

Schlußbericht

Dr. Wilfried Jokat

Stiftung Alfred-Wegener-Institut
Postfach 12 01 61
27515 Bremerhaven



Südöstlicher Atlantik und südwestlicher Indik: Rekonstruktion der sedimentären und tektonischen Entwicklung seit der Kreide

**AISTEK-III: Natal-Becken und Mosambik Rücken
BMBF-Förderkennzeichen: 03G0730A**

Laufzeit des Vorhabens: 1.2.2009 – 31.05.2011

Berichtszeitraum: 1.2.2009 – 31.05.2011

1 Inhaltsverzeichnis	2
2 Kurzdarstellung der Ziele des Vorhabens	3
3 Instrumentierung zur Durchführung des Vorhabens	3
4 Stand der Wissenschaft vor Beginn des Vorhabens	4
5 Zusammenarbeit mit Kooperationspartnern	8
6 Planung und Ablauf des Vorhabens	9
6.1 Integration von Datensätzen anderer Quellen	11
6.2 Datenerfassung und -bearbeitung	11
6.2.1 Navigation	11
6.2.2 Magnetik	11
6.2.2.1 Magnetische Basisstation	11
6.2.2.2 Geschleppte Magnetik	12
6.2.3 Schwere	13
6.2.4 Bathymetrie	15
6.2.4.1 Datenerfassung an Bord	15
6.2.4.2 Rohdateneditierung	16
6.2.4.3 Messungen der Wasserschallgeschwindigkeit	16
6.2.4.4 Gridberechnung und Kartenherstellung	18
7 Ergebnisse der Expedition	20
7.1 Magnetik	20
7.2 Gravimetrie	23
7.3 Diskussion der Ergebnisse	24
8 Verwendete Programme	25
9 Veröffentlichungen und Weitergabe der Daten an andere Institutionen	26
10 Literaturverzeichnis	26
11 Anhang	30

2 Kurzdarstellung der Ziele des Vorhabens

In Fortführung der Expeditionen AISTEK I und II mit RV Sonne im Jahr 2005, die sich auf die Region des Transkeibeckens und des Agulhasrückens, bzw. des Mosambikbeckens und des Mosambikkanals konzentrierten, sollte die Expedition AISTEK III eine flächendeckende geowissenschaftliche Datenbasis zwischen dem Mosambikrücken und dem Natalbecken erheben, um Hinweise auf die frühe Entwicklungsgeschichte dieser Region zu erhalten, welche wiederum zu einer Verbesserung der bestehenden kinematischen Modelle der Aufbruchsgeschichte Gondwanas beitragen.

Die Magnetikdaten von AISTEK II ließen die Existenz in West-Ost-Richtung orientierter, magnetischer Spreizungsanomalien am Mosambikrücken vermuten. Zur Verifizierung dieser Hypothesen wurde geplant im Rahmen von AISTEK III den Rücken mit in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Messlinien weitgehend abzudecken, wobei an die bestehenden Profile anzuschließen war. Im nördlichen Natalbecken war geplant, Linien sowohl in Nord-Süd- als auch in West-Ost-Richtung zu fahren, um die Existenz magnetischer Spreizungsanomalien zu überprüfen. Entlang der Messlinien sollten zudem kontinuierlich gravimetrische und bathymetrische Daten gewonnen werden.

3 Instrumentierung zur Durchführung des Vorhabens

Das Projekt AISTEK-III konnte mit Hilfe des Forschungsschiffes PELAGIA des niederländischen NIOZ („Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee“) durchgeführt werden. Zur Navigation wurden die bordeigenen GPS-Systeme sowie selbstinstallierte GPS-Empfänger verwendet. Die Messung des Absolutwertes des Erdmagnetfeldes entlang der Messprofile erfolgte mittels eines SeaSpy™ Gradiometersystems der Firma Marine Magnetics Corp., das von GSE Rentals Ltd. (Aberdeen, Schottland) ausgeliehen wurde. Das System bestand aus zwei Magnetometern, die in linearer Anordnung mit einem Zwischenabstand von 100 m in 200-400 m Entfernung hinter dem Schiff gezogen wurden. Um den Tagesgang des magnetischen Feldes in der Region zu erfassen bzw. zu korrigieren, wurde in Durban ein GSM-19 Overhauser Magnetometer als Basisstation während des gesamten Zeitraumes der Expedition betrieben.

Zur Messung des Erdschwerefeldes wurde an Bord ein ZLS S-56 AirSea Gravimeter des AWI installiert. Für Landanschlussmessungen stand ein tragbares LaCoste & Romberg – Gravimeter zur Verfügung. Die bathymetrische Vermessung des Meeresbodens wurde mit der fest im Schiff installierten Fächersonaranlage Kongsberg Simrad EM 302 durchgeführt. Zur Bestimmung der physikalischen Parameter des Meerwassers wurden an drei Positionen im Natalbecken CTD-Messungen (Conductivity, Temperature, Depth) vorgenommen. Dazu wurde eine von Sea-Bird Electronics Inc. (SBE) entwickelte CTD-Sonde verwendet.

Generell war der Aufbau der gesamten Messtechnik identisch mit der AISTEK II Messanordnung und soll hier nicht noch einmal wiederholt werden. Für eine detaillierte Beschreibung der Messgeräte sowie deren Aufbau und Konfiguration siehe Jokat et al. [2009].

4 Stand der Wissenschaft vor Beginn des Vorhabens

Die Rekonstruktion der Prozesse während des Aufbruchs von Gondwana ist nur im Ansatz verstanden. Die Schwierigkeiten liegen einerseits in der Tatsache begründet, dass in vielen für eine exakte Rekonstruktion wichtigen Regionen nach wie vor die geowissenschaftliche Datenlage mangelhaft ist. Andererseits ist in manchen Regionen aufgrund der Komplexität der dort ablaufenden geologischen Prozesse sowie der Mehrdeutigkeit erhobener Daten eine sichere Interpretation schwierig. Dies trifft auf den Mosambikrücken und das Natalbecken zu.

Der Kontinentalrand des südöstlichen Afrikas ist vom Typ eines gesicherten Kontinentalrandes, der sich in der unteren Kreide im Zuge der Trennung von Westgondwana (Südamerika) von Afrika trennte. Das Falklandplateau trennte sich entlang der Agulhas-Falkland-Bruchzone vom südlichen Afrika. Das östlich des Mosambikrückens gelegene Mosambikbecken und der nördlich davon befindliche Mosambikkanal wurden hingegen durch die Relativbewegung zwischen Afrika und der Antarktis gebildet. Innerhalb einer relativ kleinen Region Gondwanas grenzten somit die Kontinentalmassen Afrikas, Südamerikas und Ostgondwanas im nördlichen Natalbeckens aneinander. Die heutige geographische Anordnung der Kontinente bzw. der im folgenden zitierten Strukturelemente der Region ist in Abbildung 1 zusammengefasst.

Der Mosambikrücken ist ein aseismischer, unterseeischer Gebirgszug, der sich vor der Südküste Mosambiks von etwa 26°S bis etwa 35°S erstreckt und in mehrere strukturelle Einheiten unterteilt ist. Der Rücken hat einen asymmetrischen Querschnitt und trennt das Natalbecken im Westen vom Mosambikbecken im Osten. Eine scharfe nördliche Abgrenzung des Rückens läßt sich nicht ausmachen. Das weitläufige Alidade-Plateau, das auch einen Großteil des nördlichen Natalbeckens bildet, wird durch den Arielgraben (Abb. 1) vom südlich anschließenden, viel kleineren Danaplateau getrennt. Der Ariel-Graben ist bis zu 4000 m tief und verbindet bei 31°20' S das Natalbecken im Westen mit dem Mosambikbecken im Osten.

Wiederum weiter südlich liegt das Galathea-Plateau, vom Dana-Plateau durch einen Sattel abgesetzt. Der Umitakagraben (bei 31.5°S) bildet die Grenze zum mächtigen Vauban-Plateau, das bei 25°W/33°S liegt und den Mosambikrücken dominiert. Die vorherrschende Nord-Süd-Ausrichtung des Mosambikrückens ändert sich im Bereich dieses Plateaus und geht über in eine Südwest-Nordost-Streichrichtung, die bereits dem zentralen Vauban-Plateau zuzurechnen ist. Zwei Plateaus im Südwesten bilden das südliche Ende des Mosambikrückens, bevor der Meeresboden zum angrenzenden Transkei-Becken abfällt. Diese sind das Robert-Giraud-Plateau im Westen und eine weite Terrasse, das Rennel-Plateau, im Osten, beide voneinander und vom Vauban-Plateau durch den sich gabelnden Du-Toit-Graben (24°W/34°S) getrennt (Abb. 1).

Das Natalbecken läßt sich in einen südlichen und einen nördlichen Teil unterteilen. Eine detaillierte Bathymetrie des nördlichen Natalbeckens sowie eine stratigraphische Interpretation der Oberflächenstrukturen wurde von Dingle et al. [1978] veröffentlicht. Das nördliche Natalbecken wird im Norden von den Küstenebenen des Mosambikbeckens, im Westen von den Ausläufern der Lebombo-Monokline, im Osten von den nördlichen Ausläufern des Mosambikrückens und der Mosambik-Bruchzone und gegen Süden, bei etwa 29°S, vom Naudé-Rücken und dem südlichen Natalbecken begrenzt. Es weist deutlich geringere Wassertiefen als das südliche Natalbecken auf [Dingle et al., 1978].

In Publikationen der 60er und 70er Jahre wurde anhand refraktionsseismischer und gravimetrischer Daten auf eine ozeanische Krustenstruktur des südlichen Natalbeckens und des Transkeibeckens geschlossen [Green and Hales, 1966; Ludwig et al., 1968; Hales and Nation, 1973; Dingle and Scrutton, 1974; Scrutton, 1976; Chetty and Green, 1977]. Zusätzlich wurden im südlichen Natalbecken, basierend auf Magnetikdaten von Nordwest nach Südost verlaufende mesozoische Spreizungsanomalien von M0 bis M10 identifiziert [Goodlad et al., 1982; Martin et al., 1982], die im frühen Stadium des Aufbruchs Westgondwanas entstanden sein müssen. Ältere Korrelationen existieren, welche die Autoren unter Vorbehalt als M11 und M12 bezeichneten. Martin und Hartnady [1986] wie auch Raillard [1990] hielten diese Identifikationen für nicht zuverlässig und postulierten einen Beginn der ozeanischen Spreizung im Natalbecken bei M10N (133 Ma). Nach Martin et al. [1981] und Goodlad et al. [1982] wird die Kontinent-Ozean-Grenze durch den südlichen Tugela-Rücken markiert (Abb. 1).

Besteht über die ozeanische Natur des südlichen Natalbeckens breite Einigkeit, ist jedoch die Entstehung und die Krustenstruktur des Mosambikrückens und des nördlichen Natalbeckens umstritten. Aus Studien von Schweredaten folgerten Darracott [1974] bzw. Scrutton [1976], dass das nördliche Natalbecken aus gedehnter kontinentaler oder Übergangskruste mit einer Dicke von ca. 20 km besteht.

Cox [1992] schlug für den Aufbruch in West- und Ostgondwana einen zweiphasigen Riftprozess vor. Während der ersten Phase hat sich Ostgondwana relativ zu Westgondwana in nordöstlicher Richtung bewegt. Dabei seien u.a. die Ebenen Südmosambiks zwischen der Lebombo-Monokline und der Mosambik-Bruchzone gebildet worden. Diese „Mozambique Thinned Zone“ bestehe entweder aus ozeanischer Kruste, aus gedehnter kontinentaler Kruste oder aus einer Mischung davon. Watts [2001] favorisierte ozeanische Kruste und machte dies an kombinierter Backstripping- und Schweremodellierung des Kontinentalrandes Mosambiks fest.

Der Mosambikrücken war ab den 60er Jahren Ziel mehrerer geophysikalischer Erkundigungen, doch bis heute ist seine Krustennatur nicht hinreichend geklärt. Die Gründe hierzu sind, dass a) keine modernen tiefenseismischen Daten existieren und b) der Rücken nicht systematisch beprobt wurde, um die Natur des Grundgebirges zu bestimmen. Ein kontinentaler Mosambikrücken bereitet in Rekonstruktionen Gondwanas Probleme, da seine heutige Position zu Überlappungen mit der Ostantarktis führt. Dies Problem stellt sich nicht, wenn man annimmt, dass der Rücken entweder vollständig oder zumindest überwiegend aus ozeanischer Kruste besteht oder aber früher eine nördlichere Position als heute eingenommen hat. Das wiederum setzt voraus, dass Teile des nördlichen Natalbeckens sowie der Küstenebenen Mosambiks aus gedehnter kontinentaler bzw. ozeanischer Kruste bestehen, um in der Zusammensetzung der Kontinente Raum für einen kontinentalen Mosambikrücken zu schaffen.

Laughton et al. [1969] hielten den Rücken aufgrund seiner Bathymetrie und Lage für ein kontinentales Fragment. Gestützt auf die Identifikation in Nord-Süd-Richtung verlaufender Korrelationen zwischen drei parallelen, von der Küste Südafrikas bis zum Madagaskar-Plateau geflogenen Magnetikprofilen sowie auf der Annahme einer Position Madagaskars in Gondwana im Bereich des heutigen Mosambikkanals, hielt Green [1972] den Mosambikrücken für ozeanisch und für das erloschene Zentrum einer in Ost-West-Richtung verlaufenden Ozeanspreizung. Die Existenz einer solchen Spreizung wurde auch von Flores [1970] vertreten. Scrutton [1973] hingegen

hielt diese Annahme aufgrund des fehlenden Zentraltales am Mosambikrücken und nicht gefundener magnetischer Anomalien für fragwürdig.

Hales & Nation [1973] sowie Chetty & Green [1977] präsentierten Sonobojeprofile im Transkei-/südlichen Natalbecken und am Mosambikrücken. Ein Profil über dessen südlichsten Teil ergibt eine Krustendicke von etwa 22 km. Hieraus wurde geschlossen, dass sich dieser Teil des Rückens im isostatischen Gleichgewicht mit der im Westen und Osten anschließenden ozeanischen Kruste befindet [Hales & Nation, 1973].

Im Rahmen des Deep Sea Drilling Projects (DSDP) wurde in der Region an drei Stellen gebohrt. Bohrloch 248 lag etwa 50 km östlich der steilen Flanke des Dana-Plateaus im westlichen Mosambikbecken, bei 37.4747°W/29.5297°S.

Unter einer etwa 422 m dicken Sedimentschicht und einer ca. 6 m Beprobungslücke, wurden 3.6 m porphyritische Basalte erbohrt [Simpson et al., 1974]. Diese unterscheiden sich in ihrer Petrochemie deutlich von MORB-Gestein.

Bohrloch 249 lag direkt auf dem Mosambikrücken, genauer gesagt auf dem Sattel zwischen Dana- und Galathea-Plateau, bei 36.0770°W/29.9498°S. Nach dem Durchteufen von 408 m Sedimenten wurden hier 3.1 m an glasigem, vesikulärem und verwittertem Basalt unbestimmten Alters erbohrt. Die Proben zeigen geochemische Ähnlichkeiten zu MORB-Gestein was daher für eine ozeanische Natur des Rückens spricht [Simpson et al., 1974; Erlank & Reid, 1974; Thompson et al., 1982; Maia et al., 1990]. Raillard [1990] korrelierte die Bohrung mit Reflexionsseismik der französischen Expedition MD-60/MACAMO-II und schloss daraus, dass die Bohrung nicht das Basement erreichte, sondern die Basalte wahrscheinlich von einem Sill stammten. Bohrloch 250/250A im Mosambikbecken erbrachte 11.2 m an olivinhaltigen Basalten.

Martin und Hartnady [1986] favorisierten einen ozeanischen Ursprung des Rückens und schlugen eine Entstehung als Teil der antarktischen Platte zwischen M21 und M2 vor, bevor der Rücken durch eine Umordnung der Spreizungsgeometrie Teil der afrikanischen Platte wurde.

Recq & Goslin [1981] nutzten die aus den Seismikprofilen bestimmten Dichten, um bei bekannter Moho- und Wassertiefe die Region auf isostatische Kompensation hin zu untersuchen. Sowohl der Mosambikrücken als auch das Agulhas-Plateau sowie das nördliche Madagaskar-Plateau befinden sich ihnen zufolge nach dem Airy-Modell im isostatischen Gleichgewicht mit den umgebenden Ozeanbecken. Die berechnete durchschnittliche Krustendichte ist jedoch für den Mosambikrücken mit $2,81 \text{ kg/m}^3$ höher als für die Ozeanbecken ($2,6\text{-}2,7 \text{ kg/m}^3$).

Maia et al. [1990] gelangten mittels 2.5-dimensionalen Isostasieuntersuchungen des Mosambikrückens zum selben Ergebnis dass der Rücken lokal kompensiert ist. Sie postulierten eine ozeanische Natur und eine Entstehung durch ungewöhnliche vulkanische Aktivität eines Spreizungssystems zwischen M10 und M2. Die Möglichkeit, dass der Rücken aus stark verwitterter und intrudierter kontinentaler Kruste besteht, konnten die Autoren dennoch nicht gänzlich ausschließen.

Doucouré und Bergh [1992] vertraten ebenfalls anhand einer 2D-Schweremodellierung entlang eines Profils über den südlichen Mosambikrücken die Ansicht, der Rücken sei lokal kompensiert (Kompensationstiefe 27-31 km). Vergleiche mit dem ozeanischen südlichen Madagaskar-Plateau und typischer ozeanischer und kontinentaler Kruste ließen sie jedoch zur Ansicht gelangen, dass dem Rücken kontinentale Kruste unterlegt ist. Die beobachtete hohe Krustendichte und die starken magnetischen Anomalien erklärten sie mit basaltischen Intrusionen bzw. Extrusionen.

Im Jahr 1989 wurden im Rahmen der französischen Expedition MD-60/MACAMO-II 3600 km Einkanal-Reflexionsseismik und Magnetik am Mosambikrücken gemessen, sowie an drei Stellen Gesteinsproben gewonnen (DR1-3, für Dredgepositionen siehe Abb. 1) [Raillard, 1990; Mougénot et al., 1991]. DR1 und DR3 erbrachten präkambrische Metamorphgesteine (DR1 im nordwestlichen Du-Toit-Graben: granatreiche Kinzigite sowie Sillimanite, DR3 am Ostrand des Galatheaplateaus: Anorthosite, Gneisse und Metagabbros). DR2 am Ostrand des Vauban-Plateaus erbrachte silikatreiche tholeiitische Basalte, die die Autoren ihrer Petrochemie nach nicht für ozeanischen Ursprungs hielten. Diese Proben veranlassten die Autoren, die dem Mosambikrücken unterliegende Kruste als kontinental einzustufen.

Am südwestlichen Rand des Robert-Giraud-Plateaus wurden im Jahr 1991 metamorphe Gesteine mit granathaltigen Metapelliten gedredged, von denen einige Gneiss enthielten. Ähnlichkeiten bestehen zu Steinen, die von Allen und Tucholke [1981] am südlichen Agulhasplateau gefunden wurden und sie sind vergleichbar mit Steinen vom Natalgürtel in der Namaqua Provinz im südlichen Afrika [Hartnady et al., 1992; Ben-Avraham et al., 1995]. Außerdem fand man vulkanisches Glas, was die Autoren als Hinweis für jüngere vulkanische Aktivität in der Region deuteten. Auch Mougénot et al. [1991] zog jüngere vulkanische Eruptionen am Mosambikrücken in Betracht, um beobachtete magnetische Anomalien kurzer Wellenlängen und starker Amplituden zu erklären. Reflektionsseismische Daten zeigen am Mosambikrücken ein System von in Ost-West- bzw. Südost-Nordwest-Richtung verlaufenden Gräben und Halbgräben am Rücken [Raillard, 1990; Mougénot et al., 1991].

Tikku et al. [2002] fanden in Satellitenaltimetrie/-bathymetriedaten subparallele, konkave Schwerelineationen im östlichen Teil des nördlichen Natalbeckens und schrieben diese Brüchen zu, die während des pliozänen Fortschreitens des westlichen Arms des Ostafrikanischen Riftsystems entstanden. Sie identifizierten ein in Ost-West-Richtung verlaufendes, erloschenes Spreizungszentrum und auf beiden Seiten die Spreizungsanomalien M10 und M4 im nördlichen Natalbecken. Der Mosambikrücken, dessen nördlichen Teil sie für ozeanisch, den zentralen und südlichen Teil für kontinental hielten, sei von etwa Chron M11 bis etwa Chron M2 Teil einer eigenen Mikroplatte gewesen [Marks & Tikku, 2001; Tikku et al., 2002]. König & Jokat [2010] fanden hingegen deutliche magnetische Spreizungsanomalien in Magnetikprofilen, die im Rahmen von AISTEK II 2005 am Mosambikrücken gemessen wurden, und schlugen eine ozeanische Natur des gesamten Rückens vor, der in mehreren Episoden während einer lang anhaltenden vulkanischen Aktivität zwischen 140 und 122 Ma entstanden sei.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sowohl die seismischen als auch die Potentialfelddaten mehr auf eine ozeanische Natur des Rückens schließen lassen. Die Gesteinsproben hingegen weisen mehrheitlich auf einen aus kontinentaler Kruste bestehenden Rücken hin.

5 Zusammenarbeit mit Kooperationspartnern

Folgende Institutionen am Projekt beteiligt:

AWI Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in der Helmholtz-Gemeinschaft

Postfach 120161
27515 Bremerhaven
Deutschland

DURB School of Geological Sciences

Westville Campus
University of KwaZulu-Natal
Durban 4001
Südafrika

EMU Eduardo Mondlane University

Department of Geology
Maputo, PO Box 257
Mosambik

NIOZ Royal Netherlands Institute for Sea Research

Landsdiep 4
1797 SZ 't Horntje (Texel)
Niederlande

NIPR National Institute of Polar Research

1-9-10 Kaga, Itabashi,
Tokyo, 173-8515, Japan

PASA Petroleum Agency of South Africa

151 Frans Conradie Drive
Parow, 7500, Südafrika

JSC Joint Council for Geoscience/University of

KwaZulu-Natal Marine Geoscience Unit,
Durban

6 Planung und Ablauf des Vorhabens

Aus logistischen Gründen wurde das Vorhaben in zwei Fahrtabschnitte aufgeteilt. Der erste - 64PE305 - dauerte von 09.04.2009 bis 06.05.2009, der zweite – 64PE306 - von 07.05.2009 bis 01.06.2009. Start und Zielhafen war jeweils Durban, Südafrika. Somit standen abzüglich der Aus- und Einlauftage insgesamt 54 Tage auf See zur Verfügung. Der erste Fahrtabschnitt konzentrierte sich zunächst auf den Mosambikrücken, um das im Jahr 2005 begonnene Linienmuster zu ergänzen. Anschließend wurden sechs parallele Profile im südlichen Natalbecken gefahren, um eine etwaige Fortsetzung der von Goodlad et al. (1982) identifizierten Spreizungsanomalien nach Osten hin zu überprüfen und Aussagen über den Übergang zum Mosambikrücken machen zu können. Dieser Teil des Vorhabens konnte aufgrund des schlechten Wetters nicht vollständig erledigt werden.

Der zweite Fahrtabschnitt hatte überwiegend das nördliche Natalbecken zum Ziel, wo ein dichtes Netz von in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Messlinien gefahren sowie sieben in West-Ost-Richtung ausgerichtete Profile vermessen wurden. Zudem konnten zwei weitere Profile am westlichen Mosambikrücken erhoben werden. Aus Wettergründen konnte leider der Übergang zum südlichen Natalbecken letzten Endes nicht vollständig abgedeckt werden und es blieb eine Lücke offen.

Die Systeme liefen während beider Fahrtabschnitte weitgehend einwandfrei. Kleinere Probleme gab es durch Störungen in den Daten der selbstinstallierten GPS-Geräte, deren Ursache nicht gefunden werden konnte. Am 17. Mai musste der Datenerfassungsrechner für die geschleppten Magnetiksensoren ausgetauscht werden und ab dem 21. Mai konnte nur noch mit einem Sensor gemessen werden, da sich der hintere Sensor in einer Fischfangleine verheddert hatte und dabei beschädigt wurde. Während der zwei Fahrtabschnitte (28 und 26 Tage) legte das Schiff insgesamt 19637 km (10603 SM) zurück, wobei die mittlere Fahrtgeschwindigkeit 8-8.5 bzw. 9-9.5 Knoten betrug. Der Linienabstand variierte zwischen 18 und 36 km.

Für eine Übersicht über die Geographie der Region und den die zurückgelegten Messlinien siehe Abbildung 1.

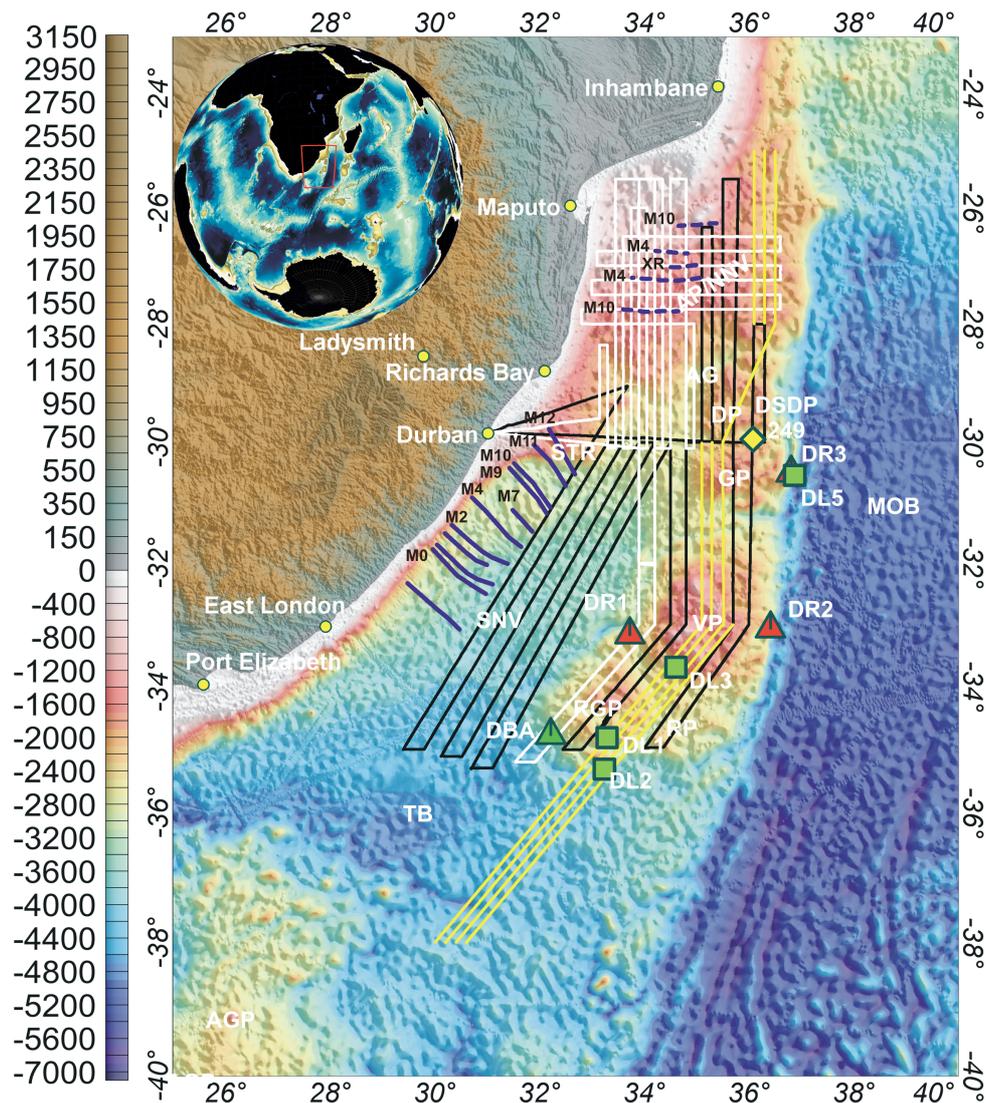


Abb. 1: Übersichtskarte des Forschungsgebietes von AISTEK III. Unterlegt ist die Bathymetrie/Topographie nach [GEBCO_08] gemäß nebenstehender Farbskala (Tiefe/Höhe in Metern). Die Fahrtlinien des ersten Fahrtabschnittes von AISTEK III sind in schwarz, die des zweiten Fahrtabschnittes in weiß gezeichnet. Die gelben Linien zeigen die für die Studie relevanten Fahrtlinien von AISTEK II [Jokat et al., 2006; König & Jokat, 2010]. Blaue, durchgezogene Linien markieren die von Goodlad et al. [1982] im südlichen Natalbecken identifizierte Isochronen, die von Tikku et al. [2002] im nördlichen Natalbecken erbrachten Identifikationen sind mit gestrichelten blauen Linien gekennzeichnet.

Dredge- und Bohrlochpositionen sind durch Symbole kenntlich gemacht. Folgende Abkürzungen werden verwendet: AG: Ariel Graben; AGP: Agulhas-Plateau; AP/NNV: Alidade-Plateau/Nördliches Natalbecken; DBA: Dredgeposition nach Ben-Avraham [1995]; DL1/2/3/5: Dredgepositionen AISTEK II; DP: Dana-Plateau; DR1/2/3: Dredgepositionen Raillard [1990]; DSDP: Bohrlöcher des Deep Sea Drilling Projects; GP: Galathea-Plateau; MOB: Mosambikbecken; RGP: Robert-Giraud-Plateau; RP: Rennel-Plateau; SNV: Südliches Natalbecken; STR: Süd-Tugela-Rücken; TB: Transkeibecken; VP: Vauban-Plateau

6.1 Integration von Datensätzen anderer Quellen

Im Rahmen der Kooperation mit der Petroleum Agency of South Africa (PASA) wurden Potentialfeld- und (aufgrund technischer Probleme sehr stark gestörte) Seismikdaten einer Expedition mit dem Schiff Akademik Boris Petrov aus 2007 am östlichen Rand des Mosambikrückens bereitgestellt. Die Potentialfelddaten wurden im Rahmen der Analyse der Region mit einbezogen, flossen jedoch aufgrund des geringen zusätzlichen Erkenntnisgewinns weder in Auswertung noch in Abbildungen ein.

Die am Mosambikrücken gewonnenen Magnetik- und Schweredaten der Expedition AISTEK II [Jokat, 2006; König & Jokat, 2010] sowie alte Schiffsmagnetik aus der NGDC-Datenbank wurden in die Auswertung einbezogen.

6.2 Datenerfassung und -bearbeitung

6.2.1 Navigation

Aufgrund der Vollständigkeit und der guten Qualität wurden die vom NIOZ bereitgestellten Navigationsdaten der bordeigenen GPS-Systeme verwendet. Die Koordinaten der Magnetiksensoren wurden durch Zurückverlegung der Schiffposition um die bekannten Schiff-Sensor-Abstände entlang der bekannten Fahrtroute berechnet. Für die Gravimetrie wurden die Koordinaten des Schiffes verwendet, da die Lageabweichungen, insbesondere in Anbetracht der durch das Gravimeter selber erfolgenden starken Filterung der Messungen auf See, vernachlässigbar waren.

6.2.2 Magnetik

6.2.2.1 Magnetische Basisstation

Das GSM-19 Overhauser Magnetometer erfasste das magnetische Totalfeld mit einem Abtastintervall von 10 s. Die Daten wurden mit Standardmethoden prozessiert. Zunächst wurden Ausreißer und sonstige Daten-Artefakte manuell entfernt und die Daten mit einem Halbstunden-Tiefpassfilter gefiltert. Zur Ermittlung des magnetischen Ruhenniveaus der Daten wurde der Mittelwert der magnetisch ruhigsten Tage ermittelt. Hierzu wurden die gefilterten Messdaten in Tageseinheiten aufgeteilt und von diesen jeweils das arithmetische Tagesmittel sowie die Differenz zwischen Tagesmaximum und Tagesminimum berechnet. Von April und Mai wurden jeweils die Tage ausgewählt, die dem selbstgesetzten Kriterium der Wertespanne < 16 nT entsprachen (in Tabelle 1 durch Fettschreibung der Wertespanne kenntlich gemacht).

Zusätzlich wurden der kp-Index gemäß <http://isgi.latmos.ipsl.fr/lesdonne.htm> und der Dst-Index gemäß <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/index.html> für die Bewertung der Daten hinzugezogen. Den ausgewählten Tagen wurden für April und Mai jeweils zwei Tage mit niedrigem Kp-Index hinzugefügt (in Tabelle 1 durch Fettschreibung der kp-Indizes gekennzeichnet). Von den ausgewählten Tagen wurden der 19.04.2009, der 18.05.2009 sowie der 24.05.2009 aufgrund höherer Werte sowohl des kp-, als auch des Dst-Indexes ausgeschlossen. Der 21.04.2009 verblieb trotz seiner höheren Index-Werte aufgrund seiner geringen Wertespanne und um für den Monat April zumindest drei Tage zur Mittelwertbildung verwenden zu können, in der Auswahl.

Die grau hinterlegten Tage in Tabelle 1 bezeichnen jene Tage, die schließlich zur Berechnung des Ruhewertes herangezogen wurden. Von deren Tagesmittelwerten wurde das arithmetische Mittel gebildet, welches **28210.04 nT** betrug. Dieser Wert wurde als Ruhenniveau von den gefilterten Basisdaten abgezogen.

Datum	Wertespanne [nT]	Mittelwert [nT]	Kp-Index	Dst-Index
19.04.2009	15.55	28210.43	10-	-6
21.04.2009	15.14	28212.22	8+	-4
23.04.2009	19.40	28210.44	3o	-2
30.04.2009	25.00	28210.94	4o	-3
12.05.2009	17.45	28211.75	2-	-5
17.05.2009	12.14	28207.30	2+	-1
18.05.2009	15.45	28213.37	6-	4
24.05.2009	14.86	28202.56	7o	-4
26.05.2009	13.32	28207.74	4+	2
27.05.2009	27.82	28209.88	2o	1

Tab. 1: Ermittlung des magnetischen Ruhewertes zur Korrektur der Messdaten der Magnetik-Basisstation

6.2.2.2 Geschleppte Magnetik

Die Abtastrate lag nach anfänglichen Versuchen mit größerer Auflösung ab dem 19. April bei 5 s. Dem entspricht - bedingt durch die Fahrtgeschwindigkeit – ein räumliches Samplingintervall der Magnetikmessungen von ungefähr 25 m. Ab dem 21. Mai konnte nur noch mit einem Sensor gemessen werden [Jokat et al., 2009] und die Messrate wurde auf 3 s erhöht (entspricht räumlich etwa 15 m Messwertabstand). Da die Integration der gemessenen Felddifferenzen zwischen beiden Sensoren, wahrscheinlich vor allem aufgrund nicht bekannter horizontaler Seitenabweichung der Magnetiksensoren während der Fahrt, zu langwelligen Störungen im resultierenden Totalfeld führte, entschieden wir uns unter Berücksichtigung, dass die äußeren Komponenten des Erdmagnetfeldes während des Expeditionszeitraums relativ ruhig blieben, durchgehend nur die Messdaten des ersten Sensors zu verwenden. Die Daten wurden zunächst um das IGRF 2005 (International geomagnetic reference field) und anschließend um die zeitlich entsprechenden, gemäß oben geschilderten Prozedere, aufgearbeiteten Basisdaten korrigiert.

Zur Erstellung einer Magnetikkarte wurden die Linien in geeigneter Form nach Gesichtspunkten der Verteilung der Schnittpunktfehler über die gesamte Messregion aufgetrennt und kleine, unbrauchbare Liniensegmente sowie die Messdaten während der gefahrenen Drehkreise aussortiert. Die am Mosambikrücken gewonnene Magnetik der Expedition AISTEK II [Jokat et al., 2006; König & Jokat, 2010] wurde hinzugezogen. Schnittpunktbildung zwischen den Linien von AISTEK II und jenen von AISTEK III ergab, dass die Daten von AISTEK II im Mittel um 48.2 nT höher lagen als jene von AISTEK III. Dieser Wert wurde somit von den Daten von AISTEK II abgezogen. Anschließend wurden die Schnittpunkte sämtlicher Daten gebildet und deren jeweilige Fehler ermittelt. Diese wurden als Grundlage für ein statistisches Leveln unter Verwendung der Oasis montaj Software mit einem Polynom 0. Ordnung. Anschließend wurden sämtliche Schnittpunktfehler erneut berechnet und halbiert. Für jede Linie wurden die halbierten Schnittpunktfehler mittels eines Akima-Splines interpoliert und bis zu den Linienenden mit dem letzten Schnittpunktfehler konstant

extrapoliert. Dadurch ergab sich für jede Linie ein Korrekturkanal, der die Schnittpunktfehler komplett beseitigt hätte. Da dieser Korrekturkanal jedoch teils starke Unstetigkeiten in der ersten Ableitungen aufwies und seine direkte Anwendungen ein zu starker Eingriff in die Messdaten gewesen wäre, wurde der Korrekturkanal vor der Anwendung mit einem Butterworth-Filter 8. Grades und einer zentralen Grenzwellenlänge von drei Bogenminuten gefiltert und dann auf die Daten aufgerechnet. Zur Erstellung der Levelstatistik wurden nun wiederum sämtliche Schnittpunktfehler berechnet.

Schließlich wurden noch jene Linienstücke gelevelt, die keine Schnittpunkte aufwiesen. Hierzu wurde für jede Linie die Differenz zwischen fertig gelevelten Daten und den Daten nach dem Abzug des Versatzes zwischen AISTEK II und III berechnet. Diese Differenzdaten wurden mittels Minimum Curvature - Methode und einer Zellengröße von 0.1 Grad flächig interpoliert und die Daten dieses Grids entlang der Linien ohne Schnittpunkte extrahiert. Diese Daten wurden dann auf diese Linien aufaddiert.

6.2.3 Schwere

Zu Beginn und zum Ende beider Fahrtabschnitte wurden Schwere-Anschlussmessungen in Durban vorgenommen, mittels derer die Messungen an Bord der Pelagia mit dem „International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN 71)“ verbunden wurden. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Schweremessungen im Hafen von Durban.

Messung	Datum	Uhrzeit	Schwere	LCR-Messung	S56-Messung
DURM A	09.04.2009	11:00	979348.66	2997.36	
SHIP A	09.04.2009	16:48	979347.50	2996.20	9348.25
SHIP B1	06.05.2009	08:16	979351.88	3000.17	9341.47
DURM B	07.05.2009	05:10	979348.66	2996.95	
DULW B	07.05.2009	05:22	979348.73	2997.02	
SHIP B2	07.05.2009	06:35	979351.97	3000.26	9347.27
SHIP C	31.05.2009	12:41	979347.43	2995.55	9338.78
DULW C	31.05.2009	14:29	979348.73	2996.85	

Tab. 2: Anschlussmessungen in Durban während der Expedition AISTEK III

Die Messungen DURM A und DURM B wurden am IGSN Punkt am Port Captain's office. Durmarine Building (Longitude: 31°2.13' E; Latitude: 29°52.05' S; Schwere: 979348.66 mGal) vorgenommen (Bureau Gravimetric International. BGI. Toulouse. France). Mittels LCR-Gravimeter wurde gemäß folgender Relationen die Schwere am Schiff in Nähe des S56-Gravimeters ermittelt.

Schwere DURM A =>	Schwere SHIP A
Schwere DURM B =>	Schwere SHIP B1
Schwere DURM B =>	Schwere SHIP B2
Schwere DURM B =>	Schwere DULW B
Schwere DULW C =>	Schwere SHIP C

Für den ersten Fahrtabschnitt ergab sich eine Instrumentendrift in Höhe von
(979347.50-9348.25) - (979351.88-9341.47) = -11.16 mGal

Zwischen den beiden Fahrabschnitten wurde das Gravimeter nachgelevelt, was zu einer Schweredifferenz vorher und nachher von
(979351.88-9341.47) - (979351.97-9347.27) = 5.71 mGal

Für den zweiten Fahrtabschnitt ergab sich eine Instrumentendrift in Höhe von
(979351.97-9347.27) - (979347.43-9338.78) = -3.95 mGal

Zwischen diesen Werten wurde linear interpoliert und die Differenz zwischen dem Schwerewert bei Messung SHIP A und der zugehörigen S-56-Messung addiert. Die resultierende Zeitreihe wurde zur Driftkorrektur der Messwerte herangezogen.

Weiter wurde mit Hilfe Oasis montajTM Software die Gezeitenkorrektur, die Breitenkorrektur (nach der Internationalen Schwereformel, basierend auf dem 1967 Geodetic Reference System und nach Anwendung eines 0.01 Grad Tiefpassfilter auf die Breitenkorrektur) sowie die Eötvöskorrektur berechnet und angewendet. Nach Berücksichtigung aller Korrekturen wurden die Daten manuell bearbeitet, wobei insbesondere Spikes und durch die Eötvöskorrektur verursachte Artefakte entfernt und anschließend linear interpoliert wurden. Zuletzt wurden die Daten mit einem Butterworth-Tiefpaßfilter (8. Ordnung, Grenzwellenlänge 0.08 Grad) gefiltert.

Die Daten wurden mit jenem Teil der Daten von AISTEK II, 2005 zusammengeführt, die am Mosambikrücken erhoben wurden und gemeinsam gelevelt. Dazu wurden die Daten in Liniensegmente unterteilt und sämtliche Schnittpunktdifferenzen ermittelt. Diese wurden für jede Linie halbiert und eine Ausgleichsgerade hindurchgelegt. Der maximale Schnittpunktfehler vor dem Leveln lag bei 16.28 mGal mit einer Standardabweichung von 5.01 mGal. Nach dem Leveln betrug der maximale Schnittpunktfehler 9.74 mGal und die Standardabweichung 3.26 mGal. Schließlich wurde mittels der minimum curvature – Methode ein Grid der Daten in einer Zellengröße von 0.04 Grad berechnet.

6.2.4 Bathymetrie

6.2.4.1 Datenerfassung an Bord

An Bord des Forschungsschiffes Pelagia ist das Fächersonarsystem Simrad EM302 der Firma Kongsberg installiert. Es sendet mit einer Frequenz von 30 kHz und ist damit besonders für Vermessungen mittlerer Wassertiefen, z.B. auf dem Kontinentalschelf geeignet. Ein Ping liefert bis zu 288 einzelne Tiefenwerte (Beams), bzw. 432 Beams im „high density modus“. Bis auf die ersten Messstunden wurde der „high density modus“ jedoch nicht eingeschaltet, da die höhere Anzahl Beams keine signifikante Verbesserung in der Abdeckung des Meeresbodens und der Qualität des topographischen Modells erbracht hat.

Das System kann mit einem Öffnungswinkel des Fächers von bis zu 130° arbeiten, woraus bei einer Wassertiefe von z.B. 2000 Metern eine Streifenbreite von ca. 8,5 Kilometern resultiert. Abhängig von den Rückstreuungseigenschaften des Meeresbodens, der Meeresbodentiefe oder äußeren Einflüssen wie dem Rollen und Stampfen des Schiffes infolge des Seegangs aber auch durch die stärkeren Geräusche bei größerer Fahrgeschwindigkeit kann das Signal/Rausch-Verhältnis jedoch stark abnehmen. So konnte bei schlechten Wetterbedingungen und Gegenwind streckenweise nur noch mit einem Öffnungswinkel von 40° gemessen werden, was bei einer Wassertiefe von 2000 Metern eine Reduzierung der Streifenbreite auf 1,46 Kilometern bedeutet. Nach Aussagen des Bordingenieurs ist fernerhin die optimale Fahrgeschwindigkeit der RV Pelagia ca. 5 ktn, um die Chance zu haben, die maximale Streifenbreite zu erhalten. Aufgrund der Planung fuhr das Schiff mit mehr als 8 ktn überwiegend nicht in diesem für das Fächersonar optimalen Geschwindigkeitsbereich.

Die Steuerung der Sonaranlage und die Anpassung der Laufzeitparameter erfolgten über die Software „Seafloor Information System“ (SIS) der Firma Kongsberg. Es wurde eine schwache Online-Filterung gewählt, indem der „Spike Filter Strength“ auf „Medium“ und das „Range Gate“ auf „Small“ eingestellt wurden.

Während der 53 Seetage konnten ununterbrochen Daten aufgezeichnet werden, wobei der Datenausfall infolge von Systemfehlern weniger als eine Stunde betrug. Die vermessene Wegstrecke beträgt 10.598 nautische Meilen bzw. 19.627 Kilometer. Dabei entfallen 5.404 Meilen (10.008 Kilometer) auf den Fahrtabschnitt 64PE305 und 5.194 Meilen (9.619 Kilometer) auf den Abschnitt 64PE306. Im Ganzen wurden ~17,7 Millionen Pings ausgesendet mit insgesamt ~ 4 Milliarden Beams bzw. einzelnen Tiefenwerten, die eine Gesamtfläche von ca. 57.900 km² überdecken. Die Rohdaten wurden im Simrad Rohdatenformat (*.all) in 2409 Dateien mit einer Gesamtgröße von 31 Gigabyte abgespeichert.

6.2.4.2 Rohdaten-Editierung

Für die Erfassung und Editierung der Fächersonardaten waren drei wissenschaftliche Operateure an Bord, die die Systemparameter regelmäßig den Bedingungen angepasst und somit eine verlustfreie und qualitativ bestmögliche Datenaufzeichnung über die gesamte Expedition gewährleistet haben. Insbesondere während der Schlechtwetterperioden sind die Daten jedoch mit groben Ausreißern behaftet, die im Postprocessing manuell bereinigt wurden. Die Rohdaten-Editierung wurde während der Fahrt durchgeführt und abgeschlossen, wobei das

Softwareprodukt HIPS/SIPS 6.1 der Firma CARIS zum Einsatz kam. Für diese Arbeiten wurde ein vorinstallierter PC des AWI mit an Bord gebracht.

Von den rund 4 Milliarden Beams wurden kapp 70 Millionen, d.h. 1,8 % als Ausreißer markiert und bei der weiteren Prozessierung ausgeschlossen.

6.2.4.3 Messungen der Wasserschallgeschwindigkeit

Für präzise bathymetrische Vermessungen ist die genaue Kenntnis der Schallgeschwindigkeit im Wasser erforderlich. Diese wird aus den Messgrößen einer CTD-Sonde berechnet, die beim Fieren die Temperatur, den Druck und den Salzgehalt je Tiefenmeter kontinuierlich registriert. Aufgrund der Größe des Messgebietes und der daraus resultierenden Unterschiede des Wasserkörpers wurden drei CTD-Messungen – je eine in Norden, im Zentrum und im Süden des Messgebietes – vorgenommen. Zum Einsatz kam eine SEA-BIRD CTD-Underwater Unit 9plus mit der Deck Unit SEA-BIRD Model 11plus. Die Umrechnung der Messgrößen in die Schallgeschwindigkeit erfolgte mit der Software SBE Seasave Win32, version 5.37d nach der Formel von Chen and Millero (1977).

Station	64PE305/1	64PE305/3	64PE306/2
Datum /	10.04.2009	22.04.2009	27.05.2009
Zeit	08:00 Uhr	17:15 Uhr	18:00 Uhr
Position	29.9267° S 33.6094° O	34.5800° S 33.2300° O	27.7000° S 34.3500° O
Tiefe	2717 m	2388 m	1562 m
DOI	10.1594/PANGAEA. 726473	10.1594/PANGAEA. 726474	10.1594/PANGAEA. 726475

Tab. 3: Statistik der CTD-Messungen

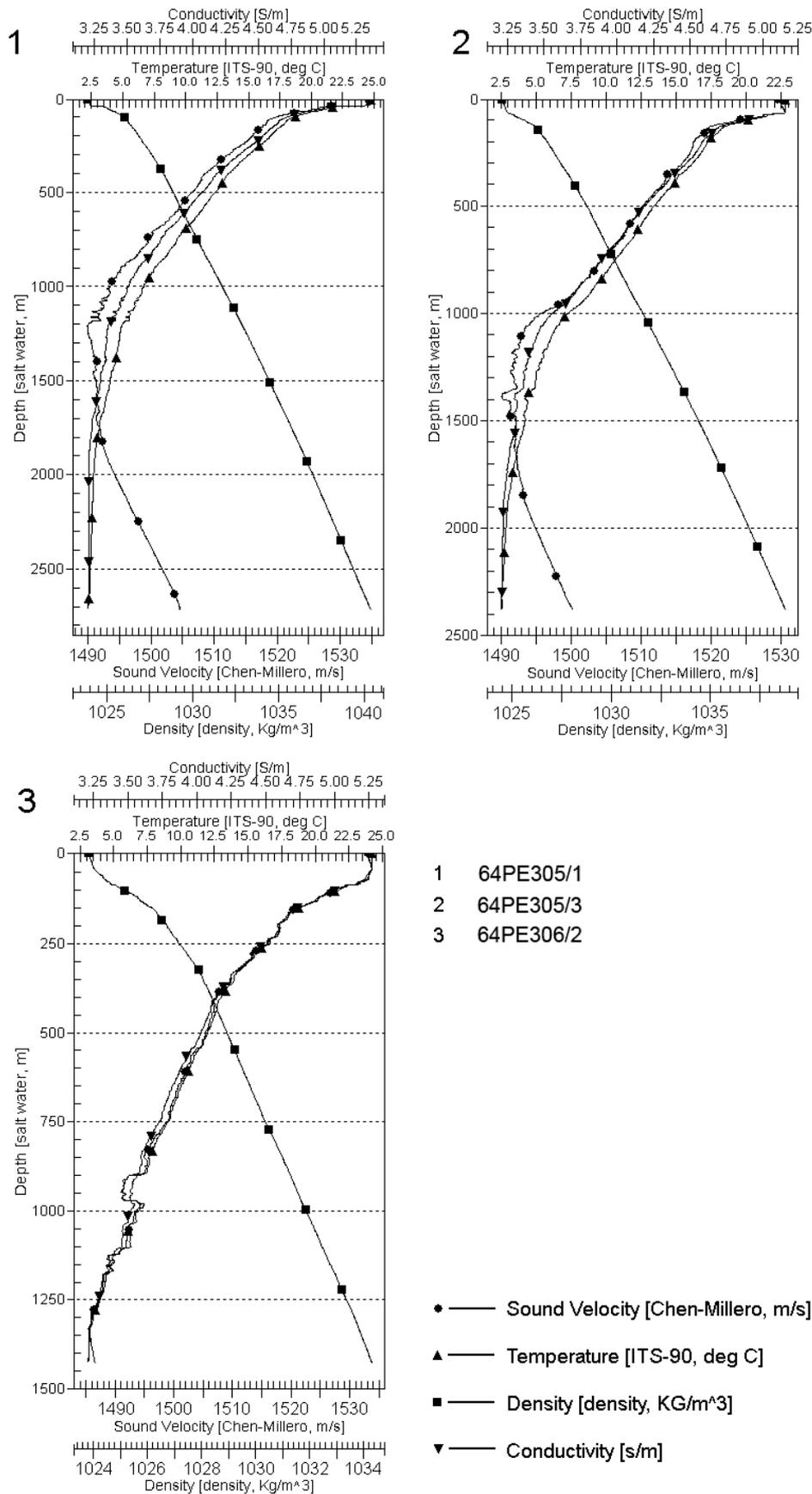


Abb. 2: Graphische Darstellung von Schallgeschwindigkeit, Temperatur, Dichte und Leitfähigkeit der CTD-Messungen

6.2.4.4 Gridberechnung und Kartenherstellung

Bei der Berechnung der Tiefenraster des Mosambik Rückens sind neben der Bathymetrie des aktuellen Projekts auch die Fächersonarmessungen der vorangegangenen AISTEK-Projekte, sowie die Bathymetrie der F.S. Sonne Fahrt SO-87 sowie der F.S. Meteor Fahrten M-33/2 und M-63/1 einbezogen worden. Soweit die Daten der anderen Projekte noch nicht prozessiert waren, wurden diese Arbeiten ebenfalls mit CARIS HISP/SIPS nachgeholt. Abbildung 3 zeigt die Lage der Messprofile sowie die Grenzen der Raster und den daraus generierten Karten.

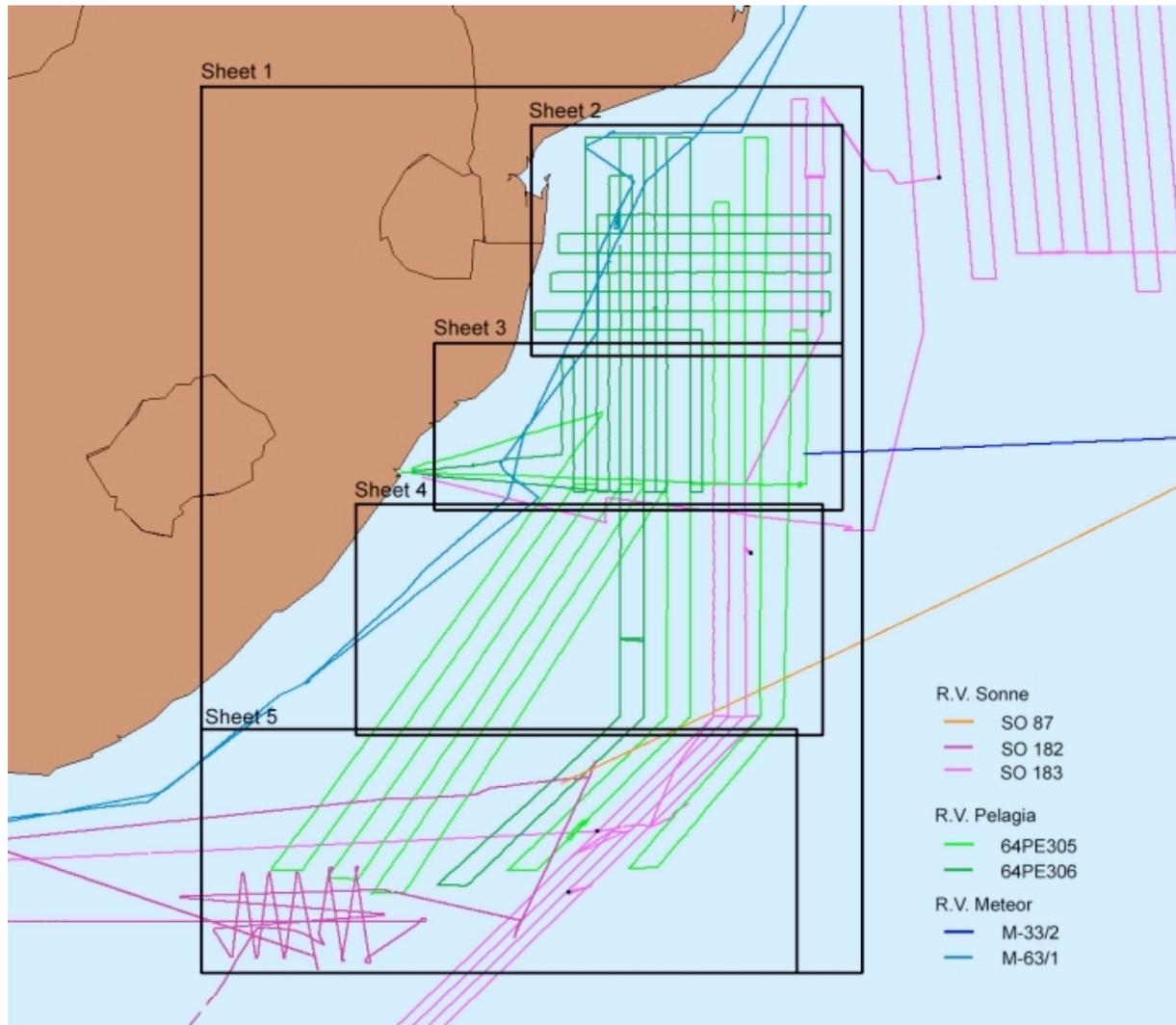


Abb. 3: Grenzen der Grids bzw. Karten und Lage der zugrunde liegenden Fächersonardaten

Der Abstand der Messprofile wurde im Hinblick auf das Messprogramm der Magnetik geplant. Aus einem durchschnittlichen Profilabstand von 15 Kilometer resultiert, dass sich die parallelen Bathymetrieprofile nicht überdecken. Aufgrund der geringen Fächerbreite des Sonarsignals (siehe oben) ist die Abdeckung des Meeresbodens jedoch geringer als geplant und wie sie in den Projekten AISTEK I und II erreicht werden konnte. Bei der Grid-Berechnung wurde darum davon abgesehen, die unvermessenen Bereiche zwischen den Profilen durch Interpolation zu schließen.

Abbildung 4 verdeutlicht das Verhältnis von vermessener und unvermessener Fläche.

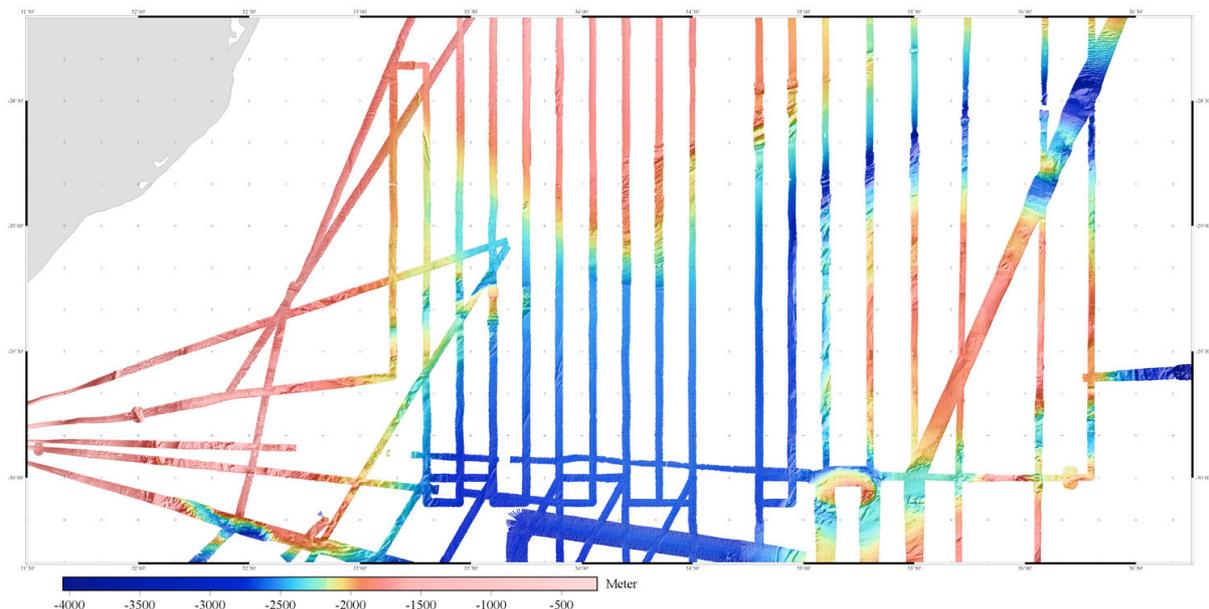


Abb. 4: Lage und Ausdehnung der Messprofile und farbkodierte Topographie des Meeresbodens im Bereich des Gebietes 3 (Abb. 3). Die schmalen Profile wurden überwiegend während AISTEK III gemessen, die breiten Streifen mit F.S. Sonne während AISTEK II.

Die Raster- und Kartengrenzen wurden so gewählt, dass möglichst wenig unvermessene Flächen enthalten sind. Die Grenzen, wie sie für das IHO-Kartenprojekt IBCWIO (International Bathymetric Chart of the West Indian Ocean) verwendet werden, weichen deutlich von dieser Vorgabe ab, so dass diese nicht herangezogen wurden.

Für die Gridberechnung wurden geographische Koordinaten und ein Zellabstand von 0.1 Bogenminuten (~182 Meter) für das Kompletgrid (sheet 1) bzw. 0.05' Bogenminuten (~91 Meter) für die anderen Grids (sheet 2 – sheet 5) verwendet. Zur Berechnung wurde das Generic Mapping Tool (GMT) mit dem Algorithmus „surface“ verwendet, der die Knotenpunkte über Bikubische Splines aus den unregelmäßigen Messdaten berechnet. Weil die unvermessenen Flächen zu groß für eine gesicherte Interpolation sind, wurden diese im Weiteren durch die prädierte Bathymetrie des globalen Modells ETOPO2 ersetzt. In diesem Modell wird die Bathymetrie aus Satellitenaltimetriedaten abgeleitet, wobei diese Berechnung nicht hypothesenfrei ist. Daneben ist auch die Auflösung von 2 Bogenminuten geringer als die hydroakustischen Messungen, womit in den Grenzbereichen zwischen gemessener und prädiertem Bathymetrie in der Regel Tiefenunterschiede auftreten. Die Raster liegen im NetCDF-Format und im ASCII-Austauschformat von ESRI vor.

7 Ergebnisse der Expedition

7.1 Ergebnisse der Magnetik

Im Folgenden werden die Ergebnisse der magnetischen Messungen erläutert. Abbildung 5 zeigt die in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Profile im nördlichen Natalbecken. Hier sollte die Existenz der von Tikku et al. [2002] auf einer schlechten Datenbasis basierenden Identifikationen magnetischer Spreizungsanomalien überprüft werden. Unsere Messungen widerlegen ohne Zweifel deren Existenz. Eine eindeutige Identifikation hinsichtlich Alter und Lage von Spreizungsanomalien ist auch in unserem Datensatz nicht möglich. Tatsächlich scheinen im nördlichen Natalbecken Korrelationen in der Magnetik zu bestehen, diese verlaufen jedoch nicht in Ost-West-, sondern in SW-NO-Richtung. Wir befinden uns hier vermutlich im Altersbereich der Jurassisch-ruhigen Zone, was sich auch in geringen Amplituden der Anomalien niederschlägt. Unklar ist ferner, inwieweit jüngere Tektonik in der Region für die Zerstörung früher vorhandener Spreizungsanomalien verantwortlich zeichnet (siehe z.B. Illiffe, 1991).

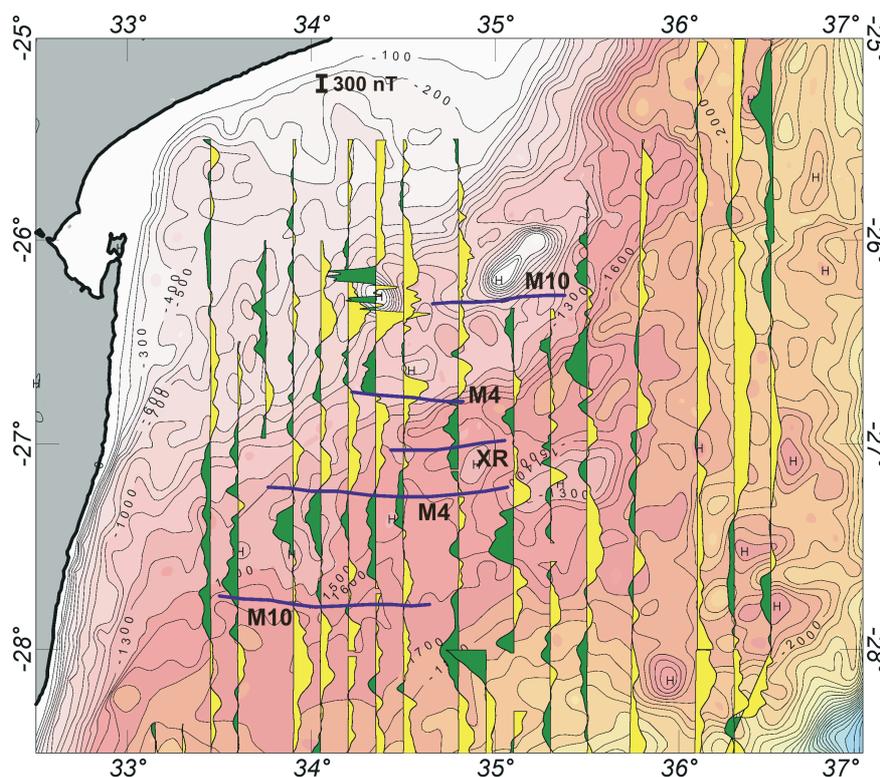


Abb. 5: Magnetikdaten der in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Profile im nördlichen Natalbecken. Positive Anomalienwerte sind durch grüne Farbe, negative durch gelbe Farbe gekennzeichnet. Die kleine Skala am oberen Kartenrand verdeutlicht die Amplituden der Messwerte. Die Identifikationen nach Tikku et al. [2002] sind mit dicken blauen Linien sowie Beschriftungen dargestellt.

Am Mosambikrücken stellt sich die Situation unterschiedlich dar. Abbildung 6 zeigt die gesamte während AISTEK II und III in der Region erhobene Magnetik in Form des erstellten Rasters. Am südwestlichen Mosambikrücken sind eindeutig Signaturen von in NW-SO-Richtung verlaufenden Spreizungsanomalien erkennbar. Dies deckt

sich mit den Ergebnissen des von Gohl et al. [submitted] im Rahmen von AISTEK I erhobenen refraktionsseismischen Profils, das in diesem Bereich des Mosambikrückens verdickte ozeanische Kruste zeigt.

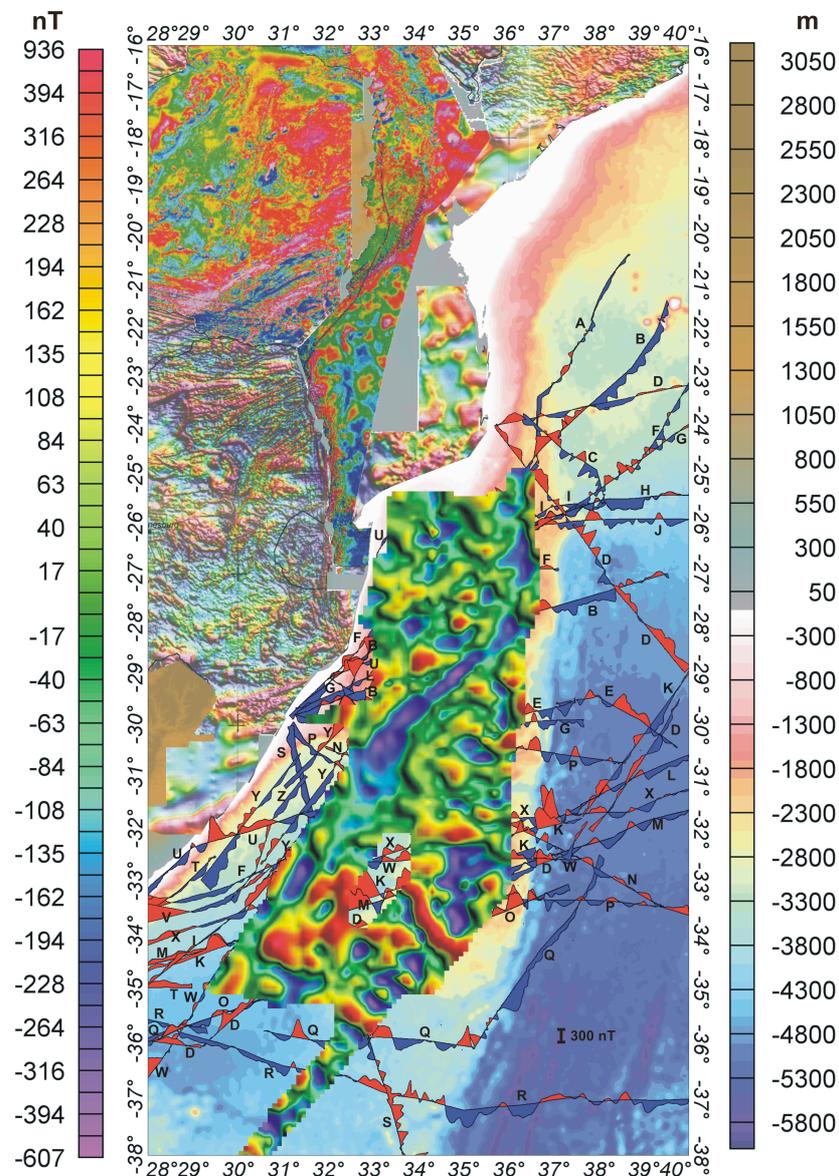


Abb. 6: Flächige Darstellung der erhobenen Magnetik. Im Hintergrund sind relevante ältere Schiffsprofile gezeigt (siehe Tabelle 4 für genauere Informationen). Positive Werte sind rot, negative Werte sind blau dargestellt. An Land sind im Westen die Magnetik des African Magnetic Mapping Project (AMMP) [Sahu, 2000] sowie an der Küste Mosambiks die aeromagnetischen Daten nach Mekonnen [2004] dargestellt. Die neben der Karte befindliche Farbskala bezieht sich nur für den im Rahmen dieser Studie erstellten Datensatz. Im Hintergrund ist die Bathymetrie nach [GEBCO 08] gezeigt.

ID	Ship	Cruise
A	Vema	V3619
B	Thomas B. Davie	TD277
C	Vema	V3410
D	Vema	V1911
E	Glomar Challenger	DSDP25GC
F	Robert Conrad	RC1215
G	Thomas B. Davie	TD267
H	Marion Dufresne	MDU02
I	Vema	V3410
J	Chain	CH099L05
K	Vema	V2010
L	Robert Conrad	RC1706
M	Discovery	DI101
N	Glomar Challenger	DSDP26GC
O	Marion Dufresne	MDU07
P	Meiring Naude	MN766
Q	Vema	V2411
R	Melville	PROT05MV
S	Atlantis II	A2093L04
T	Vema	V3620
U	Chain	CH099L04
V	Argo	LUSI7DAR
W	Robert Conrad	RC1401
X	Vema	V3501
Y	Thomas B. Davie	Lines 402, 371/8, 519, 515/518 (digitized from <i>Goodlad et al.</i> [1982])
Z	Agulhas	Line Agulhas 2 (digitized from <i>Goodlad et al.</i> [1982])

Tab. 4: Übersicht über die älteren schiffsmagnetischen Profile, die für Abb. 6 verwendet wurden. Die Linien wurden durch die identifizierenden Buchstaben in der Karte gekennzeichnet. Die Linien stammen in den meisten Fällen aus der NGDC-Datenbank.

Das Dana- sowie das Galatheaplateau zeigen augenscheinliche Symmetrien in der Bathymetrie und der Freiluftschwere (Abb. 1 und 7). Die zugehörige Magnetik (Abb. 6) ist diffus, läßt aber das Vorhandensein von in W-O-Richtung verlaufenden Spreizungsanomalien vermuten. Das den Mosambikrücken beherrschende Vauban-Plateau kommt in der Magnetik in einer rundlichen, negativen Anomalie zum Ausdruck, die im Norden und im Südwesten durch starke positive Anomalien begrenzt wird. Das südliche Natalbecken lässt sich in drei Provinzen unterteilen. Im Westen findet sich der Bereich, in welchem Spreizungsanomalien von Goodlad et al. [1982] identifiziert wurden. Die ozeanische Kruste wurde hier zwischen Südamerika und Afrika bei der Öffnung zwischen diesen beiden Kontinenten nach Chron M12 gebildet. Im nordöstlichen Bereich des südlichen Natalbeckens findet sich eine

ausgedehnte, unstrukturierte, negative magnetische Anomalie. Diese geht über in eine markante linienförmige negative Anomalie, die dem Verlauf des Ariel-Grabens nach Nordosten folgt und dort in die nach Norden verlaufende Mosambik-Bruchzone einmündet. Der Südosten des südlichen Natalbeckens ist durch eine flächige positive Anomalie, gekennzeichnet.

7.2 Ergebnisse der Gravimetrie

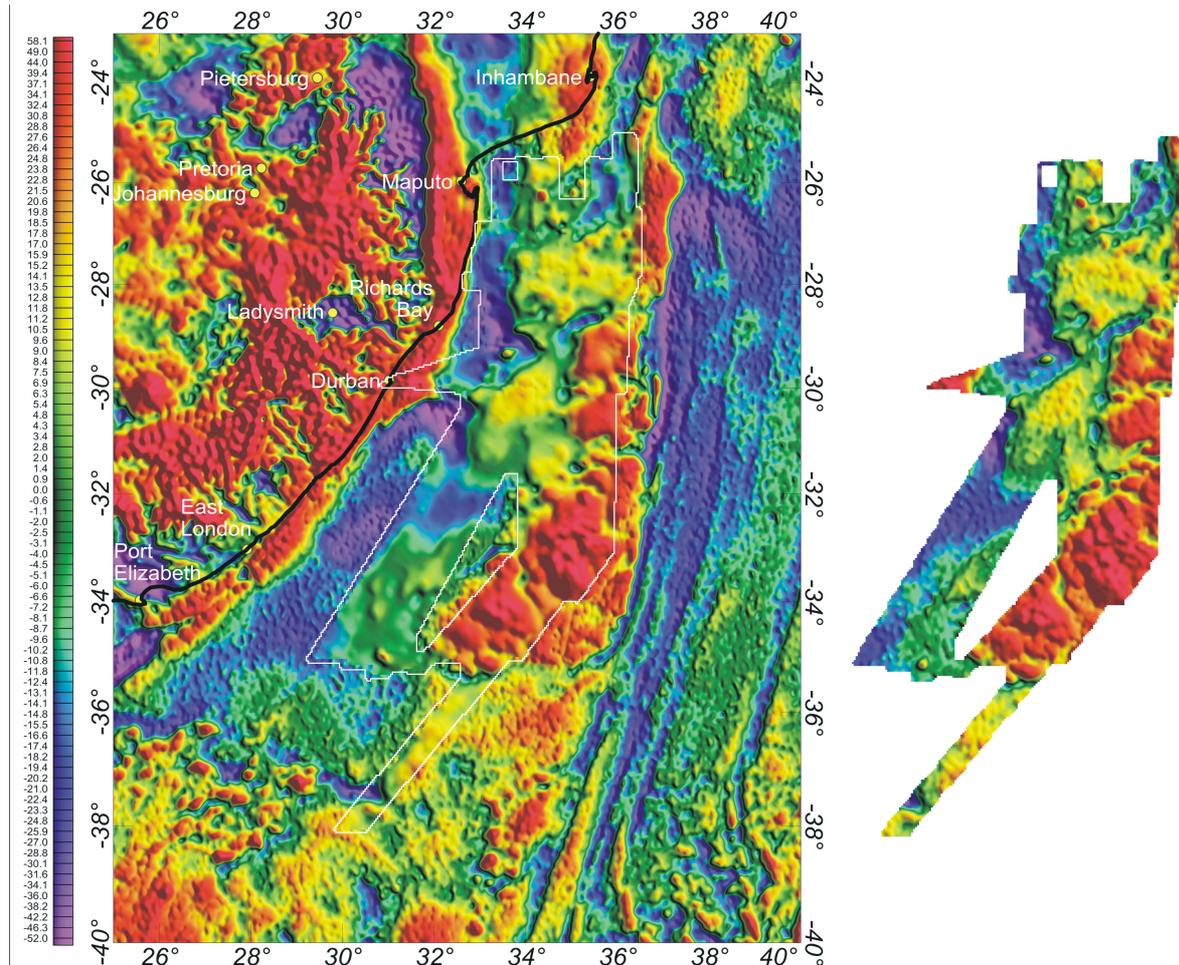


Abb. 7: Vergleich der im Rahmen dieses Projektes erstellten Freiluftanomalienkarte (innerhalb der weißen Umrahmung) mit jener nach Sandwell & Smith [2009] (im Hintergrund sowie rechts neben der Karte für den von den neuen Daten überdeckten Bereich).

Die Ergebnisse der Schweremessungen sind in Abbildung 7 gezeigt. Die Unterschiede zwischen der von Sandwell & Smith (2009) kompilierten Freiluftanomalienkarte und unseren Messungen sind überwiegend marginal. Die Maximaldifferenz zwischen beiden Datensätzen beträgt 27 mGal.

Der Mosambikrücken zeigt sich in der Schwere in einer starken positiven Freiluftanomalie. Das angrenzende Natalbecken ist in weiten Teilen durch eine negative Freiluftschwere gekennzeichnet. Der nordöstliche Bereich des Beckens, hin zum Mosambikrücken, weist hingegen höhere Werte auf, ebenso ist dies im südöstlichen Bereich des südlichen Natalbeckens der Fall. Eine kombinierte Betrachtung dieser in der Freiluftschwere erkennbaren Struktur mit alten

schiffsmagnetischen Linien gibt Hinweise auf die Existenz eines nicht mehr aktiven Spreizungszentrum, welches für die Bildung der Kruste zwischen der Maurice-Ewing Bank und dem Mosambikrücken verantwortlich ist (Abb. 2 c im eingereichten Artikel im Anhang). Bedingt durch die verbliebene Lücke im Liniennetz von AISTEK III sowie die Ausrichtung der gefahrenen Profile im südlichen Natalbecken sind hierüber basierend auf den AISTEK III - Daten keine Erkenntnisse zu gewinnen.

7.3 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Potentialfeldmessungen lassen im Wesentlichen folgende Schlüsse zu. Es gibt keine Hinweise auf das Vorhandensein einer Kontinent-Ozean-Grenze zwischen Mosambik und dem Natalbecken in unserem Datensatz. Die einzige Anomalie, die man mit einer solchen Grenze in Verbindung bringen könnte, ist die negative Anomalie des Ariel-Grabens. Das magnetische Anomaliefeld nördlich des Ariel-Grabens ähnelt aber in seiner Struktur und Charakteristik sehr jenem am Mosambikrücken südlich des besagten Grabens. Zu beiden Seiten sind Muster erkennbar, die man als Spreizungsanomalien interpretieren kann. Eine Identifikation dieser Anomalien ist aber zu spekulativ. Dies wäre, wenn überhaupt, nur anhand eines noch dichteren Datensatzes bzw. datierten Gesteinsproben möglich. Dennoch ist der gewonnene Datensatz ein starkes Indiz für eine ozeanische Natur der Kruste, die dem Mosambikrücken und dem nördlichen Natalbecken unterliegt. Die nun vorhandene Magnetik über Teilen der Küstenebenen Mosambiks [Sahu, 2000; Mekonnen, 2004] zeigt ein Anomaliefeld, welches ebenfalls sehr dem Feld im nördlichen Natalbecken ähnelt und sich von jenem der Kratone sehr unterscheidet (Abb. 6). Diese Beobachtung unterstützt Interpretationen, die die Küstenebenen in weiten Teilen als nicht von kontinentaler Kruste unterlagert betrachten. Die Lebombo- und Mateke-Sabi-Monoklinen sind in der Freiluftschwere durch positive Anomalien gezeichnet (Abb. 8) und markieren in einem derartigen Szenario die Kontinent-Ozean Grenze. Die Schwerekarte zeigt, dass der östliche Teil der Küstenebenen Mosambiks, das nördliche Natalbecken und der Mosambikrücken als Teile einer zusammenhängenden tektonischen Provinz zu betrachten sind. Vieles spricht also dafür, dass der Lebombo und die Mateke-Sabi-Monokline Teil des Übergangsbereiches zwischen kontinentaler und ozeanischer Kruste sind. Die negative Schwereanomalie, die in Abbildung 8 gestrichelt gekennzeichnet ist, könnte eine Zone mit Übergangskruste markieren.

Die Ergebnisse sind überwiegend überraschend. Hervorzuheben ist, dass aufgrund dieses Vorhabens weitestgehend zweifelsfrei Modelle bestätigt werden konnten, die nicht-kontinentale Kruste unterhalb des südlichen Mosambiks vorhersagen. Dies hat einschneidende Konsequenzen für neue kinematische Rekonstruktionen dieser Region. Enttäuschend ist sicherlich, dass keine Spreizungsanomalienmuster gefunden wurden, die eindeutig datierbar sind. Hier müssen die magnetischen Daten neu betrachtet werden, wenn neue Gesteinsproben und Gesteinsalter zur Verfügung stehen. Allerdings deuten die Daten stark daraufhin, dass das nördliche Natalbecken und weite Teile des südlichen Mosambiks in der magnetisch ruhigen Periode des Jura entstanden sind. Ein vollkommen neuer Aspekt, der bisher als höchst spekulativ angesehen wurde. Insgesamt gesehen haben die beiden Vorhaben AISTEK II+III einen deutlichen Wissenszuwachs in dieser Region hinsichtlich der Plattenkinematik geliefert, und wird vom Antragsteller als voller Erfolg gewertet.

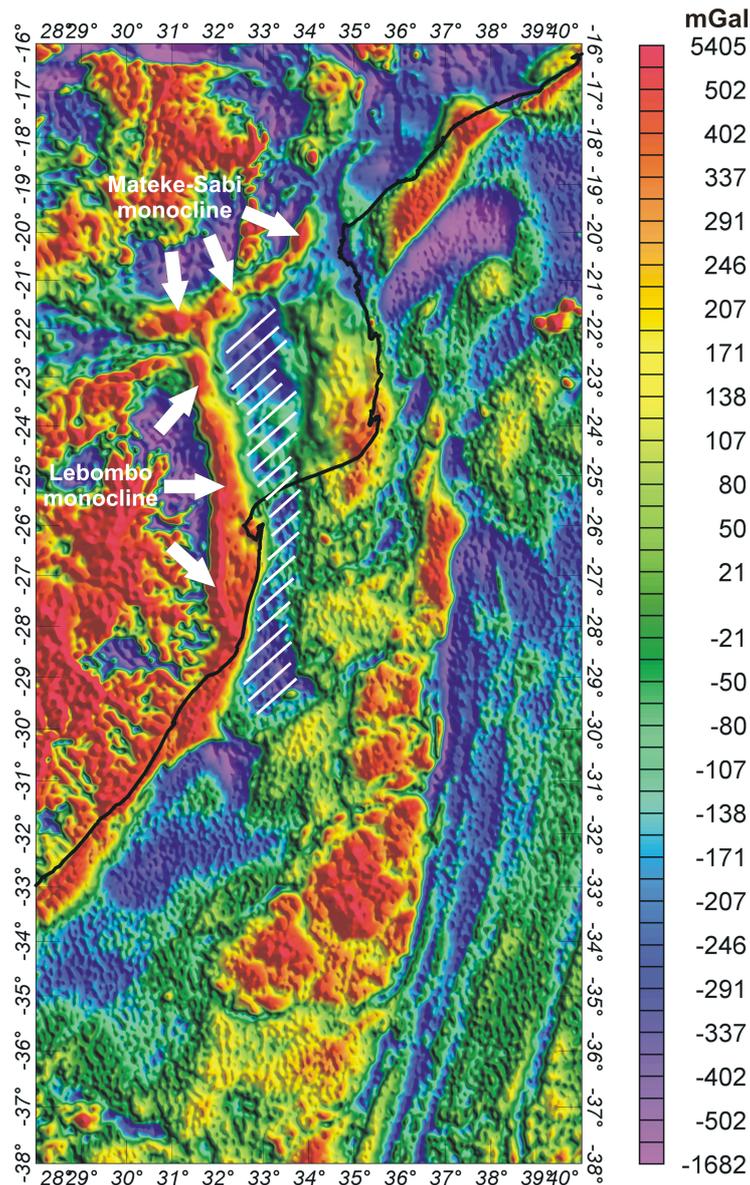


Abb. 8: Freiluftschwere-Karte nach Sandwell & Smith [2009] mit zugehöriger Farbskala. Die Lebombo- und Mateke-Sabi-Monoklinen, die markante Strukturen der kontinentalen Karoo-Flutbasalte sind, sind beschriftet. Die gestrichelt markierte negative Anomalie wird als Übergangskruste interpretiert.

8 Verwendete Programme

Die Daten des SeaSpy-Magnetometersystems wurden mit Hilfe des Programmes SeaLink aufgezeichnet. Die Bearbeitung der Daten erfolgte mittels Oasis montaj™ Software der Firma Geosoft sowie stellenweise mit Matlab. Zur Kartendarstellung wurde teilweise Generic Mapping Tools (GMT) verwendet.

9 Veröffentlichungen und Weitergabe der Daten an andere Institutionen

Da einige Teile des Messgebietes innerhalb der 200-Meilen-Zone Südafrikas liegen, wurden die entsprechenden Bathymetrie-Rohdaten an den zuständigen hydrographischen Dienst in Kopie weitergeleitet.

Darüber hinaus hat dieser Dienst die kompletten prozessierten Tiefendaten der AISTEK-Projekte zur ausschließlichen Herstellung von Navigationkarten erhalten. Die weitere Nutzung der AISTEK-Bathymetrie im Rahmen des IHO Kartenprojektes IBCWIO ist angestrebt.

Die Potentialfelddaten und deren Interpretation werden im Rahmen von zwei wissenschaftlichen Artikeln veröffentlicht. Der erste Artikel ist im Juli 2011 in der Zeitschrift *Geophysical Research Letters* erschienen, der zweite Artikel ist akzeptiert und wird im Januar 2012 in der Zeitschrift *Tectonophysics* erscheinen. Ein entsprechender PDF File für den erschienenen Artikel sowie ein Ausdruck des akzeptierten Artikels sind diesem Bericht als separate Dateien beigelegt.

Die bathymetrischen Daten sollen im Rahmen einer Master Arbeit an der Universität Durban ausgewertet/interpretiert und publiziert werden. Aufgrund nicht vorhersehbarer Probleme hat die Masterarbeit leider erst im November 2011 begonnen. Einer der offiziellen Betreuer der Masterarbeit ist der Antragsteller.

10 Literaturverzeichnis

Allen, R. B. und B. E. Tucholke, 1981. Petrography and implications of continental rocks from the Agulhas Plateau, southwest Indian Ocean, *Geology*, **9**, 463-468.

Ben-Avraham, Z., C. J. H. Hartnady, et al., 1995. Neotectonic activity on continental fragments in the Southwest Indian Ocean: Agulhas Plateau and Mozambique Ridge, *J. Geophys. Res.*, **100(B4)**, 6199-6211.

Chetty, P. und Green, R. W. E., 1977. Seismic refraction observations in the Transkei Basin and adjacent areas, *Mar. Geophys. Res.*, **3**, 197-20.

Cox, K. G., 1992. Karoo igneous activity, and the early stages of the break-up of Gondwanaland, in *Magmatism and the Causes of Continental Break-up*, **68**, 137-148, eds. Storey, B.C., Alabaster, T. & Pankhurst, R.J., *Geological Society Special Publication*, London

Darracott, B. W., 1974. On the crustal structure and evolution of southern Africa and the adjacent Indian Ocean, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **24**, 282-29.

Dingle, R. V., S. W. Goodlad, A. K. Martin, 1978. Bathymetry and stratigraphy of the Northern Natal Valley (SW Indian Ocean): a preliminary account, *Mar. Geol.*, **28**, 89-106.

- Dingle, R. V., Scrutton, R.A., 1974. Continental breakup and the development of post-Paleozoic sedimentary basins around southern Africa, *Geol. Soc. Am. Bull.*, **85**, 1467–1474.
- Doucouré, C. M. and H. W. Bergh, 1992. Continental origin of the Mozambique Plateau: a gravity data analysis, *J. Afr. Earth Sci.*, **15(3/4)**, 311-319.
- Erlank, A. J., Reid, D. L., 1974. Geochemistry, mineralogy, and petrology of basalts, Leg 25, Deep Sea Drilling Project, in: *Simpson, E. S. W., Schlich, R., et al., (Eds.), Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, vol. 25*, 543–551.
- Flores, G., 1970. Suggested origin of the Mozambique channel, *Transactions of the Geological Society of South Africa*, **73**, 1-16.
- Gohl, K., G. Uenzelmann-Neben, and N. Grobys, submitted, Growth and dispersal of a southeast African large igneous province.
- Goodlad, S. W., A. K. Martin, et al., 1982. Mesozoic magnetic anomalies in the southern Natal Valley, *Nature*, **295**, 686-688.
- Green, R. W. E. and A. L. Hales, 1966. Seismic refraction measurements in the southwestern Indian Ocean, *J. Geophys. Res.*, **71(6)**, 1637-1647.
- Green, A. G., 1972. Sea-floor spreading in the Mozambique Channel, *Nature*, **236**, 19-21.
- Hales, A. L. and J. B. Nation, 1973. A seismic refraction study in the Southern Indian Ocean, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **63(6)**, 1951-1966.
- Hartnady, C.J.H., Ben-Avraham, Z., Rogers, J., 1992. Deep-ocean basins and submarine rises off the continental margin of southeastern Africa: new geological research, *S. Afr. J. Sci.*, **88**, 534–539.
- Iliffe, J. E., I. Lerche et al., 1991. Basin analysis and hydrocarbon generation of the South Mosambik Graben using extensional models of heat flow, *Marine and Petroleum Geology*, **8**, 152-162.
- Jokat, W. and shipboard scientific party, 2006. Southeastern Atlantic and southwestern Indian Ocean: reconstruction of the sedimentary and tectonic development since the Cretaceous AISTEK-II: Mozambique Ridge and Mozambique Basin, *Reports on Polar and Marine Research*, 521.
- Jokat, W. and shipboard scientific party, 2009. The Expedition of the Research Vessel "Pelagia" to the Natal Basin and the Mozambique Ridge in 2009 (Project AISTEK III), *Reports on Polar and Marine Research*, 598.
- König, M., and W. Jokat, 2010. Advanced insights into Magmatism and Volcanism of the Mozambique Ridge and Mozambique Basin in the view of new potential field data, *Geophys. J. Int.*, **180**, 158-180.

Laughton, A. S., Matthews, D. H. & R. L. Fisher, 1970. The Structure of the Indian Ocean, in *The Sea*, **Vol. 4, 2**, 543-586, ed. Maxwell, A.E., Wiley, New York.

Ludwig, W. J., Nafe, J. E., Simpson, E.S.W. & Sacks, S., 1968 : Seismic Refraction Measurements on the Southeast African Continental Margin, *J. Geophys. Res.*, **73(12)**, 3707-3719.

Maia, M., M. Diament et al., 1990. Isostatic response of the lithosphere beneath the Mosambik Ridge (SW Indian Ocean) and geodynamic implications, *Geophys. J. Int.*, **100**, 337-348.

Marks, K.M. & Tikku, A.A., 2001. Cretaceous reconstructions of East Antarctica, Africa and Madagascar, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **186**, 479—495.

Martin, A. K., Hartnady, C. J. H und S. W. Goodlad, 1981. A revised fit of South America and South Central Africa, *Earth and Planet. Sci. Lett.*, **54**, 293-305.

Martin, A. K., Goodlad, S. W., Hartnady, C. J. H. and A. du Plessis, 1982. Cretaceous palaeopositions of the Falklan Plateau relative to southern Africa using Mesozoic seafloor spreading anomalies, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, **71**, 567-579

Martin, A. K., 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.

Mougenot, D., M. Gennesseaux, et al. 1991. La ride du Mosambik (Océan Indien): un fragment continental individualisé lors du coulisement de l'Amérique et de l'Antarctique le long de l'Afrique de l'Est?, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* **312 (Série II)**, 655-662.

Nairn, A. E. M., I. Lerche, et al., 1991, Geology, basin analysis, and hydrocarbon potential of Mozambique and the Mozambique Channel, *Earth-Science Reviews* **30**: 81-124

Raillard, S., 1990. Les marges de l'Afrique de l'Est et les zones de fracture associées: Chaîne Davie et Ride du Mozambique, Campagne MD-60 / MACAMO-II, *PhD thesis, L'Université Pierre et Marie Curie, Paris*, 1-275.

Recq, M. & J. Goslin, 1981. Etude de l'équilibre isostatique dans le sud-ouest de l'Océan Indien à l'aide des résultats de réfraction sismique, *Mar. Geol.*, **41**, M1-M10.

Sandwell David T. and Walter H. F. Smith, 2009, Global marine gravity from retracked Geosat and ERS-1 altimetry: Ridge segmentation versus spreading rate, *J Geophys. Res.*, **114**, 1-18.

Scrutton, R. A., 1973. Structures and evolution of the sea floor south of South Africa, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **19**, 250-256.

Scrutton, R. A., 1976. Continental breakup and deep crustal structure at the margins of Southern Africa, *An. Acad. Bras. Cienc.* **48**, 275-286.

Simpson, E. S. W., Schlich, R., Gieskes, J., Girdley, W. A., Leclaire, L., Marshal, B. V., Moore, C., Muller, C., Sigal, J., Vallier, T. L., White, S.M., Zobel, B., 1974. Site 249, *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.*, **vol. 25**, 287– 348.

Thompson, G., W. B. Bryan, et al., 1982. Petrology, geochemistry and original tectonic setting of basalst from the Mozambique Basin and Ridge (DSDP sites 248, 249 and 250), and from the Southwest Indian Ridge (DSDP site 251), *Mar. Geol.*, **48**, 175-195.

Tikku, A. A., K. M. Marks, et al., 2002. An Early Cretaceous extinct spreading center in the northern Natal valley, *Tectonophysics*, **347**, 87-108.

Watts, A. B., 2001. Gravity anomalies, flexure and crustal structure at the Mozambique rifted margin, *Mar. Pet. Geol.*, **18**, 445-455.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht	
3. Titel Südöstlicher Atlantik und südwestlicher Indik: Rekonstruktion der sedimentären und tektonischen Entwicklung seit der Kreide AISTEK-III: Natal-Becken und Mosambik Rücken		
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Jokat, Wilfried	5. Abschlussdatum des Vorhabens Mai 2011	
	6. Veröffentlichungsdatum November 2011	
		7. Form der Publikation Bericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Alfred Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) Columbusstrasse 27568 Bremerhaven		9. Ber. Nr. Durchführende Institution
		10. Förderkennzeichen *) 03G0730A
		11. Seitenzahl 29
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn		13. Literaturangaben 37
		14. Tabellen 4
		15. Abbildungen 8
16. Zusätzliche Angaben Keine		
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Keine		
18. Kurzfassung In Fortführung der Expeditionen AISTEK I und II mit RV Sonne im Jahr 2005, die sich auf die Region des Transkeibeckens und des Agulhasrückens, bzw. des Mosambikbeckens und des Mosambikkanals konzentrierten, sollte die Expedition AISTEK III eine flächendeckende geowissenschaftliche Datenbasis zwischen dem Mosambikrücken und dem Natalbecken erheben, um Hinweise auf die frühe Entwicklungsgeschichte dieser Region zu erhalten, welche zu einer Verbesserung der bestehenden kinematischen Modelle der Aufbruchsgeschichte Gondwanas beitragen. Die Magnetikdaten von AISTEK II ließen die Existenz in West-Ost-Richtung orientierter, magnetischer Spreizungsanomalien am Mosambikrücken vermuten. Zur Verifizierung dieser Hypothesen wurde geplant, im Rahmen von AISTEK III den Rücken mit in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Messlinien weitgehend abzudecken, wobei an die bestehenden Profile anzuschließen war. Im nördlichen Natalbecken war geplant, Linien sowohl in Nord-Süd- als auch in West-Ost-Richtung zu fahren, um die Existenz magnetischer Spreizungsanomalien zu überprüfen. Entlang der Messlinien sollten zudem kontinuierlich gravimetrische und bathymetrische Daten gewonnen werden. Dies Ziele des Vorhabens wurden erreicht. Ferner wurde in Kombination mit anderen geophysikalischen Daten ein neues kinematisches Modell für die Region erstellt. Die Daten und Interpretationen wurden in zwei wissenschaftlichen Beiträgen veröffentlicht.		
19. Schlagwörter Magnetic, Gondwana Breakup, kinematische Modelling		
20. Verlag Keiner		21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Report
3. title Southeast Atlantic and southwestern Indian oceans: Reconstruction of the sedimentary and tectonic evolution since the Cretaceous AISTEK III: Natal Basin and Mozambique Ridge	
4. author(s) (family name, first name(s)) Jokat, Wilfried	5. end of project May 2011
	6. publication date November 2011
	7. form of publication Report
8. performing organization(s) (name, address) Alfred Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) Columbusstrasse 27568 Bremerhaven	9. originator's report no.
	10. reference no. 03G0730A
	11. no. of pages 29
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 37
	14. no. of tables 4
	15. no. of figures 8
16. supplementary notes None	
17. presented at (title, place, date) None	
18. abstract This project is a supplement to the expeditions AISTEK I and II with RV Sonne in 2005, which conducted research programmes in the Transkei Basin, the Agulhas Ridge, the Mozambique Ridge and finally the Mozambique Basin. The research area of the AISTEK III project was located in the Natal Basin and on the Mozambique Ridge. Here, the project aimed to gather new systematic potential field data to better constrain kinematic models for the early Gondwana break-up during Jurassic times. The magnetic data gathered during the AISTEK II expedition provided some evidence for E-W orientated magnetic spreading anomalies on the Mozambique Ridge. Thus, part of this project was to densify the existing magnetic data to confirm or withdraw some of the published kinematic models for this region. Especially, in the northern Natal Basin the presence of published seafloor spreading anomalies, which identification was based on a very sparse data base, should be validated. The scientific objectives of the AISTEK III project were fully achieved. This is documented with the publication of two scientific articles, which included the introduction of a new kinematic model for the region investigated.	
19. keywords	
20. publisher	21. price