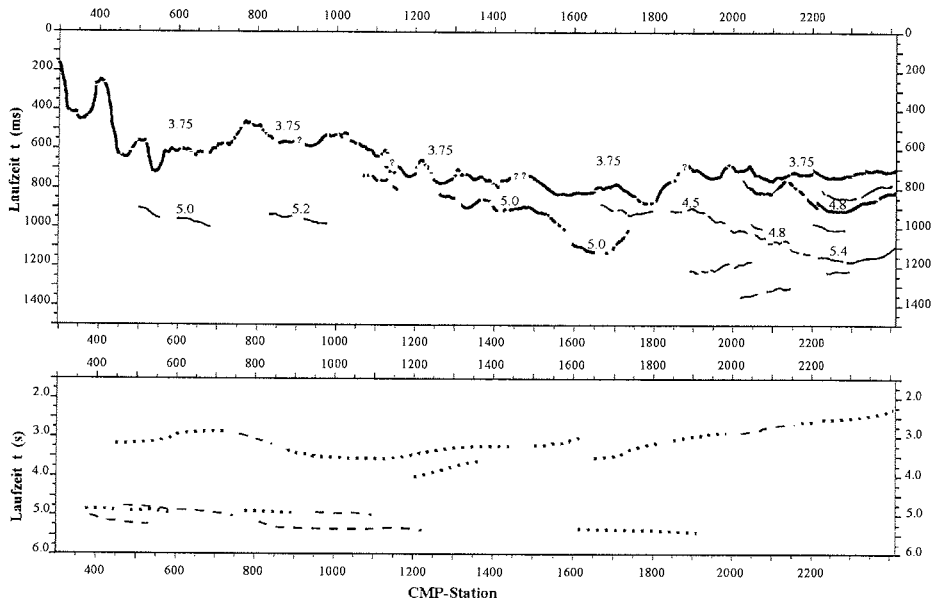


Abb. 3: Linedrawing für die Stapelsektion CMP 150-2414

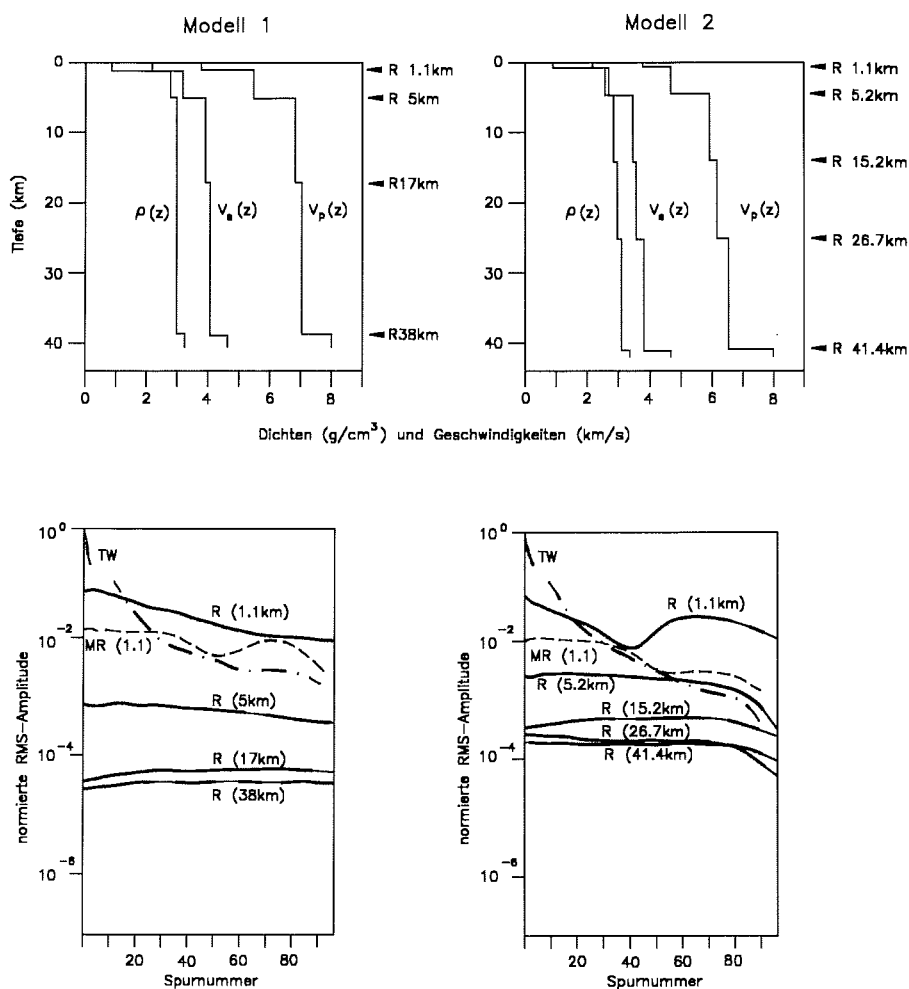


Abb.4: Geschwindigkeits- und Dichtetiefenfunktionen für 2 Erdkrustenmodelle und zugehörige normierte RMS-Amplituden aus berechneten synthetischen Seismogrammen nach der Gauß-Beam-Methode. Dichten und Geschwindigkeiten nach Hungeling & Thyssen 1989; Kogan 1972 und Kudryatzev et al. 1991.

B) Spezielle Themen

mit den Beiträgen:

- 1) Meteoritenforschung  
Schultz, L.
- 2) Paläontologie (in ausländischem Programm)  
Bentson, P.
- 3) Tonmineralogie (in ausländischem Programm)  
Bausch, W. M.
- 4) Physische Geographie  
Krause, W. E., Krbetschek, M. R., Krüger, W. & Knothe, D.

## Antarktische Meteorite: Ihre Bedeutung für die Kosmochemie

Ludolf Schultz  
Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz

### Einleitung

Bis 1969 waren in der Antarktis vier Meteorite gefunden worden, aber im südlichen Sommer 1969/1970 entdeckten japanische Glaziologen auf einem Eisfeld bei den Yamato Mountains neun weitere Meteorite. Da Untersuchungen im Labor zeigten, daß diese Meteorite zu verschiedenen Fällen und Meteoritenklassen gehörten, wurde ab 1973 systematische Meteoritensuchen in der Antarktis gestartet. Bis heute sind etwa 16 300 Meteoritenfragmente im Rahmen des japanischen, amerikanischen, deutschen und italienischen Antarktisprogramms geborgen worden. Sie stellen etwa 3000 bis 5000 individuelle Meteoritenfälle dar, eine Zahl, die die Summe der Fälle und Funde aus nicht-antarktischen Gebieten übersteigt. Die Fundgebiete sind in *Abb. 1* bezeichnet; die an ihnen durchgeführten Untersuchungen und weitere Literatur findet sich in [1]. Berichte von fünf Workshops über antarktische Meteorite fassen die wichtigsten wissenschaftlichen Erkenntnisse zusammen [2] bis [7]. Auf europäischer Ebene haben sich die Mehrzahl aller an Meteoritenforschung interessierter Labors zu einer von der Europäischen Gemeinschaft geförderten Vereinigung zusammengeschlossen (EUROMET), die Suche, erste Beschreibung und Aufbewahrung von Meteoriten aus kalten und heißen Wüsten koordiniert.

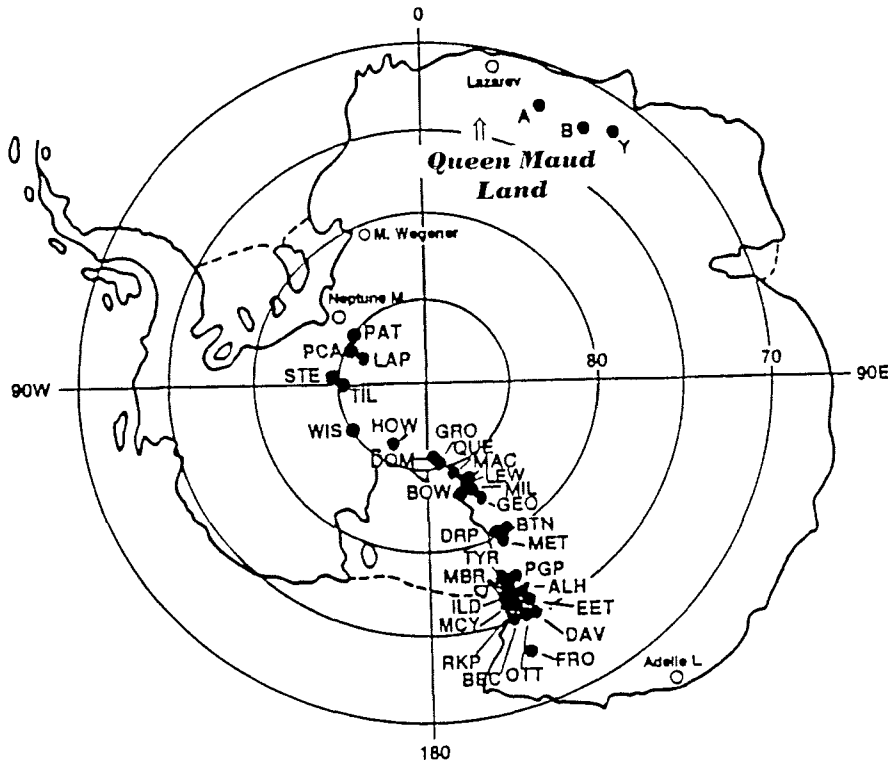


Abb.1: Karte der Antarktis mit Fundplätzen von Meteoriten. Einzelfunde sind durch offene Kreise gekennzeichnet. In Queen Maud Land sind bei den Fundstellen Asuka (A) 2527, Belgica (B) 5 und Yamato Mountains (Y) 6278 Meteoritenfragmente bei japanischen Expeditionen geborgen worden.

## Wissenschaftliche Bedeutung von Meteoriten

Der einmalige wissenschaftliche Wert von meteoritischer Materie läßt sich in folgenden Punkten zusammenfassen (ausführliche Darstellungen des gesamten Gebietes findet sich in [8]):

1. Einige Meteorite sind seit ihrer zeitgleichen Entstehung mit den Planeten und ihren Monden nicht oder nur unwesentlich verändert worden. Aus der Analyse dieser Meteorite läßt sich auf die physikalischen und chemischen Bedingungen bei der Entstehung des Sonnensystems schließen.
2. Das Studium der Meteorite gibt Einblick in gesteinsbildende und gesteinsverändernde Prozesse bei der Akkretion von Planeten und erlaubt die Beobachtung von Schockwirkungen auf Materie.
3. Meteorite sind Bruchstücke anderer Himmelskörper, die bislang nicht einer direkten Probenahme zugänglich sind. Auch das Innere von Kleinplaneten wird über Meteorite beprobt.
4. Die Untersuchung von bestimmten Meteoritenklassen erlaubt das Studium von benachbarten Himmelskörpern (Mondmeteorite, SNC-Meteorite als wahrscheinliches Marsmaterial).
5. Aus manchen Meteoriten läßt sich "Sternenstaub" separieren. Ein Material, das direkt in einer Phase der Sternentwicklung bzw. Elementsynthese entstanden ist. Aus dieser präsolaren Materie lassen sich experimentelle Informationen über Theorien der Sternentwicklung gewinnen.
6. Meteorite erlauben das Studium der Wechselwirkung von Materie mit der kosmischen Strahlung und mögliche Variationen ihrer Intensität und spektralen Zusammensetzung mit Ort und Zeit.

## Antarktische Meteorite - zukünftiges Potential

Antarktische Meteorite sind wichtige Gesteine, die dazu beitragen, daß diese allgemeinen Fragen der Meteoritenforschung bearbeitet werden können. Daneben gibt es aber eine Reihe von Punkten, die besonders mit Hilfe dieser Meteorite in Angriff genommen werden können.

**Seltene und einmalige Meteoritentypen.** Eine Reihe neuer Meteoritentypen ergab Einblick in bislang unbekannte Mutterkörper (Kleinplaneten). Es ist zu erwarten, daß auch in der Zukunft weitere planetare Körper durch die Analyse antarktischer Meteorite geochemisch erkundet werden können.

**Mond- und Marsmeteorite.** Bislang wurden 14 Meteoritenfragmente gefunden, die zu 11 Mondmeteoriten gehören. Sie sind Proben von Gebieten des Mondes, die bislang nicht zugänglich waren. Zwei Meteoritenfunde, die wahrscheinlich Materie vom Mars darstellen, trugen entscheidend zur Diskussion der SNC-Meteorite als Marsmeteorite bei.

**Studium organischer Moleküle, die im Weltraum synthetisiert wurden.** Antarktische Meteorite fallen in ein steriles Medium und sind gegen terrestrische Kontamination mit organischem Material weitgehend geschützt. Jeder kohlige Chondrit enthält Aminosäuren und andere organische Moleküle, die bei der Bildung des Sonnensystems gebildet wurden, lange vor der Entstehung des Lebens auf der Erde.

**Solare Teilchenstrahlung.** Auf antarktischen Eisfeldern werden auch sehr kleine Meteorite gefunden werden, die beim Durchfliegen der Atmosphäre wenig Material verloren haben. An ihnen kann die korpuskulare Strahlung der Sonne studiert werden.

**Mikrometeorite.** Aus antarktischem Eis werden kleine extraterrestrische Materieteilchen extrahiert, die ihren Ursprung teilweise in Kometen haben. Ihre Untersu-

chung erlaubt nicht nur Rückschlüsse auf Ursprung und Geschichte der Kometen, sondern auch auf die Frühgeschichte unseres Sonnensystems.

**Ändert sich der Meteoriteneinfall mit der Zeit?** Antarktische Meteorite haben terrestrische Alter bis zu einer Million Jahre; die nichtantarktischen Meteorite sind wegen der erhöhten Verwitterungsrate ein bis zwei Größenordnungen kleiner. Es wird zur Zeit die Frage diskutiert, ob die Einfallraten und der Typ der Meteorite sich im Laufe der Zeit ändert. Diese Frage, die auch in Zusammenhang mit der Möglichkeit von Meteoroidströmen steht, kann durch einen Vergleich antarktischer und nicht-antarktischer Meteoriten geklärt werden.

**Einfluß der Verwitterung.** Antarktische Meteorite, Meteorite, die in heißen Wüsten gefunden werden und Meteoritenfälle sind durch die terrestrische Umgebung unterschiedlich beeinflusst worden. Die genaue Kenntnis dieser Vorgänge ist Voraussetzung für viele vergleichende Untersuchungen.

**Studium von antarktischen Prozessen über Meteorite.** Antarktische Meteorite werden nach ihrem Fall im Eis eingeschlossen und mit dem Eis transportiert. Sie können deshalb auch Informationen über die Geschichte des antarktischen Eisschildes geben.

## Perspektiven

Zur Zeit finden nur im Rahmen des US-amerikanischen Antarktisprogramms jährliche Meteoritensuchaktionen statt. Frühestens 1997/98 wird es von japanischer Seite eine neuerliche Meteoritensuche geben. Von EUROMET (über das italienische Programm) sind für die nächsten Jahre keine speziellen Aktionen geplant. Es ist deshalb besonders wertvoll - nicht nur für die deutsche, sondern auch für die internationale Meteoritenforschung - wenn ein "Meteoritennachschub" in näherer Zukunft gesichert wäre. Ein Weg um ein solches Ziel zu erreichen ist die Suche nach Meteoriten auf Blaueisfeldern in Queen Maud Land, das in vieler Hinsicht erfolgversprechend ist. Im Rahmen von EUROMET waren alle Voraussetzungen gegeben, daß die Meteorite einer ersten Untersuchung zur Klassifizierung unterzogen werden und das Material interessierten und qualifizierten Wissenschaftlern zur weiteren wissenschaftlichen Untersuchung zur Verfügung gestellt werden kann.

## Literatur

- [1] CASSIDY W.A., R.HARVEY, J.SCHUTT, G.DELISLE and K.YANAI: The Meteorite Collection Sites of Antarctica. *Meteoritics* 27, 490-525 (1992).
- [2] BULL C. and M.E.LIPSCHUTZ (ed.): *Antarctic Glaciology and Meteorites*. LPI 1982, pp. 57.
- [3] ANNEXSTAD J.O., L.SCHULTZ and H.WANKE (ed.): *Antarctic Meteorites*. LPI 1986, pp. 119.
- [4] CASSIDY W.A. and I.M.WHILLANS (ed.): *Antarctic Meteorite Stranding Surfaces*. LPI 1990, pp. 103.
- [5] KOEBERL C. and W.A.CASSIDY (ed): *Differences between Antarctic and Non-Antarctic Meteorites*. LPI 1990, pp. 102.
- [6] SCHULTZ L., J.O.ANNEXSTAD and M.E.ZOLENSKI (ed.): *Meteorites from Cold and Hot Deserts*. LPI 1995 (in press).
- [7] SCHULTZ L.: *Antarktische Meteorite*. *Die Fundgrube* 1/92, 10-24 (1992)
- [8] KERRIDGE J.F. and M.S.MATTHEWS (ed.): *Meteorites and the Early Solar System*. Univ. of Ariz. Press 1988, pp.1269.



## **Biostratigraphie und Paläontologie des James-Ross-Beckens, Antarktische Halbinsel**

Peter BENGTON, Geologisch-Paläontologisches Institut, Heidelberg

### **Einleitung**

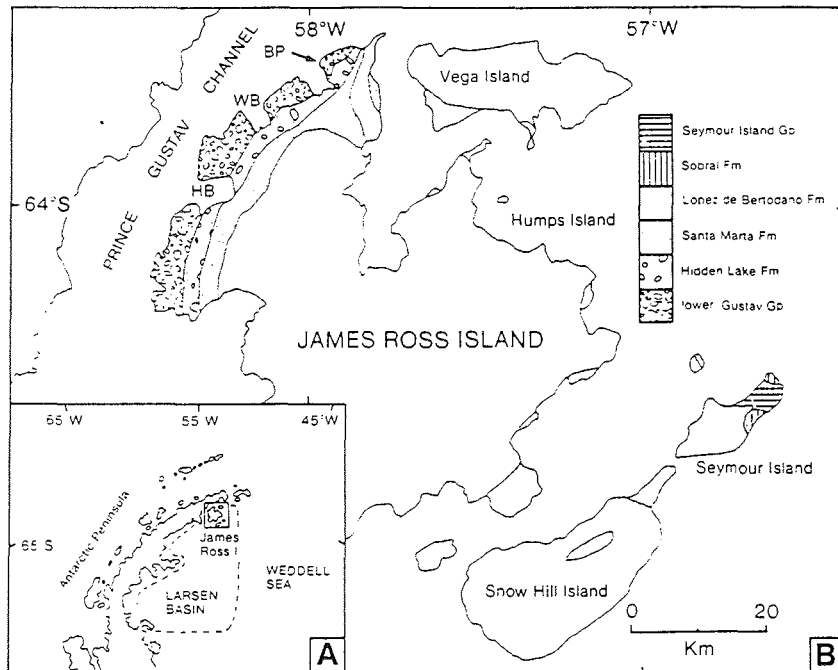
Seit 1989 bin ich in einem Kooperationsvorhaben mit dem British Antarctic Survey (BAS) in Cambridge tätig. Die Forschung betrifft hauptsächlich die Oberkreide-Ammoniten des James-Ross-Beckens der Antarktischen Halbinsel. Hauptmitarbeiter am BAS ist Dr. Michael R.A. Thomson. Einige Projekte werden auch in Zusammenarbeit mit Kollegen des CIRGEO in Buenos Aires durchgeführt.

### **Stand und Relevanz der Forschung**

Während der Kreide fanden die letzten bedeutenden Kontinentverschiebungen statt, die zur heutigen Gestalt der Erde führten. Diese große Umgestaltung beeinflusste sehr stark sowohl die physischen als auch die biotischen Verhältnisse auf der Erde, so daß das Studium der Kreideablagerungen und ihrer Fossilien von großem umfassendem Interesse ist. Unter den Ablagerungen aller phanerozoischen Systeme sind es diejenigen der Kreide, die das größte Areal der Erdoberfläche einnehmen (außer Quartär). Ferner haben die wichtigsten Erdölvorkommen der Welt ihren Ursprung in kretazischen Muttergesteinen. Für die Chronostratigraphie der Kreide sind die Ammoniten, eine seit Ende der Kreide ausgestorbene Gruppe von schalenversehene Cephalopoden, außerordentlich wichtig. Deswegen üben Fortschritte in der Ammonitenpaläontologie großen Einfluß auf die gesamte Geologie aus. Am Ende der Kreide-Periode setzte eines der größten Massenaussterben in der Erdgeschichte ein, welches alles Leben beeinflusste. Dieses Massenaussterben können Studien der Kreideammoniten, vor allem durch genaue taxonomische und biostratigraphische Untersuchungen, helfen, besser zu verstehen.

Antarktika trennte sich von den anderen Kontinenten Gondwanas hauptsächlich während der mittleren und jüngeren Kreide. Aus paläomagnetischen Daten geht hervor, daß Antarktika seine heutige polare Position bereits in der Kreide einnahm. Westantarktika besteht aus mehreren Mikroplatten, deren Bewegungen während des Zerbrechens von Gondwana noch nicht verstanden worden sind. Die Antarktische Halbinsel in Westantarktika besaß eine Schlüsselposition in der Geologie Gondwanas - sie wird zum Beispiel als Migrationsbrücke für Organismen interpretiert - und spielte so eine bedeutende Rolle sowohl für die geologische als auch für die biologische Entwicklung der südlichen Halbkugel.

Aufschlüsse der Kreide sind in Westantarktika fast ausschließlich vom James-Ross Becken bekannt. Dieses Becken liegt im Nordosten der Antarktischen Halbinsel und bildet den aufgeschlossenen Teil des größeren Larsen-Beckens (Abb.). Die ersten geologischen Studien wurden hier von ANDERSSON während einer schwedischen Polarexpedition 1901-1903 unter Otto NORDENSKJÖLD durchgeführt. Neuere Untersuchungen haben gezeigt, daß diese aufgeschlossenen Schichten nur einen Teil einer mächtigen mesozoischen Back-arc-Sequenz zeigen. Vom mittleren Jura bis zur älteren Kreide war Westantarktika Teil eines Inselbogens mit Ablagerungsbecken an den östlichen und westlichen Rändern der Antarktischen Halbinsel. Während der Mittelkreide wurde durch Hebungen die kretazische Sedimentation in das Larsen-Becken verlagert.



Geologische Einheiten und Lokalitäten der wichtigsten Kreidegebiete des James-Ross-Beckens, Antarktische Halbinsel (aus PIRRIE, WHITHAM & INESON 1991, *Spec. Pubs. int. Ass. Sediment. 12*).

Das James-Ross-Becken, welche die Inseln James Ross, Vega, Humps, Snow Hill, Seymour und Cockburn umfaßt, enthält eine 3 - 4 km mächtige Abfolge von marinen Siliziklastika. Diese bestehen überwiegend aus Silt- und Sandsteinen und reichen stratigraphisch vom Barreme oder Apt bis zum Oligozän. In den Schichten, insbesondere der obersten Kreide (Santon-Maastricht), ist eine außergewöhnlich gut erhaltene Ammonitenfauna zu finden, welche das erste Mal auf der Nordenskjöld-Expedition gesammelt, beschrieben und später von britischen und argentinischen Paläontologen weiter untersucht wurde. Erst in jüngster Zeit wurde erkannt, daß eine nahezu vollständige marine Abfolge der Kreide vorhanden ist.

Paläobiogeographische Untersuchungen der antarktischen Ammoniten sind ein wichtiges Hilfsmittel, um beispielsweise die Positionen des Kontinents, welche aus anderen Untersuchungen rekonstruiert wurden, zu überprüfen, insbesondere aber die Lage der Antarktischen Halbinsel in Relation zu den umgebenden Arealen. So könnte zum Beispiel die Entwicklungsgeschichte des südlichen Südamerikas, des Scotia-Arcs und die Öffnung der Drake-Passage durch Rekonstruktionen der Verteilung von Ammonitenfaunen nachvollzogen werden.

Westantarktika ist eines der fünf Hauptgebiete des Südatlantiks, welche kretazische Ammonitenvorkommen enthalten. Nach Abschluß der taxonomischen Bearbeitung der antarktischen Faunen wird es zum ersten Mal möglich sein, eine paläobiogeographische Synthese für das gesamte Südatlantikgebiet zu erstellen, welche hauptsächlich auf neueren Daten beruht (Nordost-Brasilien - Bearb. BENGTSON; Nigeria - REYMENT, ZABORSKI; Angola — COOPER, COLLIGNON; Südafrika — KENNEDY & KLINGER; Westantarktika—THOMSON, BENGTSON, OLIVERO u.a.; Südpatagonien—RICCARDI).

## Laufende Projekte

1. *Mittelkretazische Ammoniten des James-Ross-Beckens.* - Seit der Entdeckung vor etwa einem Jahrhundert wurde die gesamte marine Kreideabfolge des James-Ross Beckens altersmäßig zum Campan geführt. Manchmal geschah dies schablonenmäßig, ungeachtet vorhandener Andeutungen auf andere Alter. In Wirklichkeit sind die Campan-Fossilien auf das stark fossilführende oberste Viertel der Kreideabfolge beschränkt (wo auch Santon und Maastricht vertreten sind). Vor einigen Jahren wurden in den weniger fossilreichen unteren Teilen der Abfolge albi-sche und cenomanische Faunen entdeckt. Dazu können wir nun mutmaßlich turo-nische sowie zweifellos coniacische Formen hinzufügen, welche das Vorhandensein einer extensiven mittelkretazischen Abfolge in Westantarktika nachweisen. Unsere Untersuchungen zeigen, daß die Mehrzahl der Ammonitengattungen der Cenoman-Coniac-Stufen eine globale Verbreitung aufweisen; dies steht in scharfem Kontrast zu dem hohen Endemismus der Apt-Alb und Santon-Maastricht-Faunen. Trotzdem sind enge biogeographische Verbindungen mit den Ammoniten-faunen des Australbeckens (=Magellan-Becken) in Südpatagonien deutlich nachweisbar. Diese Tatsache bestätigt die übliche paläogeographische Interpretation des Larsen-Beckens als eine südliche Verlängerung des Australbeckens, auch während der mittleren Kreide.

Die taxonomische Arbeit ist bereits abgeschlossen und die Ergebnisse wurden im Juli 1994 auf dem *2ème Colloque de Stratigraphie et Paleogeographie de l'Atlantique Sud* in Angers (Frankreich) vorgelegt. Die Ammonitendaten werden jetzt mit neuen mikropaläontologischen Daten (Foraminiferen) integriert und ein zusätzliches Manuskript darüber wird zusammengestellt.

2. *Die Ammonitengattung Neograhamites.* - Der Ammonit *Neograhamites* ist ein Schlüsselement in der Oberkreidestratigraphie der Australregion (Antarktis, Südpatagonien, Australien und Neuseeland). *Neograhamites*-Arten sind unter einer Vielzahl von Namen beschrieben worden; leider herrscht große Verwirrung und Unsicherheit über die taxonomische Abgrenzungen innerhalb der Gattung, was die stratigraphische Arbeit sehr negativ beeinflusst. Neu erworbenes Material von der Snow-Hill-Insel liefert aber jetzt eine Möglichkeit zur verbesserten Taxonomie, insbesondere für die Abgrenzung der Typus-Art *Neograhamites kilianii* sowie für eine genaue Charakterisierung der Gattung, was zu einer erhöhten stratigraphischen Präzision der oberen Kreide der gesamten Australregion führen soll.

3. *Palökologie und Sedimentologie der Oberkreide des James-Ross-Beckens.* - Neben spezialisierten Untersuchungen von fossilen Schlüsselgruppen sind integrierte Studien der Oberkreideabfolge des James-Ross-Beckens von erheblicher Bedeutung. Diese Untersuchungen dienen zur Ergänzung und Verbesserung der stratigraphischen Auflösung sowie zur Rekonstruktion des Entwicklungsvorgangs des Beckens. Durch palökologische Studien können die Verhältnisse zwischen den Biotas und dem sedimentären Regime geklärt werden. Einige Fossilgruppen, insb. Mollusken, werden in diesem Projekt für gezielte Analysen ausgewählt. Das Projekt wird hauptsächlich im Rahmen einer ab September 1994 von der DFG geförderten Doktorarbeit von Dipl.-Geol. A. LUTHER (Heidelberg) durchgeführt. Herr LUTHER wird an der nächsten BAS-Expedition in das James-Ross-Becken im Südsommer 1994/95 teilnehmen.

4. *Paläobiogeographie.* - Untersuchungen der biogeographischen Verbreitungsmuster der Fossilien sind von großem Wert für die Interpretationen der ehemaligen

Verhältnisse auf der Erdoberfläche. Durch detaillierte paläobiogeographische Analysen ist es möglich, ehemalige Kontinentlagen und Kontinentverbindungen, Klimaverhältnisse und ozeanische Zirkulationsmuster zu rekonstruieren und/oder zu überprüfen sowie die biostratigraphische Auflösung zu verbessern. Den meisten paläobiogeographischen Analysen haftet aber eine innewohnende Fehlerquelle auf Grund von Subjektivität und Divergenzen der unterliegenden taxonomischen Daten an. Mit Hilfe moderner EDV-Methoden ist es jetzt möglich, diese Fehler zu minimieren, was die paläobiogeographischen Rekonstruktionen wesentlich verbessern wird. Innerhalb dieses Projektes ist eine Forschungs-Datenbank im Aufbau, deren Hauptziel es ist, biogeographische und biostratigraphische Untersuchungen sowie Biodiversitätsstudien über Kreideammoniten zu unterstützen (Codename ISKRA, "Informations-System für Kreide-Ammoniten"). Die Arbeit befindet sich jetzt in der Eingabephase; biogeographische Anwendungen können erst ausgeführt werden, wenn alle standardisierten taxonomischen Daten und die meisten relevanten stratigraphischen und geographischen Daten eingegeben sind, was für die Australregion mindestens noch einige Jahre dauern wird. In der ersten Projektphase wird ein Pilotprojekt durchgeführt (KASPAR, "Kreide-Ammoniten des Süd-Patagonisch-Antarktischen Raums").

5. *Taxonomische Revision der Ammonitenfamilie Kossmaticeratidae.* - Die Gruppe der Kossmaticeraten dominieren die oberkretazischen Ammonitenfaunen Antarktikas. Durch ihre hohe Evolutionsrate und Häufigkeit in den Schichten sind sie für die Biostratigraphie extrem wichtig. Wegen taxonomischen Divergenzen und vagen Artenabgrenzungen kann jedoch ihr stratigraphisches Potential nicht voll ausgenutzt werden, weshalb eine taxonomische Revision der Gruppe notwendig ist. Das Projekt fordert zeitaufwendige direkte Vergleiche mit Material aus der gesamten Australregion und ist daher über mehrere Jahre konzipiert.

## Geplante Projekte

Außer den oben beschriebenen Projekten sind für die nächsten Jahre weitere Projekte vorgesehen. Je nachdem, ob es möglich sein wird, finanzielle Unterstützung zu bekommen, werden voraussichtlich auch Doktoranden und Diplomanden in Heidelberg daran teilnehmen, letztere insbesondere in den Untersuchungen, die auf der Datenbank ISKRA basieren. Folgende Projekte wurden bereits konzipiert.

6. *Integrierte Ammoniten-Inoceramen-Stratigraphie der Oberkreide des James-Ross-Beckens.* - Ammoniten und Inoceramen (eine, Ende der Kreide ausgestorbene Muschelgruppe) sind die biostratigraphisch wichtigsten Makrofossilien in den meisten Oberkreidegesteinen. Die Oberkreide Antarktikas ist in dieser Hinsicht keine Ausnahme. Ziel dieses Projektes ist es, die Ammoniten- und Inoceramen-Stratigraphie des James-Ross-Beckens in ein optimiertes makrobiostratigraphisches System zu integrieren, und ferner dieses System mit der sog. Standard-Stratigraphischen Skala zu korrelieren.

7. *Integrierte Mollusken-Palynomorphen-Stratigraphie des James-Ross-Beckens.* - Die Palynomorphen (Pollenkörner, Sporen, Dinoflagellaten) sind die biostratigraphisch wichtigsten Mikrofossilien der Kreide Antarktikas. Eine palynologische Biozonierung für Teile der Kreideabfolge liegt bereits vor. Diese wird mit der Ammoniten-Inoceramen-Zonierung kombiniert, um eine integrierte biostratigraphische Skala herzustellen, welche die drei fossilen Schlüsselgruppen der Oberkreide Antarktikas umfaßt.

## **Geochemisch-mineralogische Untersuchungen am Ostrand der Antarktischen Halbinsel**

Bausch, W. M., Erlangen

### **Tonmineralogie und Geochemie der Ameghino-Formation (Oberjura)**

In der Saison 1988/89 wurde mit der Direccion Nacional Antartico (Argentinien) eine Geländekampagne auf der Peninsula Sobral (Ostküste der Antarktischen Halbinsel) durchgeführt. Maßgeblich beteiligt waren R. del VALLE und R. SCASSO; von deutscher Seite nahm T. GRUNENBERG teil.

An der Ostküste der AH (Antarkt.Halbins.) ist - nicht kontinuierlich - die vom Oberjura bis ins Tertiär reichende, ca. 6000 m mächtige Füllung des Larsen-Beckens (Weddell-See) aufgeschlossen.

Die Ameghino-Formation wird in der Literatur auch unter "Nordenskjöld-Formation" geführt. Wegen unterschiedlicher Grenzbeziehungen und Prioritäts-Zwistigkeiten herrscht einige nomenklatorische und stratigraphische Verwirrung, was aber hier nicht näher erläutert sei.

Der Oberjura besteht jedenfalls aus dünngeschichteten Tonsteinen, welche teilweise einerseits sehr stark Radiolarien führen, andererseits mit dünnen Tuffbändern wechsellagern können. Eine Ablagerung in anoxischem Milieu ist gesichert. Die Untersuchung des Tonmineralspektrums dieser Formation erschien aus folgenden Gründen notwendig:

Seit geraumer Zeit versucht der Verfasser, ein Paläoklimagürtel-Modell für eine fossile Warmzeit nämlich für den Oberjura - zu entwickeln -. In den rezenten Weltmeeren markiert beispielsweise der Kaolinit deutlich den Tropengürtel, während Chlorit für hohe Breiten charakteristisch ist. Das Verhalten der anderen Tonminerale, die zahlreichen möglichen Komplikationen, sowie erste Ergebnisse für Mitteleuropa sind in BAUSCH (1980) ausführlicher diskutiert. - Die Untersuchung der Ameghino-Formation ist jedenfalls ein integraler Bestandteil dieses Vorhabens.

Als Tonmineralspektrum des Oberjuras von Sobral ergab sich ein Vorherrschen von Illit und Chlorit. Der Illit weist überwiegend einen relativ hohen Kristallinitätsgrad auf und ist ausweislich des Verhältnisses seiner (001)/(002)-Reflexe relativ Mg-reich. - Beim Chlorit handelt es sich um einen relativ Fe-reichen Prochlorit, was aus den Verhältnissen der geraden (002, 004) zu den ungeraden (001, 003) Basisreflexen hervorgeht. - Als untergeordnete Bestandteile fanden sich (außer Quarz, geringen Anteilen an Smectit und Wechsellagerungs-Mineralen) noch Pyrit, Clinoptilolit, Analcim und Laumontit. Während Clinoptilolit und Analcim sowohl sedimentär wie diagenetisch entstehen können, ist das Vorhandensein von Laumontit nur durch gesteigerte Diagenese zu erklären. Dies, sowie die relativ hohen Kristallinitätsgrade des Illits, lassen den Schluß auf eine Diagenese bei mehr als 100 °C und eine Überlagerung von vermutlich mehr als 2500 m zu.

Mithin ist das starke Auftreten des Chlorits hier kaum als ein Klimagürtel-Indikator zu verstehen, sondern als Diageneseprodukt aus vulkanischem Glas (entweder direkt, oder auf dem Umweg über Smectit) zu deuten. Die Ergebnisse sind detaillierter in GRUNENBERG (1989) sowie SCASSO et al.(1991) publiziert.

Während auf der Peninsula Sobral Kalk-Konkretionen in der Schichtenfolge nur lokal und untergeordnet auftreten, sind in der (nördlich davon gelegenen) Typ-Lokalität "Longing Gap" massive Verkalkungen vorhanden. Da vermutet wird, daß diagenetische Effekte durch die Konservierung in Konkretionen herabgesetzt sind, wurde in der Hoffnung, ein mehr primäres Tonmineralspektrum zu erhalten, dieses Profil in der Geländekampagne 1993/94 aufgesucht und intensiv beprobt (zudem sind dort vermutlich auch stratigraphisch weiter reichende Teile des Oberjuras aufgeschlossen. Die Bestimmung der reichlich geborgenen Ammoniten-Fauna wird von der argentinischen Seite durchgeführt). An dieser Kampagne war von deutscher Seite auch W. KIESSLING beteiligt, der die Radiolarien bearbeiten wird (insbesondere ebenfalls auf ihre paläoklimatologische Interpretierbarkeit). - Ergebnisse dieser zweiten Kampagne liegen noch nicht vor.

### **Geotektonische Einstufung der Seal-Nunatak-Basalte**

Bei ca. 60° W und 65° S ragt die Gruppe der "Seal Nunataks" aus dem Larsen-Schelfeis. Diese Basaltdurchbrüche konnten während der Kampagne 1988/89 nebenher beprobt werden.

Es handelt sich um auffällig schaumige Olivinbasalte (Eruption unter Eisbedeckung?), lokal Olivinbomben führend, die von etwas Tuff begleitet werden. Ihre Position ist offensichtlich durch tektonische Fiederspalten kontrolliert. Da sie ca. 80 km östlich des Ostrands der AH liegen, sind sie klarerweise als "back arc"-Vulkanismus aufzufassen. Die Basalte erweisen sich als subalkalisch mit ziemlich homogener Zusammensetzung. Variation wird hauptsächlich von wechselnden Olivin-Anteilen getragen, so daß sich gegen SiO<sub>2</sub> mit MgO eine negative, mit CaO eine positive Korrelation ergibt.

Verwendet man die Spurenelement-Daten in geotektonischen Diskriminations-Schemata, so fallen die darstellenden Punkte der Seal Nunataks nach PEARCE & CANN (1973) (Ti/Zr/Sr) ins Feld der Inselbogen-Basalte; nach PEARCE & CANN (1973) (Ti/Zr/Y) sowie nach PEARCE & NORRY (1979) (Zr/Y gegen Zr) ins Feld der "within-plate-basalts"; nach MULLEN (1983) (Ti/Mn/P) in zwei deutlich getrennten Gruppen in die Felder der Ozeaninsel-Tholeiite und der -Alkalibasalte. Diese Ergebnisse ergeben somit keinen klaren Sinn; es werden Schwächen dieser Diskriminations-Schemata offenkundig.

Die Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen; sie sollen detaillierte Daten über die - bisher etwas vernachlässigten - "back-arc"-Basalte liefern.

### **Literatur**

- BAUSCH, W.M.: Tonmineralprovinzen in Malmkalken. - Erl. Forsch. B, 8, Erlangen 1980.
- GRUNENBERG, T.: Mineralogische und geochemische Untersuchungen an Kalken und Peliten des Oberen Jura. - Unveröff. Dipl. Arb., Erlangen 1989.
- PEARCE, J.A. & CANN, J.R.: Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis. - Earth Planet. Sci. Lett., 19, 1973.
- PEARCE, J.A. & NORRY, M.J.: Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. - Contr.Min.Petr., 69, 1979.
- MULLEN, E.D.: MnO/TiO<sub>2</sub> /P20s: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implication for petrogenesis. - Earth Planet. Sci. Lett., 62, 1983.
- SCASSO, R.A., GRUNENBERG, T. & BAUSCH, W.M.: Mineralogical and geochemical characterization of the Ameghino Formation mudstones (Upper Jurassic, Antarctic Peninsula) and its stratigraphical, diagenetical and paleo-environmental meaning. - Polarforsch., 59, 1991.

## **Radiolumineszenzdatierungen an quartären Sedimenten des Periglazials der Schirmacher Oase (Ostantarktis)**

W.E. Krause<sup>1</sup>, M.R. Krbetschek<sup>2</sup>, W. Krüger<sup>3</sup> & D. Knothe<sup>3</sup>

<sup>1</sup>TU Bergakademie Freiberg, Lumineszenzdatierungslabor, Inst f. Angewandte Physik, <sup>2</sup>Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Forschungsstelle Freiberg, <sup>3</sup>Universität Potsdam, Institut für Geoökologie

### **Einleitung**

Der anthropogen nicht beeinflusste, rezente Periglazialraum der Schirmacher Oase stellt mit seiner Seenlandschaft ein einzigartiges Archiv der Klimageschichte und Landschaftsentwicklung dar, dessen Chronologie bislang nicht geklärt ist. Klimaschwankungen vom Eisfreiwerden des Oasengebietes bis hin zu kleineren Erwärmungen spiegeln sich vor allem in den Seeablagerungen wider. Außer Algen, Flechten und Moosen, die an wenigen Stellen vorkommen, ist die Oase vegetationslos. Dieser Mangel an organischem Material schränkt die Anwendung der <sup>14</sup>C Altersbestimmung stark ein.

Radiolumineszenzdatierungsmethoden (Thermolumineszenz TL, optisch stimulierte Lumineszenz OSL) stellen die einzig verwendbare Datierungstechnik für den Zeitraum von einigen hundert bis zu hunderttausend Jahren und mehr dar. Bestimmt wird der Zeitpunkt der Sedimentation von Quarz und Feldspat. Eine wesentliche Rolle spielt dabei eine ausreichende Tageslichtexposition der Minerale. Extrem kurz gebleichte glaziofluviale und glaziolimnische Sedimente sind mit konventionellen Lumineszenztechniken (TL) nicht datierbar. Hier findet die neue Methode der OSL Anwendung.

### **Charakterisierung der Schirmacher Oase**

Die Schirmacher Oase liegt in der Ostantarktis (Königin Maud Land, 70° 5'S/11°40'E) im Grenzbereich zwischen Inlandeis und Schelfeis. Sie stellt ein weitgehend eis- und schneefreies Gebiet dar und erstreckt sich über eine Fläche von ca. 34 km<sup>2</sup> mit einer Länge von ca. 18 km und einer mittleren Höhe von ungefähr 100 m. Neben einigen periodisch auftauenden Seen besteht sie aus ausgedehnten Geröllflächen, Hügeln, wenigen bis zu 230 m hohen Bergen und Steilabbrüchen sowie Tälern und trockengefallenen Seen.

Ein wichtiges Klimamerkmal stellt die Aridität dar. Einem mittleren Niederschlag in Höhe von 330 mm, der an mittlere Windgeschwindigkeiten von 20 bis 30 m/s gebunden ist, steht eine Verdunstung von ca. 500 mm gegenüber. Die Jahresdurchschnittstemperaturen liegen bei -10 °C; von -0,7 °C im Januar bis zu -19 °C im August. Die Auftautiefen des Permafrosts betragen 0,8 m bis 1 m.

Deutliche Spuren einstiger glazigener Überprägung sind im gesamten Oasengebiet zu finden. Neben Gletscherschrammen (S-N) und als Rundhocker ausgebildeten Hügeln treten glazigene Akkumulationsformen auf. Es handelt sich hierbei um Endmoränen im Randbereich des Oasengebietes und um z.T. durch Schmelzwasser umgelagertes Grundmoränenmaterial in den Depressionen.

Geologisch gesehen ist in der Schirmacher Oase das präkambrische kristalline Basement des Ostantarktischen Kratons aufgeschlossen. Es handelt sich hierbei um eine Wechsellagerung von Gneisen und Glimmerschiefern, die durch mehrere Faltungsvorgänge und Metamorphosen der Granulit- und Amphibolitfazies geprägt wurden. Regionale Störungszonen unterschiedlichen Alters zerblockten die Oase und dienten als Aufstiegswege zahlreicher granitischer und basischer Intrusionen. Als Ganggesteine treten neben Pegmatiten und Lamprophyren Basaltdykes auf. Das Kristallin besteht vor allem aus Amphiboliten, Granatgneisen, Biotitgneisen, Augengneisen und Quarz-Feldspat-Gneisen.

### **Sedimentproben für OSL-Untersuchungen**

Die Lockersedimente aus den Talbereichen, Schuttdecken (Hangschutt) und trockengefallenen Seen konnten, bedingt durch die Auftautiefe, bis maximal 80 cm entnommen werden. Mehrere Terrassen ehemaliger Seen verschiedener Höhenlagen sowie deren Hangbereiche mit Material in der Mittel-, Grobsandfraktion und Schotter wurden im Arbeitsgebiet intensiv beprobt. Das AWI Potsdam stellte drei Sedimentkerne aus einem See der Oase zur Probenahme zur Verfügung.

Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen zeigen wenig bis gar nicht gerundete Mineralkörner und keine Anreicherungen verwitterungsresistenter Quarze, was auf sehr kurze Transportwege schließen läßt. Neben Hornblenden, Glimmern, Granaten und Plagioklasen treten sehr vereinzelt Quarze auf. Kalifeldspate sind sehr selten und meist als Verwachsungen zu erkennen. Durch Elementanalyse, TL-Testmessungen und Ätzversuche wurde der Mangel an Kalifeldspat und Quarz festgestellt. Deshalb wird an der Plagioklasfraktion gearbeitet. Die Plagioklase sind vor allem Albit, Oligoklas und Andesin. Ihre Gehalte an Natrium betragen ca. 3 %, die Kaliumgehalte 0,6 %. Der Dichtebereich liegt zwischen  $2,62 \text{ g/cm}^3$  und  $2,75 \text{ g/cm}^3$ .

### **Meßmethodik**

Die Radiolumineszenzdatierung stellt eine physikalische Datierungsmethode dar. Sie beruht nicht wie die  $^{14}\text{C}$  Altersbestimmung auf dem Zerfall eines spezifischen radioaktiven Isotops, sondern auf der Akkumulation von Strahlenschäden im Kristallgitter der Minerale, die durch die natürliche Radioaktivität der Umgebung verursacht wird. Bleichung durch Tageslicht oder Erhitzung heilen diese Strahlenschäden wieder aus. Bei Stimulation mittels Wärme oder Licht zeigen die Minerale Lumineszenz. Dieses Lichtsignal ist proportional zu den akkumulierten Strahlenschäden. Der Datierungszeitraum, abhängig von der Dosisleistung der natürlichen Radioaktivität und dem Sättigungsverhalten der Minerale, liegt zwischen 1 ka bis hin zu mehreren 100 ka (1ka=1000 Jahre). Datiert werden Mineralseparate wie Quarz oder Feldspate.

Der Vorteil der OSL gegenüber der TL besteht vor allem darin, daß Sedimente, die nur sehr kurzzeitig vor ihrer anschließenden Sedimentation dem Tageslicht ausgesetzt waren, datiert werden können. Während bei der TL-Methode das Ausbleichen des Signals bis auf ein nicht bleichbares Residual Minuten bis Stunden dauert, wird das OSL-Signal innerhalb von Sekunden bis Minuten gelöscht.

Bei spektraler Auflösung des OSL-Signals sind vier verschiedene Emissionsmaxima erkannt worden. Untersuchungen zum Bleichverhalten zeigen, daß der Peak



im gelben und im ultravioletten Wellenlängenbereich des Lichtes völlig nullgesetzt wird, während beim Peak im Blaubereich ein Residual verbleibt. Die Spektren wurden mit einem hochempfindlichen Lumineszenzspektrometer gemessen; die Datierungen erfolgten mit einem TL/OSL-Meßgerät bei Infrarotstimulation der Wellenlänge 880 nm, einer Ausgangsleistung von 8 mW und 2 s Dauer. Zur Detektion verschiedener Wellenlängenbereiche des OSL-Signals wurden Glas- und Interferenzfilterkombinationen verwendet.

Die Bestimmung der Dosisleistung der natürlichen Radioaktivität erfolgte durch Lowlevel-g-Spektrometrie. Der interne Kaliumgehalt der Feldspate wurde mit AAS ermittelt.

### **Erste Datierungsergebnisse**

Die Ergebnisse zeigen, daß Seeterrassensedimente ausreichend zur Datierung gebleicht worden sind. Die Alter, die im gelben Wellenlängenbereich gemessen sind, liegen bei  $6,0 \pm 0,8$  ka und  $3,4 \pm 0,7$  ka und stimmen mit den im blauen Bereich gemessen bis auf das Residual überein. Vom landschaftsgenetischen Aspekt und von der Sedimentfazies her sind sie sinnvoll. Bei Sedimentproben, die aus dem Hangschuttbereich stammen, ergeben sich Alter von  $39,5 \pm 7,9$  ka,  $33,9 \pm 2,5$  ka,  $46,0 \pm 1,6$  ka und  $29,6 \pm 5,9$  ka im gelben Wellenlängenbereich. Wesentlich höhere äquivalente Blaualter sind ein Indiz für unzureichende Bleichung des Maximums im blauen Bereich des Spektrums, und eventuell des Sedimentes. Andererseits befindet sich ihr blaues Lumineszenzsignal aber nicht im Sättigungsbereich.  $^{14}\text{C}$ -Datierungen an Seesedimenten des AWI Potsdam ergeben ebenfalls Alter in der Größenordnung von 30.000 Jahren. Hiermit stellt sich nun die Frage, ob die Oase nicht doch wesentlich früher eisfrei war als bisher in der Literatur mit 10.000 Jahren angenommen. Das Verhältnis Blau zu Gelb erlaubt also Aussagen über den Grad der Bleichung. Weitere Untersuchungen des Peaks im UV-Bereich werden hier wesentliche Aufschlüsse bieten.

Die Methode der optisch stimulierten Lumineszenz bietet also die Möglichkeit, Alter für bisher nicht zu datierende Sedimente zu erhalten. Um das Potential voll auszuschöpfen, bedarf es jedoch noch methodischer Untersuchungen.

C) Übergeordnete Schlußbetrachtung

Beitrag

Miller, Hubert

## **Deutsche geowissenschaftliche Forschungsziele in der Antarktis und ihre internationale Einbindung - Chance und Verpflichtung**

Hubert Miller, München

### **1. Einleitung**

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts ging die deutsche Antarktisforschung entweder auf individuelle wissenschaftliche Begeisterung (z.B. Erich von Drygalski) oder auf staatliche wirtschaftliche Interessen (Neuschwabenland-Expedition) zurück. Nach dem 2. Weltkrieg beschränkte sich die deutsche Beteiligung an der Antarktis-Forschung zunächst auf die Teilnahme einzelner "Gast"-Wissenschaftler an nationalen Unternehmungen anderer Nationen (z.B. Geodäsie und Glaziologie im Ross-Schelfeis und in der Westantarktis, radiometrische Befliegungen im Ross-Orogen, Zweite Amerikanische Ellsworth Mts.-Expedition). Die selbständige Rückkehr deutscher Forschung in die Antarktis Ende der siebziger Jahre hatte zwar einen politischen Rahmen: den Wunsch der Bundesregierung, dem Antarktis-Vertrag als Konsultativ-Mitglied beizutreten. Die konkrete Forschung war seinerzeit stark nationalpolitisch flankiert, unter anderem dadurch, daß Bundesämter Grundlagenforschung etwa zur Rohstoff-Sicherung oder Seefischerei betrieben. Aber auch die Universitäten wurden über die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefragt, in wieweit sie den Wunsch und die Fähigkeit hatten, am Aufbau einer deutschen Antarktisforschung teilzunehmen.

Die sehr hohen Kosten einer sicheren und effizienten Logistik bringen es mit sich, daß mit der zunehmenden Zahl der Mitglieder des Antarktis-Vertrages bzw. des Scientific Committee on Antarctic Research auch das gemeinsame Interesse an Großprojekten wuchs, die aus technischen Gründen oder wegen der erforderlichen Personenzahl überhaupt nur in internationaler Zusammenarbeit zu bewältigen waren. Ich erwähne hier BIOMASS, ein Projekt, das zur gleichzeitigen Bestandsaufnahme des marinen Lebens in ausgedehnten Gebieten eine Vielzahl von Schiffen und Beobachtern vereinte.

Im folgenden sollen internationale Kooperationen in geologisch/geophysikalischen Projekten dargestellt werden, an denen deutsche Institutionen und Wissenschaftler maßgeblich, das heißt, mit mehreren Forschern und unter Gestaltung wesentlicher Teile der Logistik beteiligt sind. Zweck dieser Beschreibung ist nicht eine genaue und vollständige Aufstellung, sondern der Nachweis der internationalen Verflechtung der deutschen Geowissenschaften in der Antarktis-Forschung. Ich beschränke mich im wesentlichen auf die Geologie sowie die Geophysik, soweit sie thematisch und logistisch unmittelbar miteinander verflochten sind. Die häufigen Beteiligungen von einzelnen deutschen Wissenschaftlern an anderen Expeditionen oder von einzelnen fremden Kollegen an deutschen Unternehmungen sollen hier nicht aufgelistet werden. Ebenso wenig bezieht sich dieser Bericht auf überwiegend rein deutsche Programme, auch wenn sie wie die Projekte im Raum Heimefrontfjella oder Schirmacher-Oase grundsätzlich große Bedeutung haben. Glaziologische und geodätische Programme erwähne ich nur randlich, da sie nicht Thema dieses Rundgespräches sind.

## II. Größere internationale Projekte unter deutscher Führung oder wesentlicher deutscher Beteiligung.

### 1. Die GANOVEX-Expeditionen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.

Seit Beginn größerer deutscher Aktivitäten in der Antarktis finden regelmäßig alle 2 bis 3 Jahre Expeditionen nach Nordviktoria-Land statt (German Antarctic North Victorialand Expeditions). Initiative, Leitung und Logistik gehen überwiegend von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe aus. Außer zahlreichen Mitgliedern aus deutschen Universitäten, deren Teilnahme abgesehen von der eigentlichen Logistik im Rahmen des Schwerpunkts Antarktis-Forschung gefördert wird, sind regelmäßig Wissenschaftler und Techniker aus Neuseeland und den USA beteiligt. Neuseeland ist auch logistischer Stützpunkt für die Expeditionen. Der Schwerpunkt der Arbeiten liegt in der Gliederung, Altersbestimmung und geotektonischen Einordnung der metamorphen und magmatischen terranes von Nordviktoria-Land. Geophysikalische, insbesondere aeromagnetische Vermessungen im Bereich des Ross-Orogens unterstützen dieses Ziel. Seit Beginn der italienischen Aktivitäten in der Region sind enge Beziehungen auch zu deren Vorhaben vorhanden.

### 2. LIRA, institutionalisierte Kooperation von vier Nationen im Umkreis der Ross-See.

Im Rahmen des größeren ANTALITH-Programmes zur Erforschung der zentralantarktischen Lithosphäre hat sich eine äußerst aktive Gruppe gebildet, die Aufbau und Neotektonik der Umrahmung der Ross-See untersucht (Lithospheric Investigations in the Ross Sea Area). Beteiligt sind Wissenschaftler aus Deutschland, Italien, Neuseeland und den USA. Die Federführung der deutschen Gruppe hat die BGR. Die Gruppe führt jährlich ein bis zwei Arbeitstagungen durch und initiiert Kooperationsprojekte im Gelände, z.B. GITARA (German-Italian Aerogeophysical Research in Antarctica) oder ACRUP (Antarctic Crustal Profile).

### 3. Euroshack, gemeinsame Expedition in die Shackleton Range.

Nach mehreren, überwiegend national besetzten Expeditionen russischer, englischer, amerikanischer und deutscher Interessenten (GEISHA 1987/88: Geologische Expedition in die Shackleton Range) in diese Schlüsselregion zwischen Ost- und Westantarktis wird im Südsommer 1994/95 eine groß angelegte und vorbereitete gemeinsame Expedition in dieses schwer erreichbare Gebiet erfolgen. Die Teilnehmer kommen aus Deutschland, Großbritannien, Italien und Rußland. Das Unternehmen wird nicht nur von gemeinsamer Logistik, sondern auch von vereinten Anstrengungen in der Feldarbeit und späteren Auswertung profitieren. Einige Problemstellungen sind weit über die Antarktis hinaus von Bedeutung, so die Frage nach dem ehemaligen Zusammenhang der Ostantarktis mit dem "Nord"-Kontinent Laurentia.

#### 4. Antostrat und die Archive für geophysikalische Daten aus dem Südpolarmeer und dem antarktischen Kontinent.

Im Rahmen eines SCAR-Programmes sind sämtliche seismischen Daten aus der Umrahmung des Antarktischen Kontinentes zusammengetragen worden zum "Antarctic Seismic Data Library System for Cooperative Research". Daran sind AWI und BGR vor allem in der Ross-See und der Weddell-See entsprechend beteiligt. Die vorprozessierten digitalisierten Datensätze stehen allen Interessenten in verschiedenen über die Welt verstreuten Zentren (u.a. in Hannover) zur Verfügung und können zum Selbstkostenpreis der Datenträger abgerufen werden. Die Datei soll regelmäßig nachgeführt werden.

In ähnlicher Weise sollen in Zukunft auch die magnetischen Daten für eine Karte der magnetischen Anomalien in der Antarktis und den umgebenden Meeresgebieten zusammengefaßt werden.

#### 5. Grundgebirgs-Entwicklung der Antarktischen Halbinsel (Basement Evolution of the Antarctic Peninsula, "BEAP")

Dies ist ein kleineres, aber internationales Projekt der Universitäten München, Santiago de Chile sowie des British Antarctic Survey unter teilweiser Beteiligung auch des Argentinischen Antarktis-Instituts zur zeitlichen und geotektonischen Einordnung des präandinen Grundgebirges der Antarktischen Halbinsel und der Süd-Shetland-Inseln. Es hat im Südsommer 1993/94 einen Höhepunkt in der Beprobung präandiner Serien im Raum Marguerite Bay erreicht.

#### 6. Cape Roberts-Bohrung.

An der Westseite der Ross-See wird in den Jahren 1996 bis 1998 ein Bohrprogramm verwirklicht, das die submarin-seismischen Erfahrungen über den Horst-Graben-Bau der Ross-See durch die unmittelbare Kenntnis der betreffenden Sediment-Serien auf einen sicheren Boden stellen wird. Auch für die Klima-Entwicklung der Antarktis mit ihren Auswirkungen auf das globale Klima werden wichtige Erkenntnisse erwartet. Auf deutscher Seite sind AWI und BGR sowie geowissenschaftliche Institute der Universitäten Bremen und Göttingen beteiligt.

#### 7. Polarsternfahrten

Polarstern ist nicht nur der öftere Arbeitsplatz ausländischer Kollegen mit besonderen Programmen. Im langjährigen Schnitt kommen mehr als 30 % der Polarsternfahrer aus dem Ausland. Sie ist andererseits bei vielen Projekten auf die Zusammenarbeit mit anderen Nationen angewiesen, beispielsweise bei den aufwendigen Seismik-Programmen. Sie ist ferner Transportmittel und Stützpunkt für mehrere der oben geschilderten Gemeinschaftsprogramme.

#### 8. Geotranssects

Die Antarktis soll ebenso wie die übrigen Kontinente im Rahmen des Internationalen Lithosphären-Programms von geologisch/geophysikalischen tiefreichenden

Profilen überdeckt werden. An diesen Transects sind deutsche Wissenschaftler sowohl auf der Westseite der Ross-See wie am Ostrand der Weddell-See beteiligt.

### III. Kooperationsprogramme im Rahmen von SCAR (Major Collaborative Scientific Initiatives "MACSI")

Auf der 23. SCAR-Sitzung in Rom hat die Working Group on Geology auf Anregung ihres Sekretärs vorgeschlagen, größere internationale Forschungsprogramme, die längere Zeit dauern und nur in Kooperation zu bewältigen sind, formal von SCAR als solche anerkennen zu lassen. Dabei ist vor allem an wissenschaftliche Zusammenarbeit gedacht, logistisches Zusammenwirken wird oft dazu notwendig oder wünschenswert sein. Ein erstes solches Projekt wird von südafrikanischer Seite vorangetrieben und wird deutsche Wissenschaftler einschließen. So fällt die geplante Geomaud-Expedition unter diese Thematik.

### IV. Glaziologische und geodätische Programme

Sie sind wie einleitend festgestellt, nicht eigentlich Thema dieses Rundgesprächs. Insoweit als im letzten Kapitel die Notwendigkeit der Weiterführung des Schwerpunktprogramms "Antarktisforschung" betont werden wird, möchte ich dennoch kurz auf drei internationale vieljährige Großprogramme eingehen, an denen Deutsche wesentlich beteiligt sind. Es sind dies das langjährige, überwiegend mit Hilfe deutscher Logistik betriebene Filchner-Schelfeis-Projekt, das für die nächsten Jahre geplante Eisschild-Bohrprogramm und die Erstellung eines GPS-gestützten Referenznetzes rund um den Atlantischen Sektor der Antarktis. Gerade dieses hat insofern große Bedeutung auch in geologischer Sicht, da es bei Wiederholungsmessungen die Chance zu Erkenntnissen von Kontinentverschiebungen innerhalb der Antarktis und im Verhältnis zu ihren Nachbarkontinenten bietet.

An dieser Stelle sei auch der Betrieb der ERS-1/2- und VLBI-Antenne auf der Station O'Higgins erwähnt, die glaziologischen, geomorphologischen und geodätischen Zwecken dient, und deren Daten letztlich allen Nationen offenstehen.

### V. Schlußfolgerungen

Gerade in den 15 Jahren deutscher Beteiligung an der Antarktis-Forschung hat sich auf allen Gebieten die internationale Zusammenarbeit verstärkt. Nicht mehr gelegentliche Gastaufenthalte auf fremden Stationen oder die Mitarbeit von Einzelpersonen in anderen Programmen stehen im Vordergrund, sondern die gemeinsame Konzipierung, Planung und Durchführung der Feldarbeiten und spätere Auswertung des Projektes. Sowohl von der wissenschaftlichen wie von logistischer Seite sind deutsche Institutionen und Arbeitsgruppen mittlerweile in solche internationale Programme integriert. Ihr Verlassen würde Schaden nicht nur für die deutschen Aktivitäten, sondern auch für die Gesamtheit der Antarktis-Forschung bedeuten.

Das Schwerpunktprogramm Antarktisforschung ermöglichte es den Universitäten, an dieser Entwicklung zur internationalen Zusammenarbeit und an der entsprechenden Rückwirkung auf die deutsche Forschung teilzuhaben. Es integrierte zudem die universitären Gruppen in die Arbeiten der staatlichen Institutionen und des Alfred-Wegener-Instituts. Es erleichterte die interne Kooperation in einer Weise, wie

es durch die Abwicklung von Einzelanträgen niemals möglich gewesen wäre, und es forderte die interdisziplinäre Zusammenarbeit und darüber hinaus das Verständnis auch für fachfremde Disziplinen.

Die deutsche Polarforschung kann sich der Verflechtung mit den Forschungsprogrammen anderer Nationen und Entwicklung multinationaler Projekte nicht entziehen, will sie nicht unglaubwürdig werden. Allein die Organisation über ein Schwerpunktprogramm oder ein ähnliches, möglichst auf Dauer angelegtes Förderungssystem bietet die Chance, die Programme von Universitäten und anderen Forschungsstellen im Inland nicht auseinanderfallen zu lassen und integral in die internationale Antarktisforschung einzubeziehen.

Eine solche Zusammenbindung der deutschen Antarktisforschung hat erheblich größere wissenschaftliche Wirkung nach innen und außen als die im Schwerpunkt ausgewiesenen Mittel isoliert verteilt erreichen könnten.

Liste der Teilnehmer am DFG-Kolloquium "Terrestrische Geowissenschaften -  
Geologie und Geophysik" (DFG-Schwerpunkt Antarktисforschung)  
in Frankfurt / Main am 4./5.11.1994

Bauer	Wilfried	TH Aachen
Bausch	Walter	Universität Erlangen
Bengtson	Peter	Universität Heidelberg
Brommer	Axel	Universität Frankfurt/M.
Bennat	Heinz	IfAG Frankfurt/M.
Bucher	Kurt	Universität Freiburg/Br.
Damm	Volkmar	BGR Hannover
Damaske	Detlef	BGR Hannover
Degutsch	Manfred	Universität Münster
Delisie	Georg	BGR Hannover
Fütterer	Dieter	AWI Bremerhaven
Henjes-Kunst	Friedhelm	BGR Hannover
Hoch	Marion	Universität Erlangen
Hofmann	Joachim	TU Bergakademie Freiberg
Hubberten	Hans-W.	AWI Potsdam
Jacobs	Joachim	Universität Göttingen
Jokat	Wilfried	AWI Bremerhaven
Kämpf	Horst	GFZ Potsdam
Klee	Susanne	Universität Münster
Kleinschmidt	Georg	Universität Frankfurt/M.
Kroner	Uwe	TU Bergakademie Freiberg
Lisker	Frank	Universität Bremen
Loske	Werner	Universität München
Makris	Iannis	Universität Hamburg
Matzer	Stefan	Universität Frankfurt/M.
Meschede	Martin	Universität Tübingen
Miller	Heinz	AWI Bremerhaven
Miller	Hubert	Universität München
Molzahn	Michael	Universität Mainz
Olesch	Martin	Universität Bremen
Paech	Hans-Jürgen	BGR Hannover
Pauli	Christoph	Universität Frankfurt/M.
Roland	Norbert	BGR Hannover
Schäfer	Thorsten	Universität Bremen
Schubert	Wolfgang	Universität Würzburg
Schultz	Ludolf	MPI Chemie Mainz
Schüßler	Uli	Universität Würzburg
Spaeth	Gerhard	TH Aachen
Spindler	Michael	Universität Kiel (IPÖ)
Tessensohn	Franz	BGR Hannover
Thiedig	Friedhelm	Universität Münster
Trey	Hans	Universität Hamburg
Tschochner	Bernd	Universität Potsdam
Weber	Bernd	Universität Potsdam
Weber	Klaus	Universität Göttingen
Wohlenberg	Jürgen	TH Aachen
Wörner	Gerhard	Universität Göttingen
Zeh	Armin	Universität Würzburg